ENERGIJA

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

GODIŠTE 26. GODINA 1977.

SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1977. GODINI

Studije i istraživanja

	Str.	Broj
Baranović B.: Problemi ciklusa goriva nuklearnih elektrana	31	1—2
Boranić V.: Novija kretanja u energetici svijeta	182	5—6
Borojević D. — Balling M.: Prilog tehničko-ekonomskoj obradi većih potrošača	394	9—10
Brkić H.: Rezultati kontrole zagađivanja zraka većih kotlovnica u gradu Zagrebu	8	1—2
Budin R.: Razvoj postrojenja na nuklearni pogon	241	7—8
Crlenjak M.: Prednosti idealnog izvora toplinske energije	175	5—6
Čorak D.: Valorizacija zajedničke proizvodnje topline i električne energije	297	9—10
Dvornik V.: Izbor spoja i opreme mjernog sloga na obračunskim mjernim mjestima distributivnih potrošača	178	5—6
Dvornik V.: Mjerni transformatori — izvori pogreške u mjerenju električne energije i snage	12	1—2
Dvornik V.: Utjecaj spojnih vodova na pogrešku mjerenja električne energije na mjernim mjestima distributivnih potrošača	342	9—10
Granić G.: Metode za određivanje optimalne raspodjele opterećenja u elektroenergetskom sistemu s pumpno-akumulacijskim postrojenjem	217	7—8
Granić G.: Utjecaj hidroelektrana na rad pumpno-akumulacijskog postrojenja	381	11—12
Hartl V. — Vagić N.: Prilog razradi rješenja opskrbe Sueza električnom energijom	251	7—8
Ivančić S.: Ispitivanje bloka V snage 210 MW u TE Tuzla	406	11—12
Jakir A.: Proizvodnja U_3O_8 (žutog kolača) iz primjese fosforne kiseline	428	11—12
Jung M.: Rezultati ispitivanja najviših napona opasnosti koji se mogu inducirati u dojavnim vodovima, nakon prijelaza razdjelnih mreža na pogon s uzemljenim zvjezdištem	97	3—4
Matanić D.: Emisija NO_x iz ložišta termoenergetskih postrojenja	160	5—6
Matanić D.: Rezultati istraživanja na kombiniranom prototipnom goraču učina 15 Gcal/h	1	1—2
Neveščanin J.: Iskustva, značenje i problem ograničenja snage kratkog spoja distributivnih mreža u uvjetima stalnog porasta konzuma i primjene direktne transformacije 110/10 i 110/20 kV	396	11—12
Ožegović M.: Računanje tokova snaga i napona na premalom elektroničkom računalu	234	7—8
Požar H. — Knapp V.: Oscilacije intenzivnosti Sunčeva zračenja i ritam potražnje energije	153	5—6
Požar H. — Frajman Z.: Usporedba tipova elektrana za pokrivanje vršnih opterećenja	83	3—4
Schener R.: Optimalizacija sistema transformatorske stanice 110/10/20/ kV i mreže 10/20/ kV	102	3—4
Sekso A. — Hrs I.: Primorski tip zagađivanja izolacije postrojenja i vodova visokog napona	89	3—4
Širola E.: Novosti u preporukama za javnu rasvjetu	414	11—12
Udovičić B. — Alerić S.: Usporedba koncepcije energetskog iskorištenja jednog vodotoka	118	3—4
Vagić N.: Stanje i tendencija u razvoju distributivnih mreža	387	11—12
Vešić P.: Mjerni transformatori za 400 kV mrežu SFRJ	422	11—12
Vuković V.: Razvoj nuklearne energetike	18	1—2
Vuletin — Marčelja — Kulišić — Bosanac: Selektivni spojevi za konverziju Sunčeve energije	425	11—12

Pogonska problematika

Baranović B.: Istraživanja pojava kod energetskih konverzija za termoenergetska postrojenja	263	7—8
Mrakovčić B.: Mjere poduzete u raznim zemljama prema preporuci savjeta direkcije od 30. siječnja 1975. o naponu 230 V ± 10%	48	1—2

	Str.	Broj
Padelin M. — Mileusnić E.: Presjek vodiča s kojim se uzemljuje i kratko spaja na mjestu gdje se radi	114	3—4
Pavičić K.: Prijedlog za povećanje instalirane snage i proizvodnje HE Sklope	170	5—6
Tropin K.: Zaštita na radu i protiv požarne mere u daljinski upravljanim elektroenergetskim postrojenjima	259	7—8

Ekonomska problematika

Dellavia N.: Ekonomska opravdanost uvođanja MTK uređaja na području distribucije »Elektre—Zadar«	27	1—2

Savjetovanja i konferencije

Crnčić M.: Prvo savjetovanje o primijenjenoj elektrotehnici u industriji	126	3—4
Markovčić B.: XXVI zasjedanje CIGRE u Parizu	44	1—2
Markovčić B.: Izvještaj o radu i zaključci XIII savjetovanja elektroenergetičara Jugoslavije	350	9—10
Mrakovčić B: Opskrba električnom energijom u SAD	124	3—4
Mrakovčić B.: Razvoj kabela za visoke i najviše napone na zasjedanju CIGRE 1976.	122	3—4
Zloković V.: Aktivnosti organizacije UNIPEDE	357	9—10
_____: Savjetovanje o planiranju izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža u Jugoslaviji	49	1—2

Vijesti iz poduzeća i elektroprivrede

Marušić A.: HE Zakučac — izgradnja II etape i 15-godišnjica puštanja u pogon HE Split	51	1—2
Požar H. — Previšić M. — Bilčar N.: U povodu 70-godišnjice postojanja HE Manojlovac	34	1—2
Radman I.: 40-godišnjica rada »Elektre-Bjelovar«	366	9—10
Radman I.: 25-godišnjica HE »Nikola Tesla«	366	9—10
Radman I.: 20-godišnjica osnutka »Elektroprenosa«, Zagreb	367	9—10
Radman I.: 70-godišnjica »Elektre«, Zagreb	433	11—12
Šimurina I.: Statistički pregled elektroprivrede SRH	435	11—12

GOD. 26 (1977) energija BROJ 1—2

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

REZULTATI ISTRAŽIVANJA NA KOMBINIRANOM PROTOTIPU GORAČA UČINA 15 Gcal/h

Dubravko M a t a n i ć, Zagreb

U članku je kratko opisan prototip gorača razvijenog u tvornici TPK Zagreb u suradnji s Institutom za elektroprivredu Zagreb i daju se rezultati ispitivanja gorača na parnom kotlu kapaciteta v 40 t/h. Rezultati prvih ispitivanja pokazali su da gorač zadovoljava uvjetima kakvi se postižu kod modernih rješenja poznatih proizvođača ove opreme.

DK 621.18—52

UVOD

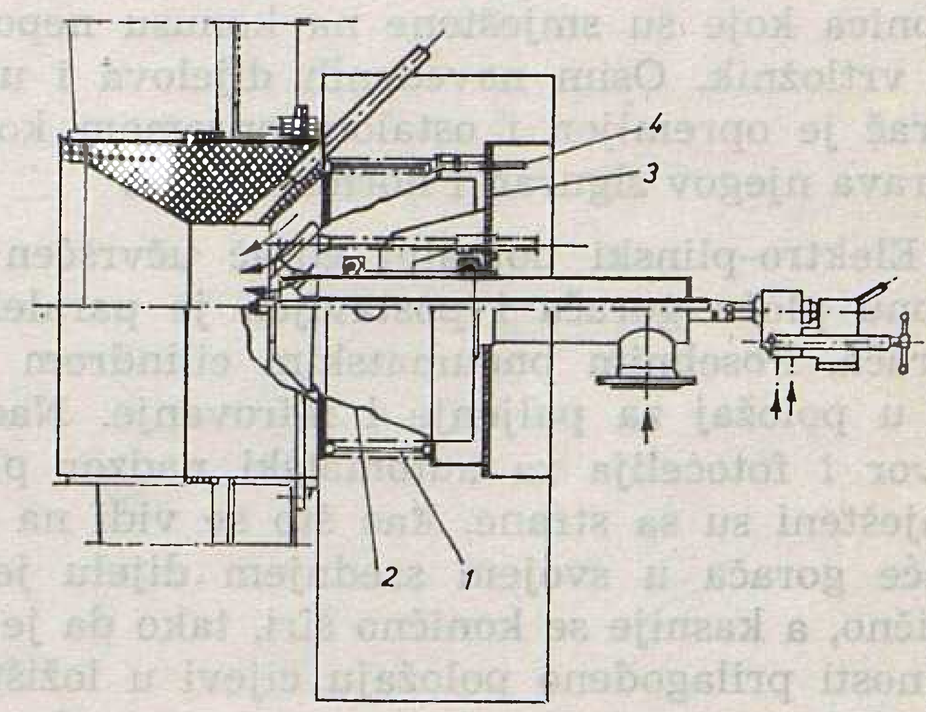
Činjenica da se već niz godina na području termoenergetskih postrojenja osjeća potreba većeg angažiranja domaćih proizvođača opreme za energetska postrojenja, kao i velika šarolikost u pogledu kvalitete i porijekla dijelova uvezene opreme, dovela je do ujedinjavanja znanja i iskustava TPK i Instituta za elektroprivredu na području tehnike izgaranja. Nakon provedenih razvojnih i istražnih radova, rezultat takvih zajedničkih napora na tom području jest usvajanje proizvodnje u TPK energetskih gorača toplinskog učina 10—50 Gcal/h.

Istražni radovi obavljeni su na prototipnom goraču »PEKA 1« toplinskog učina 15 Gcal/h tokom 1976. godine. Treba istaći da je znatnu pomoć pri realizaciji ovog programa pružila i Elektroprivreda-Zagreb OOUR TE-TO, koja je stavila na raspolaganje postrojenje na kojem se vršilo ispitivanje, osigurala potrebno gorivo i sav potrošni materijal, stavila na raspolaganje i pogonsko osoblje, a tokom cijelog ispitivanja pružala pomoć kad god je to bilo potrebno. I ovom im se prilikom zahvaljujemo na suradnji.

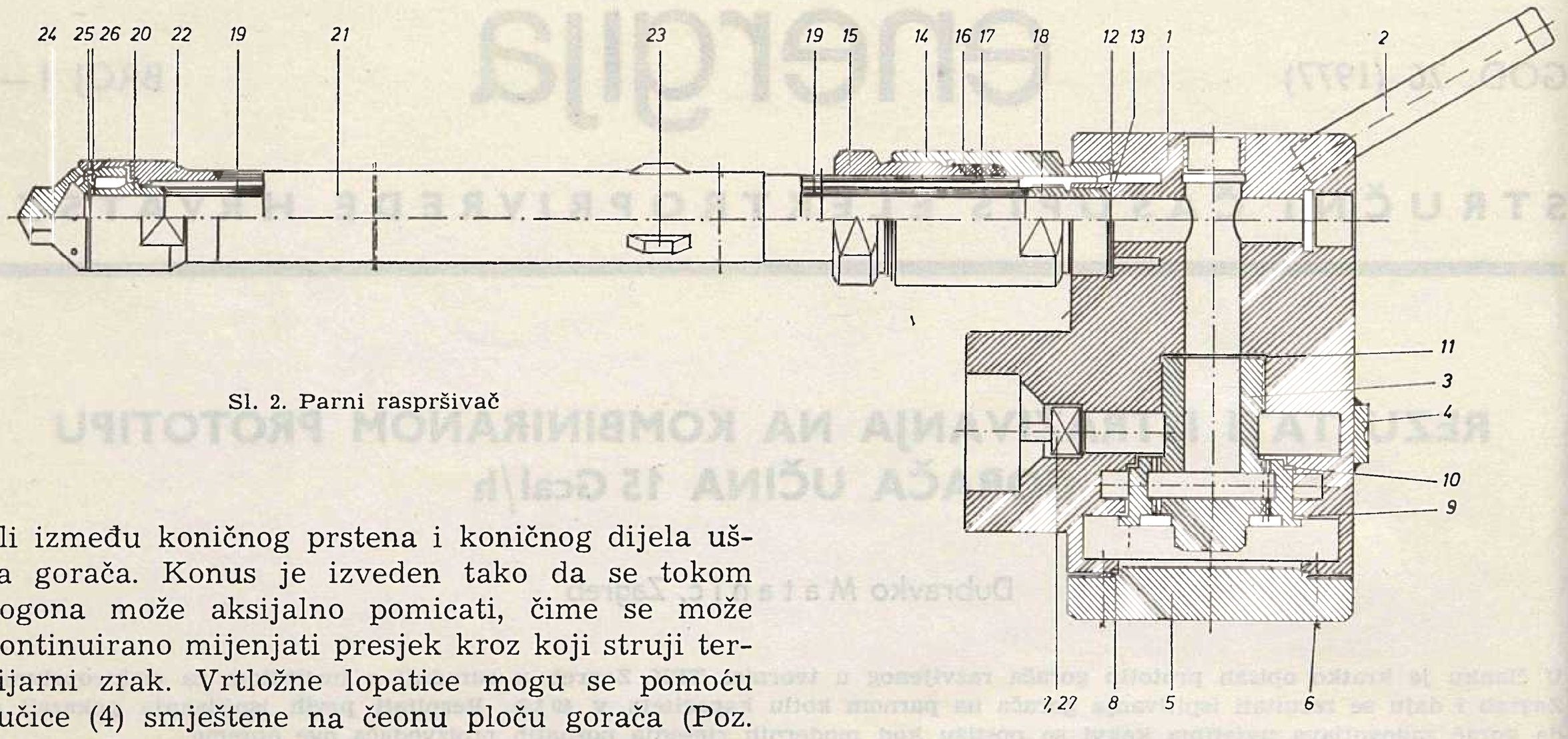
OPIS GORAČA

Dispozicijski crtež gorača prikazan je na sl. 1. Svaki se gorač u principu sastoji od dvije osnovne konstruktivne cjeline: uređaja za raspršivanje goriva ili raspršivača i zračnog registra, koji ima zadatak da dovede zrak s određenom brzinom u područje miješanja s gorivom, a osim toga i da osigura stabilizaciju plamena.

Sav potreban zrak za izgaranje dovodi se u spiralnu zračnu kutiju čime se postiže velika ravnomjernost raspodjele zraka po obodu gorača. Prolazeći kroz registar lopatica (Poz. 1), ta ista količina intenzivno se vrtloži kako bi se postiglo što intenzivnije miješanje zraka i goriva. Nakon prolaza kroz registar lopatica zrak se dijeli na 3 dijela. Primarni zrak prolazi kroz otvore na konusu (Poz. 2), zatim kroz koaksijalno smještene cijevi, čime se zrak dovodi ispred vrtložnika smješenog na samom vrhu konusa. Budući da je primarni zrak pri prolazu kroz otvore na konusu kao i kroz cijevi izgubio vrtloženje, pri prolazu kroz vrtložnik taj se zrak ponovno vrtloži i neposredno nakon raspršivanja nastrujava na struju raspršenog goriva. Sekundarni zrak okomito struji na struju raspršenog goriva između konusa i koničnog prstena koji je pričvršćen na konus. Tercijarni zrak struji na isti način kao i sekundarni,



Sl. 1. Dispozicija gorača



Sl. 2. Parni raspršivač

ali između koničnog prstena i koničnog dijela ušća gorača. Konus je izveden tako da se tokom pogona može aksijalno pomicati, čime se može kontinuirano mijenjati presjek kroz koji struji tercijarni zrak. Vrtložne lopatice mogu se pomoću ručice (4) smještene na čeonu ploču gorača (Poz. 3) za vrijeme obustave gorača namjestiti u željeni položaj promjenom zakretnog kuta lopatica. Na taj način može se mijenjati intenzitet vrtloženja zračne sruje. Konus se pomiče posebnim motorom za udešavanje pomoću viljuškaste poluge. Cijeli konus zajedno s vrtložnikom pričvršćen je na centralnu cijev za dovod plina, koja je zajedno s konusom oslonjena na posebne valjke koji omogućuju pomicanje konusa uz malu silu. U centralnom dijelu gorača nalazi se zaštitna cijev u koju se ulaže raspršivač za teško loživo ulje.

Raspršivač je detaljnije prikazan na sl. 2. Medij za raspršivanje je para pritiska 13 atp. Posebnim kanalom para za raspršivanje dovodi se u prostor između vanjske (Poz. 2) i unutrašnje (19) cijevi te istrujava u ložište kroz 8 rupa koje međusobno zatvaraju kut od 90°. Ulje za loženje dovodi se kroz unutrašnju cijev (19) u sapnicu (24) u kojoj povratnim strujanjem kroz posebne rupe ustrujava u rupe za paru, te zbog toga dolazi do raspršivanja goriva.

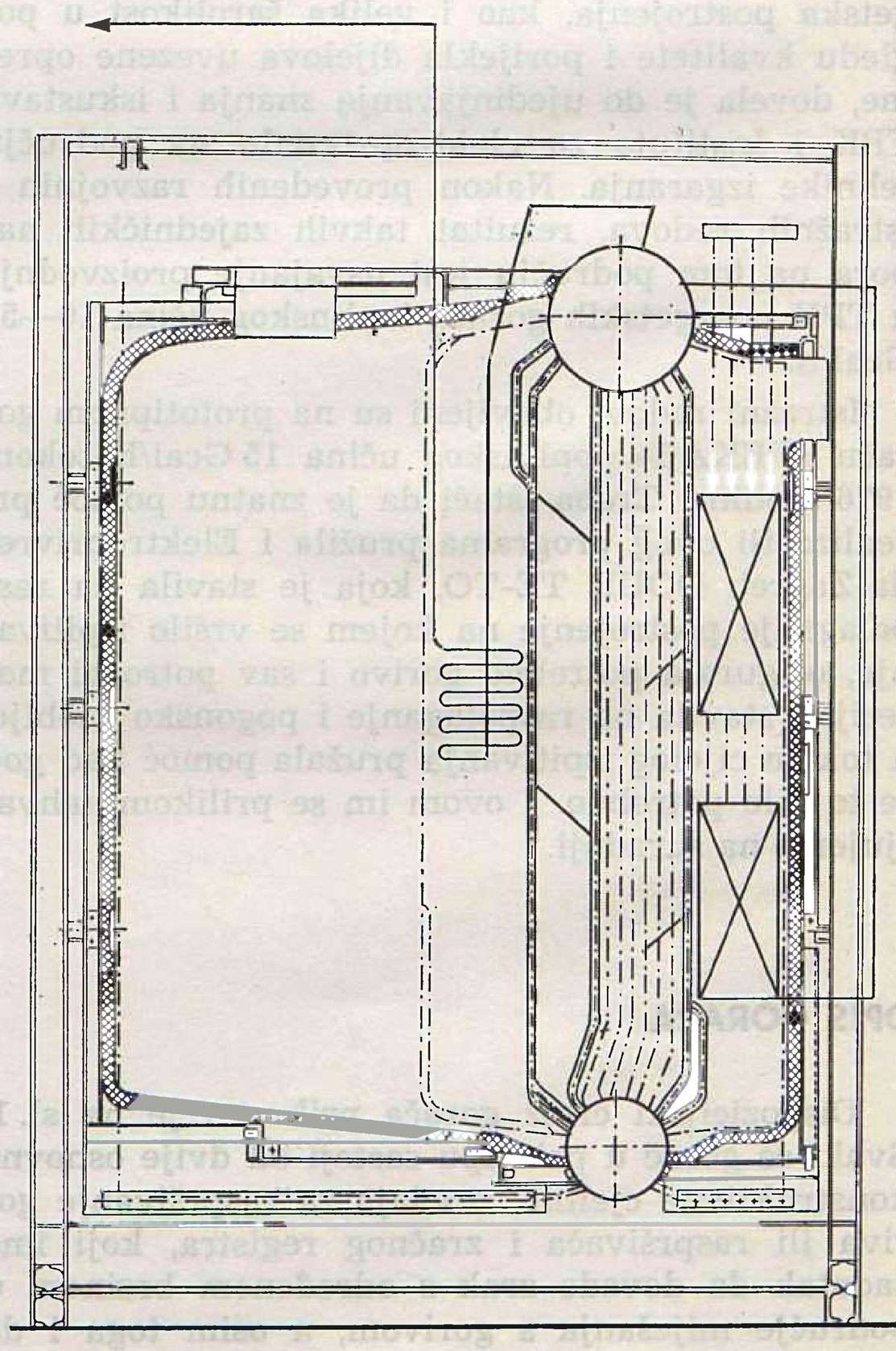
Raspršivač se ulaže u gorač kroz zaštitnu cijev na kojoj je na prednjem kraju smještena odbojna klapna dimnih plinova i priključci goriva i pare.

Plin za izgaranje dovodi se centralno, a u ložište istrujava okomito na struju zraka kroz niz sapnica koje su smještene na konusu neposredno uz vrtložnik. Osim navedenih dijelova i uređaja, gorač je opremljen i ostalom opremom koja osigurava njegov siguran i normalan rad.

Elektro-plinski potpalni gorač učvršćen je na čeonu ploču gorača i postavljen je paralelno osi gorača. Posebnim pneumatskim cilindrom dovodi se u položaj za paljenje i mirovanje. Nadgledni otvor i fotoćelija za automatski nadzor plamena smješteni su sa strane, kao što se vidi na crtežu. Ušće gorača u svojem srednjem dijelu je cilindrično, a kasnije se konično širi, tako da je u potpunosti prilagođeno položaju cijevi u ložištu, kao i položaju gorača u odnosu na kotao odnosno ložište.

OPIS I TEHNIČKE KARAKTERISTIKE POSTROJENJA

Gorač PEKA 1 radi ispitivanja ugrađen je na parni kotao u vršnoj kotlovnici Termoelektrane-Toplane — Zagreb, Kuševačka bb. Presjek kotla dan je na sl. 3. Budući da je parni kotao oprem



Sl. 3. Presjek kotla TPK - tip G-58

ljen dvama goračima tvrtke Unitherm, prototipni gorač ugrađen je na mjesto gorača br. 2, dok je gorač br. 1 također demontiran, a njegovo ušće nepropusno zatvoreno.

Kotao je strmocijevni radijacijski s dva bubnja konstruiran za loženje teškog ulja i zemnog plina. Izrađen je u »SKIN« izvedbi na natpritisak u ložištu, no zbog visine dimnjaka na koji je kotao priključen gotovo u svim promajama kotla vlada potlak, dok je ložište praktički bez tlaka. Kotao ima četiri promaje, i to ložište, pregrijač pare, kotlovski paket cijevi između dva bubnja i cijevni zagrijač vode. Na stropu ložišta ugrađena su dva potpuno automatska kombinirana gorača tvrtke UNITHERM tip Unigo, koji su konstruirani tako da mogu izgarati ili teško ulje ili zemni plin s kontinuiranom regulacijom odnosa goriva i zraka.

Ložišni prostor je potpuno ekraniziran, a pregrijač pare konvektivnog tipa smješten je u drugoj promaji.

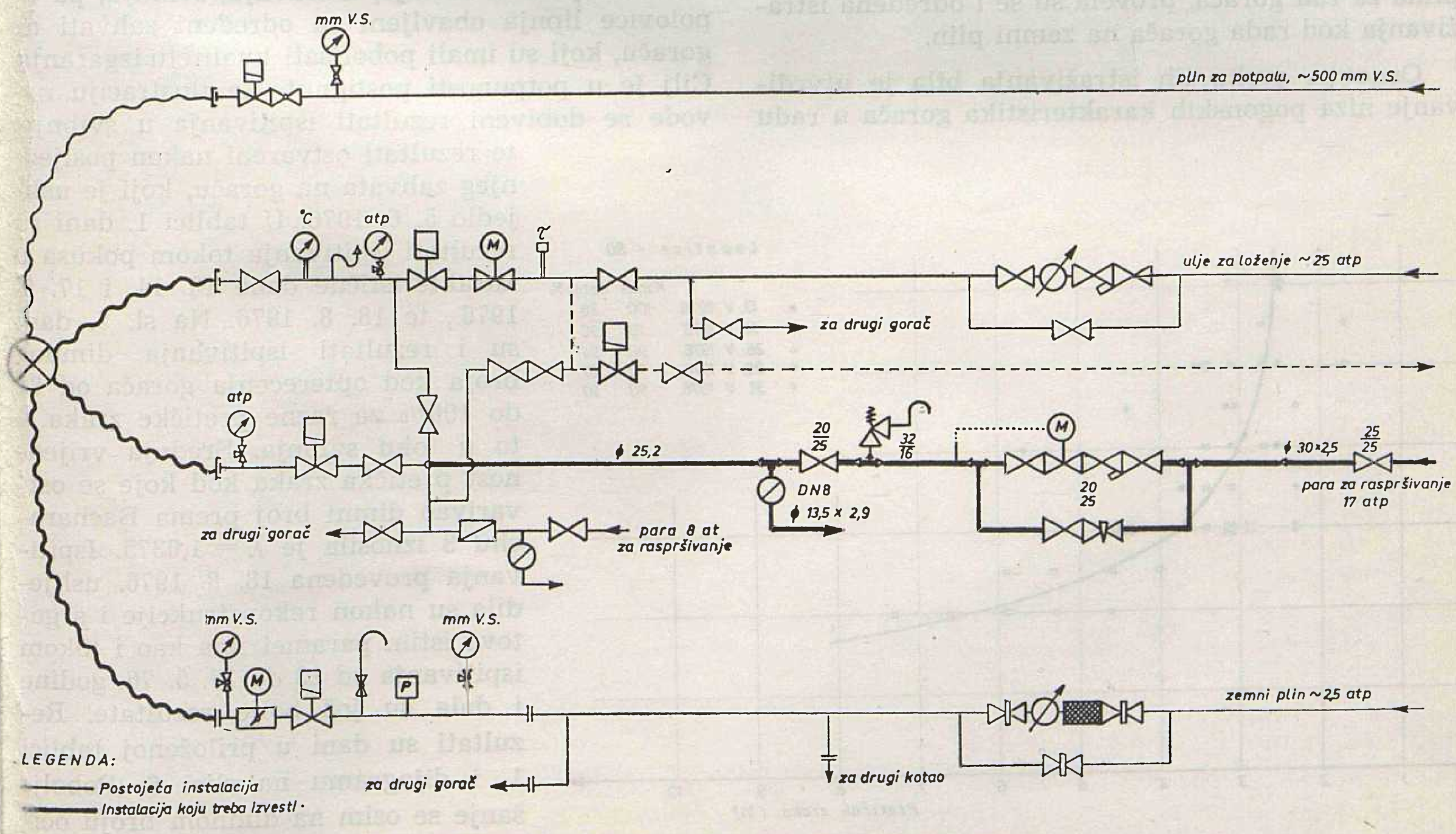
Sva potrebna količina zraka za izgaranje dobavlja se tlačnim centrifugalnim ventilatorom, koji zrak iz atmosfere i kotlovnice tlači u gorač i kotao, prethodno zagrijan na oko 20 °C u parnom zagrijaču zraka izrađenom od orebrenih čeličnih cijevi.

Osnovne tehničke karakteristike parnog kotla su:

Tip kotla	G-58
Proizvodnja pare normalna	32 t/h
max. trajna	40 t/h
minimalna	10 t/h
Koncesijski pritisak	25 atp
Radni pritisak u bubnju	20 atp
Pritisak na izlazu iz pregrijača	17 atp
Temperatura pregrijane pare	250 °C
Temperatura pojne vode	130 °C
Ogrjevna površina kotla	1320 m²
Dimenzije ložišta	2, 82×4, 62×7, 5 m
Stupanj djelovanja kod normalnog opt.	90 %

Ugradnja gorača na postojeći kotao zahtijevala je osim određenih zahvata na kotlu i izradu dopunskih instalacija za plin, ulje za loženje i paru. Na samom kotlu bilo je potrebno obaviti određene zahvate u ušću gorača, koje je izrađeno potpuno novo, a stanoviti zahvati su učinjeni i na privodnom zračnom kanalu s obzirom na različitu koncepciju u privodu zraka postojećeg i prototipnog gorača. Zahvati na instalacijama prvenstveno su proizašli iz razlike u koncepciji obaju rješenja kako u pogledu nivoa pritisaka goriva, tako i u pogledu načina raspršivanja. Na sl. 4. dana je shema uljne i parne instalacije oko gorača, kao i sve potrebne izmjene koje je trebalo izvesti u odnosu na postojeće rješenje. Tu se prvenstveno kao najveća izmjena javlja postavljanje redukcijske stanice za paru, koja ima zadatak da paru od 17 atp reducira na niži tlak, koji se može namjestiti u rasponu od 7 do 16 atp.

Na postojećem postrojenju kao medij za raspršivanje koristila se para 7 at, koja se kod nove koncepcije koristila samo kod starta postrojenja do porasta tlaka pare u kotlu i prebacivanja na vlastitu paru.



Sl. 4. Instalacija na kotlu 40 t/h, 17 atp za ispitivanje gorača

SVRHA I OPSEG ISTRAŽIVANJA

Budući da su naša dosadašnja iskustva s projektiranjem i proizvodnjom gorača velikih kapaciteta, prvenstveno onih namjenjenih energetskim postrojenjima, bila vrlo oskudna, osnovna svrha ovih istraživanja bila je skupljanje takvih iskustava i njihovo uspoređivanje s dosadašnjim spoznajama stečenim teorijskim putem, kao i studiranjem i proučavanjem poznatih izvedbi. Sve to radi usvajanja proizvodnje ovakvih gorača s obzirom na sve veće potrebe za njima u našoj zemlji.

U okviru tog globalnog cilja, od ovih istraživanja očekivao se niz odgovora na ova pitanja:

- da li je usvojena koncepcija gorača prihvatljiva ili ne?
- da li je uz ovako koncipiran gorač moguće ostvariti zadovoljavajuću kvalitetu izgaranja, stabilnost plamena i pouzdanost potpale?
- da li gorač zadovoljava i ostale zahtjeve koji se pred njega postavljaju, npr. omjer regulacije, otpor zraka kroz gorač itd.?
- koje je zahvate potrebno poduzeti na goraču da bi mu se povećala kvaliteta, pouzdanost, trajnost?

Osim toga, u slučaju pozitivnog odgovora na ta pitanja, istraživanjima je bilo potrebno utvrditi sve za projektiranje bitne veličine i međusobne ovisnosti pojedinih parametara.

Budući da je prototipni gorač razvijen kao kombinirani gorač, te kako su za vrijeme ispitivanja na raspolaganju stajale i dovoljne količine plina za rad gorača, provela su se i određena istraživanja kod rada gorača na zemni plin.

Osnovna svrha tih istraživanja bila je utvrđivanje niza pogonskih karakteristika gorača u radu s plinom, pri čemu se između ostalog mislilo na kvalitetu izgaranja, pouzdanost potpale, mirnoću rada itd.

PROVEDBA ISPITIVANJA

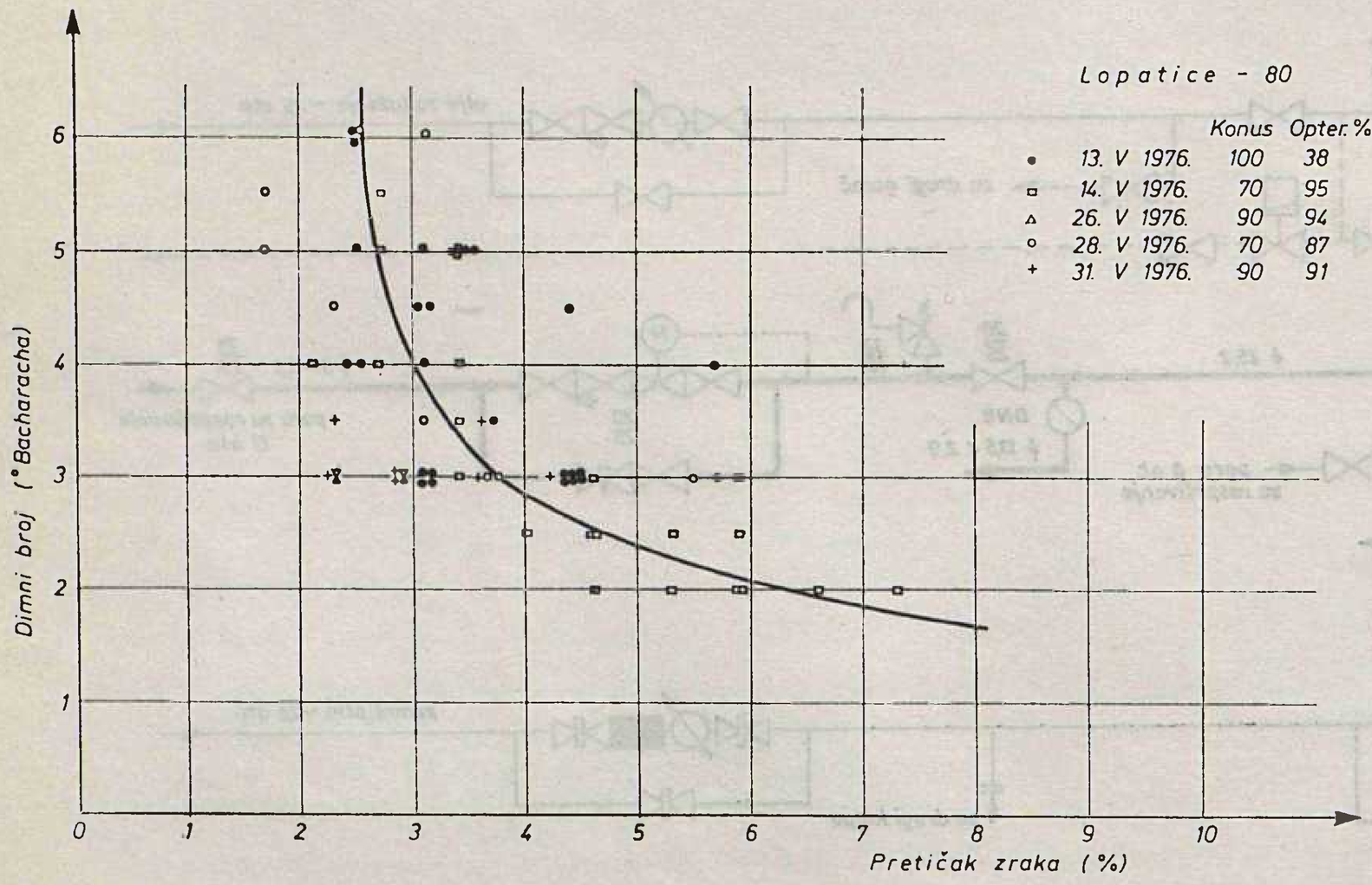
Ispitivanja i proračuni izvršeni su prema propisima DIN 1942 »Abnahmeversuche am Dampferzeugern«.

Mjerenja temperatura, tlakova, analiza dimnih plinova i uzimanje uzoraka goriva za analizu provedena su također u skladu s odgovarajućim propisima. Određivanje dimnog broja prema Bacharachu izvršeno je u skladu sa propisima JUS B. H. 8. 270.

REZULTATI MJERENJA I PRORAČUNA

Istraživanja na goraču započela su početkom travnja 1976. godine. Prva istraživanja provodila su se radi utvrđivanja pouzdanosti potpale kod rada s teškim uljem za loženje. Nakon provedbe tih ispitivanja pristupilo se ispitivanjima kvalitete izgaranja. Uz manje prekide ta su ispitivanja trajala do sredine lipnja, kad se prešlo na istraživanje rada gorača sa zemnim plinom. Ta su istraživanja trajala do kraja lipnja. Tokom srpnja izvršen je remont postrojenja. Posljednja ispitivanja kod rada gorača s teškim uljem za loženje obavljena su 18. 8. 1976.

Za vrijeme istraživanja u toku rada gorača s teškim uljem za loženje, u travnju, svibnju, pa do polovice lipnja obavljeni su određeni zahvati na goraču, koji su imali poboljšati kvalitetu izgaranja. Cilj je u potpunosti postignut. Za ilustraciju navode se dobiveni rezultati ispitivanja u svibnju, te rezultati ostvareni nakon posljednjeg zahvata na goraču, koji je uslijedio 5. 6. 1976. U tablici 1. dani su rezultati ispitivanja tokom pokusa u karakteristične dane 13. 14. i 17. 5. 1976., te 18. 8. 1976. Na sl. 5. dani su i rezultati ispitivanja dimnog broja kod opterećenja gorača od 85 do 100% za razne pretičke zraka, i to u toku svibnja. Srednja vrijednost pretička zraka kod koje se ostvarivao dimni broj prema Bacharachu 3 iznosila je $\lambda = 1{,}0375$. Ispitivanja provedena 18. 8. 1976. uslijedila su nakon rekonstrukcije i s gotovo istim parametrima kao i tokom ispitivanja od 13 do 17. 5. 76. godine i dala su još bolje rezultate. Rezultati su dani u priloženoj tablici 1. i dijagramu na slici 6. Poboljšanje se osim na dimnom broju očitava i na izmjerenom sadržaju kru-



Sl. 5. Ovisnost dimnog broja o pretičku zraka

Tablica 1.

REZULTATI MJERENJA I PRORAČUNA
Položaj lopatice L=80, konusa K=100 i raspršivača R=50

Datum ispitivanja	Sapnica 8 × 21 — 13 — 19 — 90°		Ispitivanje broj		
			1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8
13. 5. 1976.	Količina goriva — brojilo	kg/h	1480	1435	
	Opterećenje gorača u odnosu prema nazivnom	%	98,7	96,8	
	Temperatura goriva	°C	121,9	124,3	
	Tlak goriva pred goračem	atp	12,9	13,0	
	Količina pare za raspršivanje	kg/h	60,6	60,0	
	Temperatura pare za raspršivanje	°C	202,9	204,3	
	Tlak pare za raspršivanje	atp	14,0	14,0	
	Temperatura zraka za izgaranje	°C	32,5	37,5	
	Tlak zraka ispred gorača	mmSV	300,4	330,4	
	CO_2 na kraju kotla	%	15,39	15,16	
	O_2 na kraju kotla	%	0,68	0,94	
	Dimni broj	°Bach	4,8	3,1	
	Količina krutih čestica po kg goriva	gr/kg	3,44	3,07	
	Proračunski CO_2 max	%	15,91	15,91	
	Pretičak zraka preko CO_2		1,032	1,046	
14. 5. 1976.	Količina goriva — brojilo	kg/h	1444	1418	
	Opterećenje gorača u odnosu prema nazivnom	%	96,3	94,6	
	Temperatura goriva	°C	116,4	118,1	
	Tlak goriva pred goračem	atp	13,1	13,0	
	Količina pare za raspršivanje	kg	66,1	66,0	
	Temperatura pare za raspršivanje	°C	204,6	204,5	
	Tlak pare za raspršivanje	atp	13,9	14,0	
	Temperatura zraka za izgaranje	°C	52,0	54,1	
	Tlak zraka ispred gorača	mmSV	386,2	395,8	
	CO_2 na kraju kotla	%	15,42	15,09	
	O_2 na kraju kotla	%	0,41	0,78	
	Dimni broj	°Bach	3,9	2,3	
	Količina krutih čestica po kg goriva	gr/kg	2,88	2,20	
	Proračunski CO_2 max	%	15,95	15,95	
	Pretičak zraka preko CO_2		1,032	1,054	
17. 5. 1976.	Količina goriva — brojilo	kg/h	1430		
	Opterećenje gorača u odnosu prema nazivnom	%	95,3		
	Temperatura goriva	°C	124,9		
	Tlak goriva pred goračem	atp	13,1		
	Količina pare za raspršivanje	kg/h	59,9		
	Temperatura pare za raspršivanje	°C	204,0		
	Tlak pare za raspršivanje	atp	14,0		
	Temperatura zraka za izgaranje	°C	30		
	Tlak zraka ispred gorača	mmSV	382,7		
	CO_2 na kraju kotla	%	14,06		
	O_2 na kraju kotla	%	1,94		
	Dimni broj	°Bach	—		
	Količina krutih čestica po kg goriva	gr/kg	1,59		
	Proračunski CO_2 max	%	15,92		
	Pretičak zraka preko CO_2		1,124		
18. 8. 1976.	Količina goriva — brojilo	kg/h	1239	1248	1238
	Opterećenje gorača u odnosu prema nazivnom	%	82,6	83,2	82,5
	Temperatura goriva	°C	117,5	117,2	118,0
	Tlak goriva pred goračem	°C	13,2	13,4	13,5
	Količina pare za raspršivanje	kg/h	—	—	—
	Temperatura pare za raspršivanje	°C	210,7	210,8	211,4
	Tlak pare za raspršivanje	atp	13,1	13,1	12,9
	Količina zraka za izgaranje	Nm^3/h	15636	16364	17267
	Temperatura okolišnjeg zraka	°C	20,9	22,8	25,0
	Temperatura zraka za izgaranje	°C	33,0	34,8	36,8
	Tlak zraka ispred gorača	mmSV	248,9	266,1	293,4
	CO_2 na kraju kotla	%	15,28	14,88	14,17
	O_2 na kraju kotla	%	—	—	—
	Dimni broj	°Bach	2,9	1,7	1,0
	Količina krutih čestica po kg goriva	gr/kg	1,83	1,33	1,03
	Proračunski CO_2 max	%	15,84	15,84	15,84
	Pretičak zraka preko CO_2		1,038	1,061	1,111

tih čestica u te dane, što je pregledno dano na sl. 7. Za sve rezultate nužno je napomenuti da su ostvareni praktički s hladnim zrakom od približno 30 °C, što je sa stajališta izgaranja otežavajuća okolnost.

Rezultati ispitivanja kvalitete izgaranja u ostale dane pri sniženom opterećenju omogućili su izradu dijagrama ovisnosti pretička zraka o opterećenju gorača uz uvjet da dimni broj ne prelazi 3. Taj dijagram dan je na slici 8.

U toku samih ispitivanja, a što je vidljivo iz priloženih rezultata, varirala su se tri osnovna konstruktivna parametra gorača, i to položaj konusa (K), položaj lopatica (L) i položaj raspršivača (R). Položaj konusa varirao se od maksimalno otvorenoga (K - 110 mm) do minimalnog (40—50 mm) kad bi plamen počeo pokazivati određenu nestabilnost. Položaj lopatica iz konstruktivnih je razloga bio maksimalno ograničen na otvor između lopatica (L = 80 mm), no minimalno se ispitivao položaj L = 50 mm zbog naglog rasta otpora zraka kroz gorač. Položaj raspršivača određivao se razmakom mlaznica od vrtložnika, mijenjao se od 20 mm do 100 mm i nije pokazivao bitnu ulogu na rad gorača.

Nakon provedenih istraživanja kod rada gorača s teškim uljem za loženje, u drugoj polovici lipnja prešlo se na pokuse kod rada gorača sa zemnim plinom. Rezultati dobiveni tim ispitivanjima pokazali su da je s plinom moguće ostvariti još bolju kvalitetu izgaranja negoli s teškim uljem za loženje. Najbolji rezultati ostvareni su 24. 6. 1976. s otvorenošću vrtložnih lopatica 80 mm i dani su u tablici 2. Izmjerene vrijednosti sadržaja CO u dimnim plinovima u ovisnosti o pretičku zraka dani su na sl. 9. Karakteristično je pri tome da je kod pretička zraka $\lambda = 1{,}02$ izmjeren prosječan sadržaj CO od 0,01 %, što je oko 10 puta manje od maksimalnog dozvoljenog sadržaja CO u dimnim plinovima na području grada Zagreba.

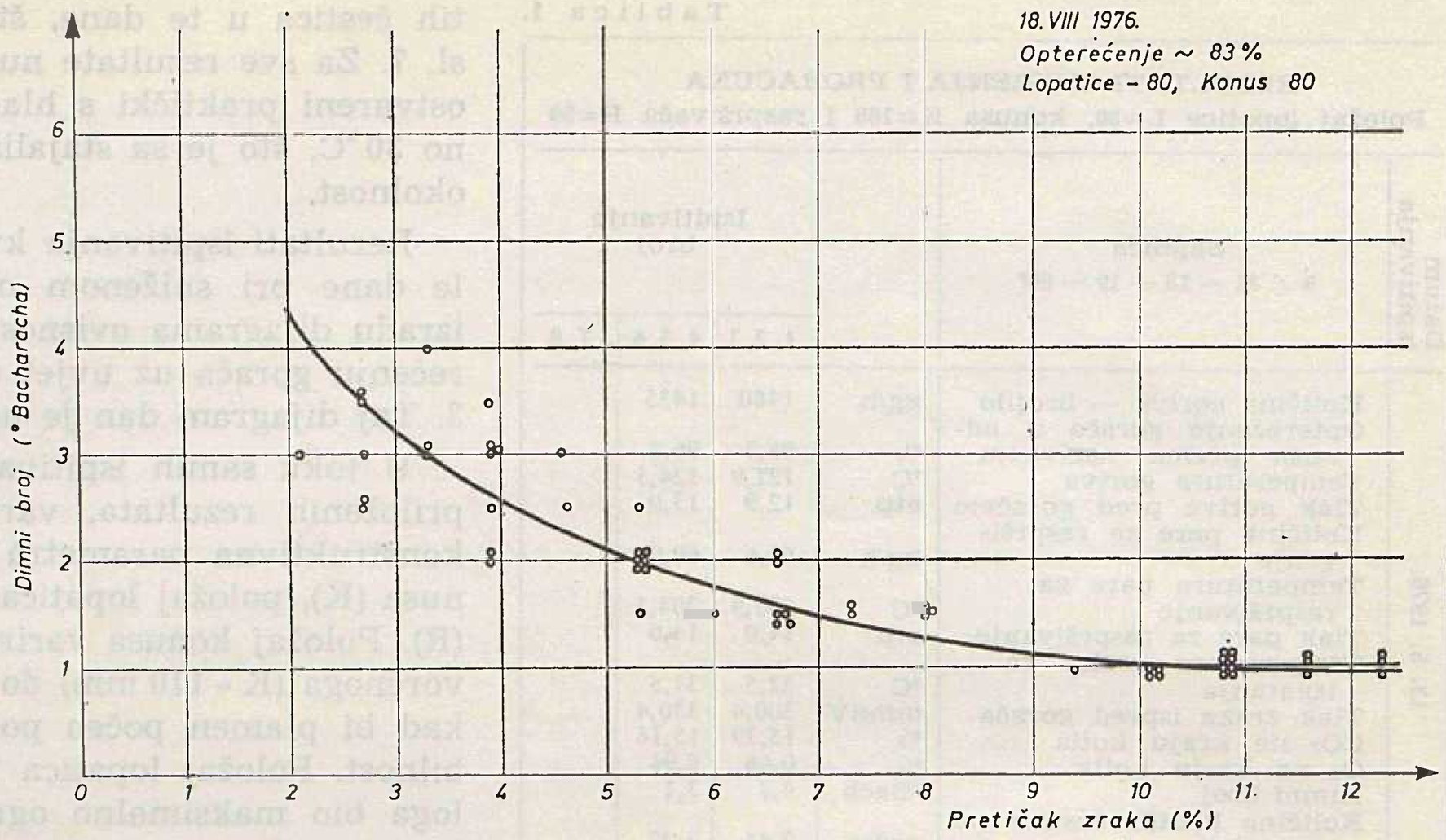
U toku ispitivanja vršena su i vizualna promatranja plamena radi utvrđivanja njegove forme i

Tablica 2.

REZULTATI MJERENJA I PRORAČUNA
Položaj lopatice L = 80

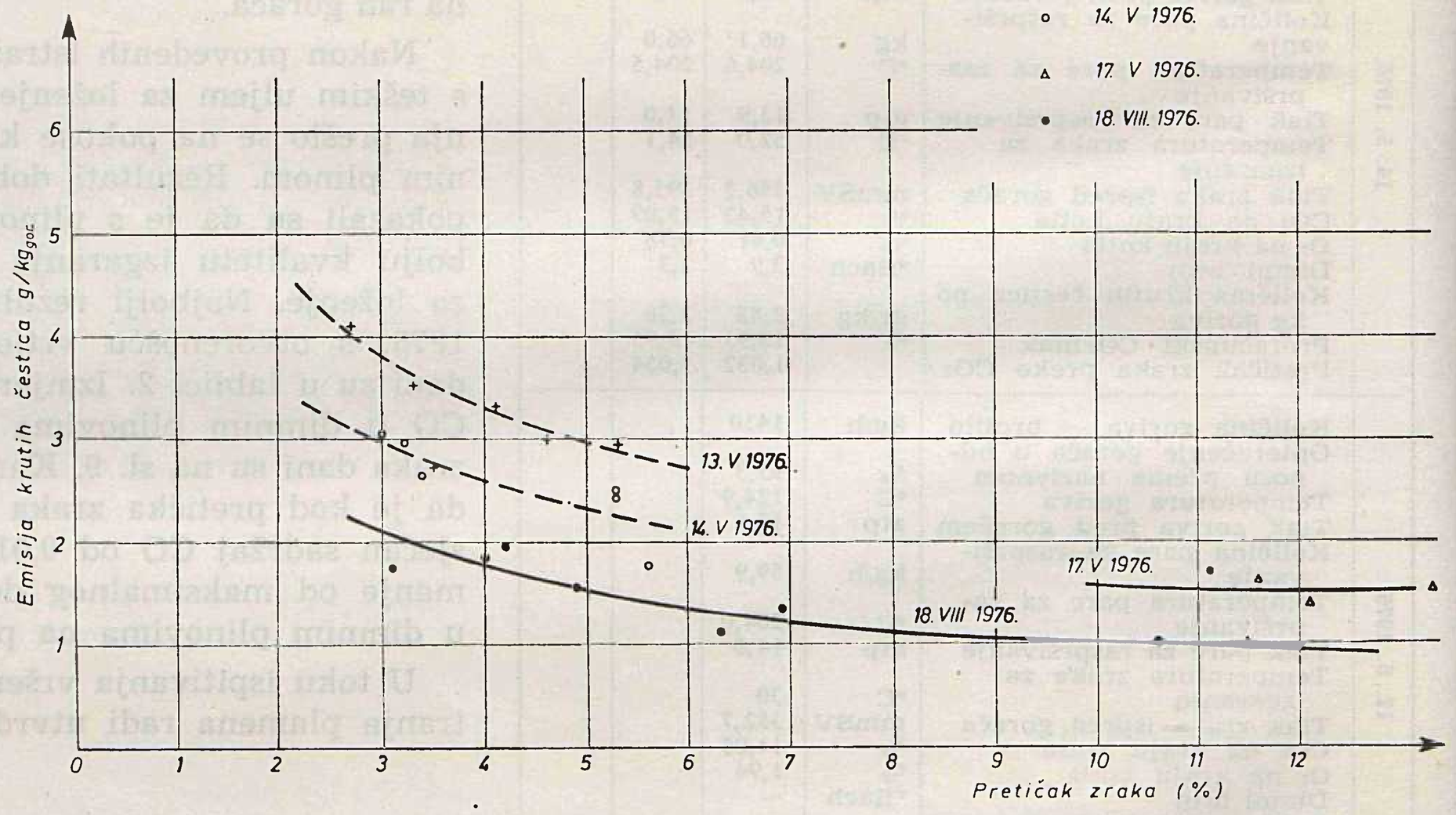
Datum ispitivanja			Položaj konusa (K)		
			100	80	76
24. 6. 1976.	Količina plina	Nm^3/h	1313	983	729
	Tlak plina ispred gorača	atp	0,69	0,37	0,19
	Tlak zraka ispred gorača	mmSV	383,7	140,4	59,7
	CO_2 na kraju kotla	%	12,0	12,0	11,4
	O_2 na kraju kotla	%	0,3	0,4	1,1
	Sadržaj CO izmjeren Drägerovim aparatom	%	0,01	0,01	0,00
	Proračunski CO_2 max	%	12,25	12,25	12,25
	Pretičak zraka preko CO_2		1,019	1,019	1,067
	Toplinski učin gorača	Gcal/h	13,22	9,89	7,34
	Opterećenje gorača u odnosu prema nazivnom	%	88	66	49

duljine, koliko je to omogućavala oprema ugrađena u kotlu. Što se tiče duljine plamena, očito je da se on ne razlikuje praktički ništa od duljine plamena ostalih gorača koji rade s vrtloženjem zraka i parnim raspršivanjem. Detaljnija mjerenja duljine plamena nije bilo moguće provesti, no također se utvrdilo da kod poremećaja raspršivanja ili kod velikih aksijalnih brzina dolazi do izduljenja plamena ponekad i za 2—3 m.

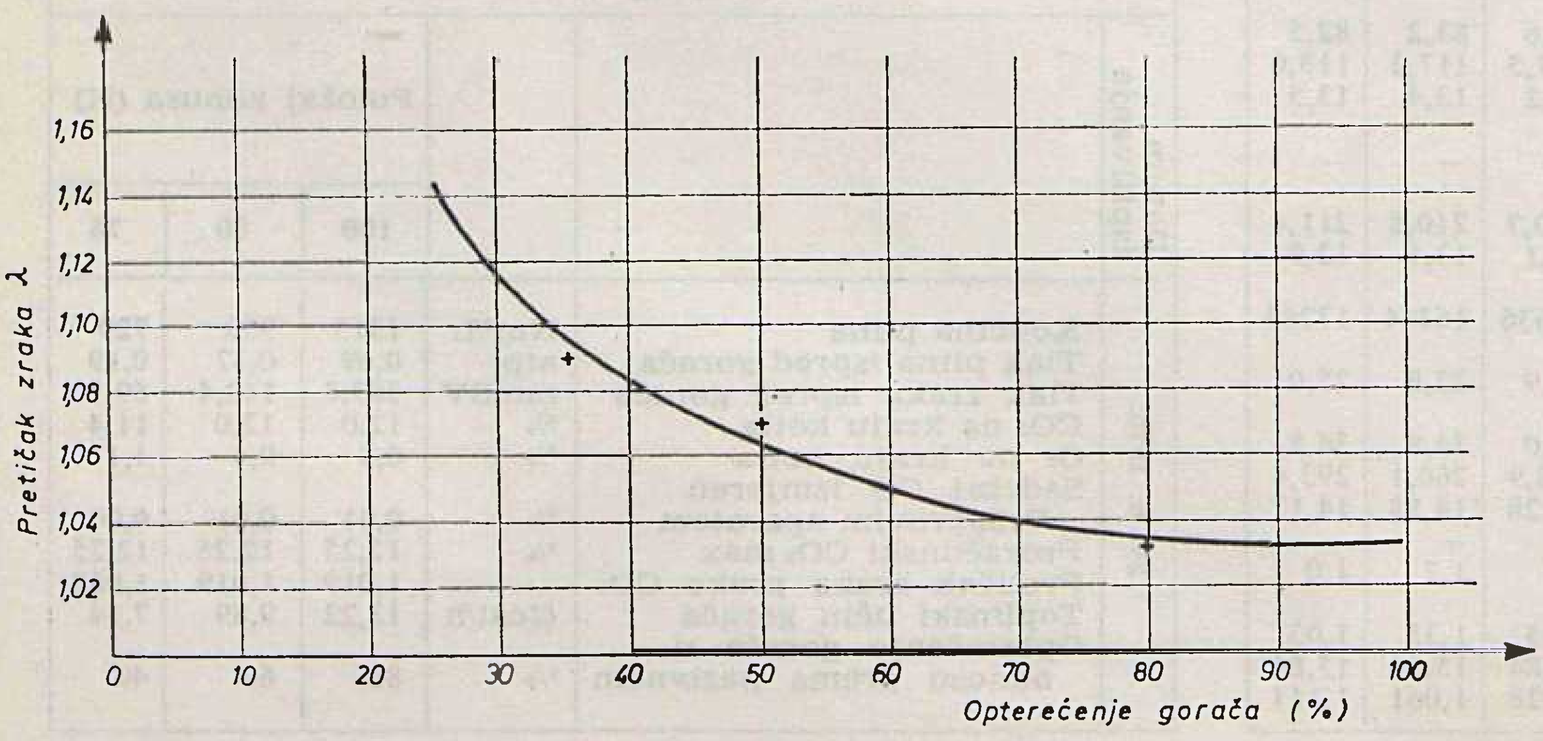


Sl. 6. Ovisnost dimnog broja o pretičku zraka

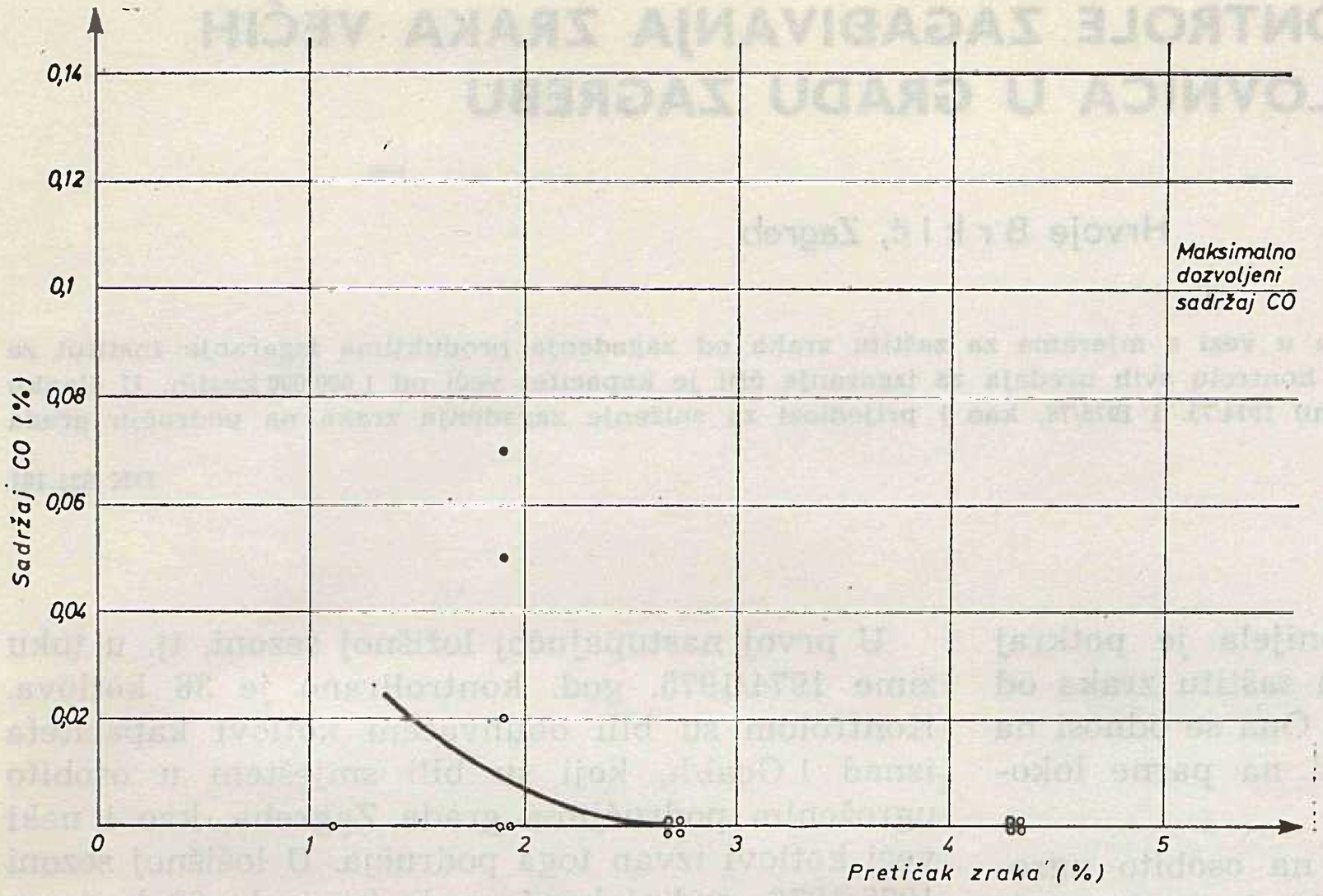
Formu plamena nije bilo moguće u cjelini sagledati zbog konstruktivnih karakteristika na postrojenju, no u slučaju optimalnih uvjeta u pogledu raspršivanja i mješanja goriva i zraka plamen je dobro ispunjavao ložište i završavao se otprilike 2—3 metra od poda kotla.



Sl. 7. Ovisnost emisije krutih čestica o pretičku zraka



Sl. 8. Ovisnost minimalnog pretička zraka o opterećenju gorača pri loženju kotla teškim uljem



Sl. 9. Ovisnost sadržaja CO o pretičku zraka, položaj lopatica 80 mm

ZAKLJUČAK

Na osnovi skupljenih iskustava u toku istraživanja i pokusa, rezultata mjerenja i provedenih proračuna i analiza stekla se jasna slika o mogućnostima prototipnog gorača, kao i o ostvarenoj kvaliteti izgaranja.

Za vrijeme istraživanja velika se pažnja posvećivala i ispitivanjima stabilnosti potpale, kao prelomnog trenutka u radu gorača, to prije što najviše problema pri eksploataciji gorača nastupa zbog otežane potpale, što ponekad zahtijeva znatno utrošeno vrijeme, a često mogu nastupiti i znatni troškovi jer postrojenje ne može biti pušteno pravodobno u pogon. Ostvareni rezultati kod pokusa potpale gorača na teško ulje za loženje vrlo su dobri. Gorač je u pojedinim potpalnim režimima apsolutno pouzdan i plamen je stabiliziran u roku od 7 do 10 s. U pojedinim režimima ta potpala je trajala i duže, a u nekim režimima potpala nije uspjela, no to su u pravilu bili režimi s vrlo velikim brzinama nastrujavanja zraka na raspršenu struju goriva. Osnovni uvjet za pouzdano paljenje jest čista sapnica bez naslaga koksa kako na samoj sapnici, tako i u rupama sapnice. Pouzdanost potpale kod rada gorača sa zemnim plinom još je veća, plamen je stabiliziran u roku od 1 do 2 sekunde od otvaranja brzozatvarajućih ventila. Prilikom ispitivanja na plin sve izvedene potpale bile su uspješne bez ikakvih vremenskih zatezanja.

Osim pouzdanosti potpale obavljena su ispitivanja i stabilnost plamena. Utvrđeno je da je plamen u svim uobičajenim pogonskim stanjima vrlo stabilan, a do određene nestabilnosti plamena dolazi samo u slučajevima kad je količina zraka kod malih količina goriva 2—3 puta veća od stehiometrijske količine zraka, dakle u situacijama koje su pogonski neostvarive. Pri takvim su režimima brzine strujanja zraka vrlo velike.

Ostvarena kvaliteta izgaranja na vrlo je visokom nivou, naročito pri radu s prirodnim plinom, tako da se dimni broj 3 ostvaruje kod pretička zraka $\lambda = 1{,}03 — 1{,}04$ kod rada s teškim uljem za loženje, a kod rada sa zemnim plinom bez daljnjega je moguće raditi $\lambda = 1{,}02$. Postignuti rezultati su to vredniji što su ostvareni s praktički hladnim zrakom temperature oko 30 °C. Treba napomenuti da za kotlove rad s niskim pretičkom zraka kod izgaranja teškog ulja za loženje s 3 % ili više sumpora predstavljaju jedan od bitnih preduvjeta za dugotrajan rad kotla bez velikih poteškoća zbog niskotemperaturne korozije.

U tom svjetlu treba promatrati težnju za ostvarivanjem visoke kvalitete izgaranja sa što je moguće nižim pretičkom zraka. Visoka kvaliteta izgaranja potvrđena je i ostvarenim niskim sadržajem krutih čestica u dimnim plinovima, koju vrijednost također treba promatrati kroz rad s niskom temperaturom zraka za izgaranje.

U toku ispitivanja utvrdilo se da gorač može pouzdano raditi u širokom omjeru regulacije 1 : 5 kako na teško ulje za loženje, tako i na plin. Stečena iskustva u ispitivanju omogućavaju, međutim, da se zaključi kako će se daljnjim radom na usavršavanju gorača te granice moći proširiti, čime će se moći zadovoljiti i najoštriji zahtjevi u pogledu provjere regulacije, koji se samo izuzetno postavljaju.

Količina utrošene pare za raspršivanje kreće se u uobičajenim granicama od 3 do 4 % od količine goriva koje se raspršuje. Bitno snižavanje te količine dovodi do slabije kvalitete raspršivanja i, jasno, slabije kvalitetnog izgaranja. Dobri rezultati postižu se i s vrlo malo pregrijanom ili čak zasićenom parom, no u tom slučaju može doći do erozije u sapnici.

U cjelini gledano ostvareni se rezultati mogu ocijeniti kao vrlo dobri, što će u svakom slučaju biti poticaj da se i dalje nastavi s radovima na istraživanju i daljnjem poboljšanju kvalitete izgaranja, koja je već sada dosegla razinu poznatih evropskih proizvođača ovih uređaja, na primjer tvrtki *Babcock & Wilcox*, Peabody itd.

Naslov pisca:
Mr Dubravko Matanić, dip. ing.
Institut za elektroprivredu, Zgb.

REZULTATI KONTROLE ZAGAĐIVANJA ZRAKA VEĆIH KOTLOVNICA U GRADU ZAGREBU

Hrvoje B r k i ć, Zagreb

Prema Odluci Skupštine grada Zagreba u vezi s mjerama za zaštitu zraka od zagađenja produktima izgaranja Institut za elektroprivredu je ovlašten da provodi kontrolu svih uređaja za izgaranje čiji je kapacitet veći od 1 000 000 kcal/h. U članku su prikazani rezultati kontrole za sezonu 1974/75. i 1975/76, kao i prijedlozi za sniženje zagađenja zraka na području grada Zagreba.

DK 621.181

Skupština grada Zagreba donijela je potkraj 1971. god. Odluku o mjerama za zaštitu zraka od zagađenja produktima izgaranja. Ona se odnosi na nepokretne uređaje za loženje i na parne lokomotive.

Odlukom je grad podijeljen na osobito ugroženo područje, ugroženo područje i ostalo područje.

Za osobito ugroženo i ugroženo područje grada propisano je:

— da se svi poslovni i industrijski objekti, javne te stambene zgrade s uređajima za loženje za centralno i etažno grijanje i pojedinačne peći moraju prvenstveno priključiti na izgrađenu toplovodnu i plinovodnu mrežu,
— da se može upotrijebiti ogrjevno drvo, kao i tekuće gorivo, i to: ekstralako ulje i ostala loživa ulja sa sadržajem sumpora do 1 % te koks s 1 % sumpora.
Upotreba ugljena dozvoljena je samo ako sadrži do 0,7 % gorivog sumpora i hlapivo u ugljenu do 15 %.

Nadalje je propisano da:

— kod loženja tekućim gorivom zacrnjenje popira dimnim plinovima ne smije prijeći stupanj 3 Bacharachove skale, a dimni plinovi ne smiju sadržavati tragove ulja ni komponente intenzivnog mirisa,
— kod loženja krutim gorivom zacrnjenje dimnih plinova na ušću dimnjaka ne smije prijeći stupanj 2 Ringelmannove skale,
— kod loženja plinovitim gorivima sadržaj ugljičnog monoksida u dimnim plinovima ne smije prijeći 0,1 %,
— da se uređaji za loženje moraju pogledati u pogonu najmanje jedanput godišnje,
— da se postojeći objekti na osobito ugroženom području moraju u roku od 5 godina prilagoditi propisanom gorivu.

U skladu s Odlukom pristupljeno je još iste godine kontroli izgaranja. U nastavku će biti iznesen sažeti prikaz dobivenih rezultata, kao i prijedlozi kojim bi se pridonijelo daljnjem sniženju zagađenja zraka produktima izgaranja.

U prvoj nastupajućoj ložišnoj sezoni, tj. u toku zime 1974/1975. god. kontrolirano je 38 kotlova. Kontrolom su bili obuhvaćeni kotlovi kapaciteta iznad 1 Gcal/h, koji su bili smješteni u osobito ugroženim područjima grada Zagreba, kao i neki veći kotlovi izvan toga područja. U ložišnoj sezoni 1975/1976. godini izvršena je kontrola 60 kotlova.

Ukupno instalirani kapacitet svih kotlova većeg kapaciteta od 1 Gcal/h na području grada Zagreba iznosi oko 1 570 t/, pri čemu su vrelovodni kotlovi preračunati u parne prema odnosu 1 Gcal/h u vreloj vodi = 2 t/h pare.

Ukupan broj kotlova većeg kapaciteta od 1 Gcal/h na području grada Zagreba iznosi 78 komada. Od toga je:

— 37 kotlova loženo samo uljem za loženje, i to uglavnom teškim
— 16 kotlova loženo samo plinovitim gorivom
— 14 kotlova loženo kombinirano plinovitim i tekućim gorivom
— 9 kotlova loženo ugljenom ili drvenim otpacima
— 2 kotla ložena kombinirano tekućim gorivom i drvenim otpacima.

Ocjenjuje se da je potrošnja teškog ulja za loženje navedenih kotlova iznosila u toku 1975. godine oko 205 000 t. Primijeni li se prosječni sadržaj sumpora u gorivu, dobiveni statističkim praćenjem u 1975. godini u Termoelektrani — toplani od 2,5 %, na čitav Zagreb, kotlovi veći od 1 Gcal/h izlučili su u toku godine 10 300 t sumpornog dioksida. Izgaranjem ugljena u kotlovima većim od 1 Gcal/h izlučeno je daljih oko 300 do 400 t, tako da je ukupno izlučeni sumporni dioksid onih kotlova u toku 1975. godine iznosio oko 11 000 t.

Daleko najveći kotlovski kapaciteti nalaze se nakupljeni u 3 poduzeća koji imaju samo srednje i velike kotlove.

To su:

— Termoelektrana - toplana u Kuševačkoj ulici, koja ima 6 kotlova s ukupnim kapacitetom 680 t/h pare,
— Elektrana - toplana u Zagorskoj ulici, koja imade 7 kotlova s ukupnim kapacitetom 426 t/h pare,
— OKI na Žitnjaku koji ima 2 kotla s ukupnim kapacitetom od 200 t/h pare.

Ta tri poduzeća imaju instaliran ukupni kapacitet od 1306 t/h pare, odnosno približno 83 % svih kotlova većih od 1 Gcal/h.

Svi kotlovi u Termoelektrani-toplani kao i 4 kotla u Elektrani-toplani opskrbljeni su takvim goračima da mogu zadovoljiti zahtjeve Odluke. Međutim, 3 kotla u Elektrani-toplani ne zadovoljavaju potpuno te zahtjeve. Također treba napomenuti da su ta tri kotla potpuno zastarjela, ulaze u pogon samo iznimno, a njihovo rušenje predviđeno je puštanjem u pogon novih kapaciteta koji su već u izgradnji. Dva takva kotla iz serije od 5, već su srušena.

Spomenute kotlove poslužuje visokokvalificirano osoblje kojemu stoji na raspolaganju dovoljno mjernih instrumenata. Stoga ti kotlovi nikako ne bi smjeli izlučivati tamne dimne plinove ili nedozvoljeno visok sadržaj ugljičnog monoksida. I zaista, u velikoj većini slučajeva izgaranje je ispravno. Ipak, ponekad i u kraćim vremenskim razdobljima dolazi do neispravnog izgaranja, a punu odgovornost za to snosi pogonsko osoblje.

Dimnjaci Elektrane-toplane i Termoelektrane-toplane, koje se nalaze usred grada, odnosno na njegovu rubu, visoki su 80, odnosno 100 m. Ocjenjuje se da njihov doprinos zagađenju zraka, unatoč velikim količinama spaljenog goriva, nije osobito velik. Ipak, smatra se da dimnjaci nisu dovoljno visoki, pa će se predviđenim proširenjem tih objekata pustiti u pogon novi dimnjaci visoki 200 m, a postojeći, niži, isključiti iz upotrebe. Vanjska konstrukcija novog dimnjaka u Termoelektrani-toplani već je završena, a početak izgradnje novog dimnjaka u Elektrani-toplani predviđa se još u ovoj godini. Time će zagađenje zraka od ova dva postrojenja, unatoč povećanju kapaciteta, postati još manje.

Međutim, utvrđeno stanje u poduzeću OKI s 2 kotla kapaciteta od po 100 t/h nije povoljno. Kotlovi spaljuju teško ulje za loženje uz dodatak otpadnih goriva iz tehnološkog procesa i zemnog plina. Iako su relativno novije konstrukcije (izgrađeni 1962. godine), kotlovi nisu u stanju izgarati tekuće gorivo sa zatamnjenjem dimnih plinova manjem od broja 3,5 do 7 po Bacharachu, uz sadržaj CO_2 u dimnim plinovima od samo 7 do 10 % i pri opterećenju od 50 do 80 t/h. Ispitivanje kotlova pri višim opterećenjima nije se moglo provesti iz pogonskih razloga. Dimnjaci tih kotlova visoki su samo po 25 m iznad tla, što se smatra nedovoljnim. Normalno bi se očekivalo da ovako velike jedinice imadu izvrsno izgaranje s visokim stupnjem djelovanja kotla i osjetno višim dimnjacima.

Izneseni pokazatelji upućuju na potrebu provođenja detaljne kompleksne stručne analize koja bi osim kotlova obuhvatila problem baklje, industrijskih peći itd.

Rezultati dobiveni kontrolom ostalih kotlova čija se veličina kreće između 2 i 12 t/h su prilično raznoliki. Većina tih kotlova nije starija od 10 do 15 godina, a neki od starijih rekonstruirani su u novije vrijeme. S obzirom na vrijeme izgradnje odnosno rekonstrukcije, bilo bi za očekivati da će biti u stanju sagorjevati gorivo u skladu sa zahtjevima Odluke, koja uzgred rečeno ne postavlja osobito oštre zahtjeve. Međutim čak oko 40 % pregledanih kotlova ne zadovoljava zahtjeve Odluke. Oni najlošiji imadu zatamnjenja čak i do br. 8 po Bacharachu. Uzrok za tako nepovoljno stanje svodi se uglavnom na:

— neispravne gorače koje bi trebalo ili potpuno ili u nekim dijelovima zamijeniti te

— nedovoljno znanje pogonskog osoblja i nedovoljno savjestan nadzor izgaranja.

Također valja naglasiti da u većini slučajeva manji kotlovi nisu opskrbljeni instrumentima za kontrolu izgaranja, što u stanovitoj mjeri otežava rad ložačima.

Izrazito nepovoljan je slučaj jedne ustanove koja je 1967. dala sagraditi dva kotla na teško loživo ulje. Međutim, konstrukcija tih kotlova i gorača odgovara stanju tehnike od prije 30 do 40 godina, a dimni plinovi pri višim opterećenjima imaju zatamljenja veća od b. 6 po Bacharachu.

Također je zanimljivo navesti slučaj jednog poduzeća usred grada koje je prije nekoliko godina ugradilo nove gorače za zemni plin u stare kotlove. Kod spaljivanja ovog goriva, koje je i za spaljivanje vrlo povoljno, utvrđeno je da je sadržaj ugljičnog monoksida daleko iznad dopuštene granice: od 0,5 % do čak 3 %.

Dva posljednja primjera navode na zaključak da i rukovodeće tehničko osoblje nije bilo u stanju (iz bilo kojeg razloga) odabrati zadovoljavajuću opremu.

Nadalje, napominje se da su sva kontrolna ispitivanja provedena u vrijeme dogovoreno s rukovodećim tehničkim osobljem u povoljnim uvjetima i kada je pogonsko osoblje nastojalo postići najbolje rezultate. Međutim, često za vrijeme nedovoljne pažnje pogonskog osoblja ili forsiranja postrojenja dolazi do povećanog i pretjeranog zagađivanja zraka. Iako je Uputom za primjenu Odluke predviđeno provjeravanje u zatečenom stanju pri iznenadnim kontrolama, provođenje je do sada neizvedivo zbog administrativnih poteškoća. Ocjenjuje se da bi iznenadne kontrole s odgovarajućim, makar i simboličnim kaznama pogonskog osoblja, osjetno smanjile zagađenje krutim česticama u dimnim plinovima.

Kotlovi manjih kapaciteta redovito ispuštaju dimne plinove na relativno niske dimnjake visine 10 do 20 m. Visina tih dimnjaka ponegdje je niža od okolnih zgrada, a ponegdje ih tek nešto nadvisuje. U takvim slučajevima, a zbog utjecaja okolnih zgrada, dimni plinovi se naglo ruše prema dolje, uzrokujući lokalna pretjerana zagađenja zraka. Također, zaštitne kape na izlaznim otvorima dimnjaka poništavaju dio nadvisivanja koji potječe od kinetičke energije izlaznih dimnih plinova. To pridonosi još bržem spuštanju dimnih

plinova i povećanju zagađenja zraka. Napominje se da Odluka grada Zagreba ne daje nikakve upute o potrebnim visinama i izvedbama dimnjaka.

Ocjenjuje se da mali kotlovi s niskim dimnjacima osjetno pridonose zagađenju zraka na području grada Zagreba.

Rezultati provedenih mjerenja u toku ložišne sezone 1974/75. dostavljeni su Sekretarijatu za zdravstvo grada Zagreba, koji je izdao odgovarajuća rješenja poduzećima koja pretjerano zagađuju zrak u svom području. Nakon završetka kontrole ložišne sezone 1975/1976. god. bit će također dostavljeni rezultati ispitivanja Sekretarijatu za zdravstvo s prijedlozima za daljnji postupak.

Iz statističkih podataka o praćenju zagađenja zraka sumpornim dioksidom u proteklom razdoblju proizlazi da najveća zagađenja zraka nastupaju u zimskim mjesecima, a da su zagađenja zraka u toku ljeta nekoliko puta niža. Pretpostavivši u prvom približenju da se potrošnja goriva u industriji manje razlikuje ljeti i zimi, proizlazi da je preveliko zagađenje zraka u prvom redu posljedica grijanja prostorija malim uređajima. Međutim, bez obzira na to, vrijedno je razmotriti svaku moguću mjeru da se smanji i onaj dio zagađenja zraka koji proizlazi od kotlova, naročito s malim, niskim dimnjacima.

Većina kotlova u Zagrebu spaljuje teško ulje za loženje. Najveći dio teškog ulja za loženje bio je stranog podrijetla čiji je sadržaj sumpora velik, a tek manji dio bio je domaćeg podrijetla sa sadržajem sumpora oko 1 %. Štoviše, teško ulje za loženje domaćeg podrijetla osjetno je teže nabaviti zimi kada je i najpotrebnije.

Kako je već navedeno, ocjenjuje se da kotlovi kapaciteta većeg od 1 Gcal/h troše godišnje oko 205 000 t teškog ulja za loženje. Odbivši potrošnju Termoelektrane-toplane, Elektrane-toplane i poduzeća OKI, mali kotlovi s niskim dimnjacima trošili bi godišnje oko 40 000 t teškog ulja za loženje od čega bi na tri zimska mjeseca otpalo oko 12 do15 000 t. Budući da najviša zagađenja zraka u Zagrebu nastupaju u toku prosinca, siječnja i veljače, bilo bi vrijedno detaljno razmotriti mogućnosti opskrbe malih kotlova s teškim uljem za loženje domaćeg podrijetla s malim sadržajem sumpora u toku ova tri mjeseca. Rješenje bi trebalo tražiti u prvom redu s Rafinerijom Sisak koja prerađuje domaću naftu i koja raspolaže velikim skladišnim prostorom u Sisku. Osim toga Termoelektrana-toplana i Elektrana-toplana u Zagrebu imadu skladišni prostor od ukupno 100 000 m³. Dio navedenih skladišta u oba grada mogao bi se iskoristiti u toku ljeta za skladištenje niskosumpornog goriva domaćeg podrijetla, a koje bi se koristilo u toku tri kritična zimska mjeseca.

Zbog boljeg uvida uzgred se napominje da je Termoelektrana u Sisku potrošila prošle godine nešto više od 230 000 t teškog ulja za loženje domaćeg podrijetla s niskim sadržajem sumpora. Zamjena oko 12 do 15 000 t godišnje ovog teškog ulja za loženje za potrebe malih kotlova u Zagrebu s teškim uljem za loženje stranog podrijetla iziskivala bi minimalno povećanje troškova, i to uglavnom zbog povećanih troškova prijevoza.

Osobito nepovoljno se ocjenjuje korištenje ugljena s obzirom na zagađenje zraka. Radi ilustracije navodi se slijedeći približni račun:

Izgaranjem 1 kg teškog ulja za loženje oslobađa se toplina od oko 9 600 kcal. Sadrži li 1 kg teškog ulja za loženje 3 % sumpora, oslobađa se 60 grama sumpornog dioksida.
Ako se izgara ugljen Zenica s ogrjevnom vrijednošću od oko 4 500 kcal/kg i 2,3 % sumpora, za istu količinu oslobođene topline potrebno je spaliti oko 2,1 kg ugljena, pri čemu se oslobađa oko 100 gr sumpornog dioksida. Uzme li se u obzir da jedan dio sumpora može vezati na šljaku ali i da su stupnjevi djelovanja pri loženju ugljena nepovoljniji od onoga pri ulju za loženje, dobivena orjentaciona slika s izlučenim sumpornim dioksidom se neće bitno izmijeniti.

Međutim, još osjetno nepovoljnija slika nastaje kada se promatraju izlučene krute čestice u dimnim plinovima. Izgaranjem 1 kg teškog ulja za loženje izlučuje se oko 1 do 2 g pepela i neizgorjelih ostataka dimnim plinovima. Izgaranjem 2,1 kg spomenutog ugljena preostaje oko 300 do 400 g pepela i šljake. Ako se dimnim plinovima kod loženja roštiljem izluči samo 5 do 10 % pepela dimnim plinovima, izlučene količine iznose 15 do 30 g, što je daleko nepovoljnije nego pri izgaranju ulja za loženje.

Ni korištenjem drugih vrsta ugljena odnosi se bitno ne mijenjaju, a zagađenje zraka postaje neugodno, što dobro osjećaju stanovnici okolnih naselja u utjecajnom području zagađivača.

Želi se također napomenuti da je Odlukom grada Zagreba propisana kontrola izlučivanja krutih čestica u dimnim plinovima isključivo zatamnjenjem dimnih plinova po Bacharachu kod tekućih goriva, odnosno po Ringelmanu za kruta goriva. Ovakav način kontrole bio je i uobičajen u inozemstvu u vrijeme kada je Odluka bila rađena. Naknadna ispitivanja kao i praćenje zagađenja zraka su dokazala da ne postoji zadovoljavajuća zavisnost između zatamnjenja dimnih plinova i veličine izlučenih čestica te da je zatamnjenje dimnih plinova zavisno i o nizu dignutih utjecajnih faktora. Stoga su u inozemstvu uvedena dodatna ograničenja emisije krutih čestica izražena u mg/m³ dimnih plinova, ovisno o vrsti goriva i vrsti ložišta. U skladu s iznesenim stranim i vlastitim iskustvima pojavljuje se potreba da se i kod nas na sličan način ograniči ova emisija i za tekuća i za kruta goriva te da se kontrola uvede barem za srednja i veća ložišta.

Gledajući sa stajališta ložišta čiji je kapacitet veći od 1 Gcal/h i općenito, za daljnje sniženje zagađenja zraka u Zagrebu, bilo bi potrebno:

1. Provoditi zamjenu teškog ulja za loženje zemnim ili gradskim plinom koliko god to raspo-

ložive mogućnosti dopuštaju, osobito tamo gdje je uređaj za loženje manji i njegov dimnjak niži. To se naročito odnosi na centralne, gusto naseljene dijelove grada.

2. Izviditi mogućnost opskrbe svih ostalih manjih ložišta s uljem za loženje s malim sadržajem sumpora, kako to Odluka grada Zagreba i predviđa, i to barem za tri zimska mjeseca. Vjerujem da je ovo rješenje moguće ostvariti dogovorom između viših rukovodioca Skupštine grada i poduzeća INA.

3. Provesti dosljedno u djelo zahtjeve Odluke u pogledu korištenja krutog goriva.

4. Dosljednim provođenjem Odluke prisiliti sve posjednike ložišta na takav rad i takve rekonstrukcije da zadovoljavaju zahtjeve Odluke u pogledu zagađivanja zraka.

5. Posebnu pažnju posvetiti novim i rekonstruiranim ložištima još u vrijeme projektiranja i nabave novih gorača. Također zahtijevati i određenu ekonomičnost postrojenja jer je ukupno zagađenje zraka razmjerno utrošenom gorivu, odnosno ekonomičnosti postrojenja. Tom prilikom bi se trebalo koristiti uslugama specijaliziranih ustanova koje imaju dovoljno stručnog znanja i praktičkih iskustava.

6. Dosljednjim provođenjem Odluke prisiliti potrošače pare i topline da se priključe na postojeću parovodnu i vrelovodnu mrežu, gdje god je to tehnički moguće i opravdano.

7. Pogonsko i rukovodeće osoblje upoznati sa štetnošću zagađenja zraka i potrebom ispravnog vođenja procesa izgaranja bilo štampanjem odgovarajućih priručnika, bilo tečajevima ili, još bolje, na oba načina.

8. Omogućiti provođenje djelotvornih iznenadnih kontrola bez obzira na veličinu ložišta.

9. Riješiti problem korištenja parnih lokomotiva na području grada Zagreba, kao i problem ispušnih tamnih dimnih plinova manevarskih lokomotiva gonjenih dizel-motorima.

10. Postojeće zahtjeve Odluke o mjerama za zaštitu zraka od zagađivanja grada Zagreba nadopuniti tako:

— da se zabrani upotreba ugljena, osim možda nekih vrsta u kućanstvima. Loženje ma kakvim neprerađenim ugljenom daje velike količine sumpornog dioksida i krutih čestica u dimnim plinovima i nepovoljnije je i od ulja za loženje;

— da se propišu i provedu tipska ispitivanja malih uređaja za loženje koja se nalaze na tržištu, te da se zabrani prodaja onih koji ne zadovoljavaju u pogledu zagađivanja zraka;

— da se propišu najviše dozvoljene emisije krutih čestica iz ložišta te da se i ova kontrola provodi na svim srednjim i većim ložištima, uključujući kotlove, asfaltne baze, cementare i ostalu industriju;

— da se riješi pitanje određivanja visine i načina izgradnje svih novih dimnjaka na području grada Zagreba te da se postojeći, oni kritični, rekonstruiraju;

— da se za sve nove i rekonstruirane uređaje za loženje pooštre granični kriteriji, razmjerno propisima u drugim zemljama, pri čemu bi se rezultati kontrole svodili na uvjetni sadržaj kisika ili ugljičnog dioksida u dimnim plinovima.

Naslov pisca:
Hrvoje B r k i ć, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zgb.

MJERNI TRANSFORMATORI–IZVORI POGREŠKE U MJERENJU ELEKTRIČNE ENERGIJE I SNAGE

Vojmir Dvornik, Split

U članku se razmatra dio problematike vezane za točno mjerenje električne energije i snage. Analizira se utjecaj nesavršenosti mjernih transformatora na rad brojila kao temeljnih elemenata mjernog sistema. Upućuje se i na postojanje utjecajnih veličina kao mogućih uzročnika pojave dodatne pogreške u radu mjernih transformatora.

DK 621.3.01

1. OPĆENITO

Mjerni su transformatori, kao elementi mjerenja, prisutni u svim konfiguracijama mjernih mjesta na kojima se električna energija i snaga (vršno opterećenje) mjere u posrednom i poluposrednom spoju.

Pri tome je zadatak mjernih transformatora da transformiraju što točnije struju, odnosno napon po iznosu i fazi na vrijednosti prikladne za mjerenje. Bilo zbog struje magnetiziranja (strujni transformatori), bilo pak zbog padova napona u primarnom i sekundarnom namotu (naponski transformatori), mjerni transformatori obavljaju transformaciju mjerenih veličina uz stanovitu pogrešku, pri čemu razlikujemo pogrešku u iznosu (tzv. strujnu, odnosno naponsku pogrešku) i pogrešku po fazi (kutnu ili faznu pogrešku).

Potrošač kojemu se električna energija (i vršno opterećenje) mjeri trofaznim brojilom u posrednom spoju (slika 1. b ili c), uzima iz mreže radnu energiju W_1:

$$W_1 = 3U_1 \cdot I_1 \cdot t_1 \cdot \cos\varphi_1 \qquad (1)$$

gdje je

U_1 — efektivna vrijednost primarnog faznog napona koja iznosi

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2\,dt} \qquad (2)$$

I_1 — efektivna vrijednost primarne struje koja iznosi

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt} \qquad (3)$$

t_1 — razdoblje trošenja električne energije

$\cos\varphi_1$ — primarni faktor snage (faktor snage potrošnje).

Kada ne bi bilo pogreške mjernih transformatora, pogonski bi moment brojila radne energije bio proporcionalan izmjerenoj električnoj energiji W_2, tj.:

$$W_2 = 3 \cdot U_2 \cdot I_2\, t_2 \cdot \cos\varphi_2 \qquad (4)$$

U formuli (4) znači:

U_2 — efektivna vrijednost faznog napona na sekundarnim stezaljkama naponskih transformatora koja iznosi

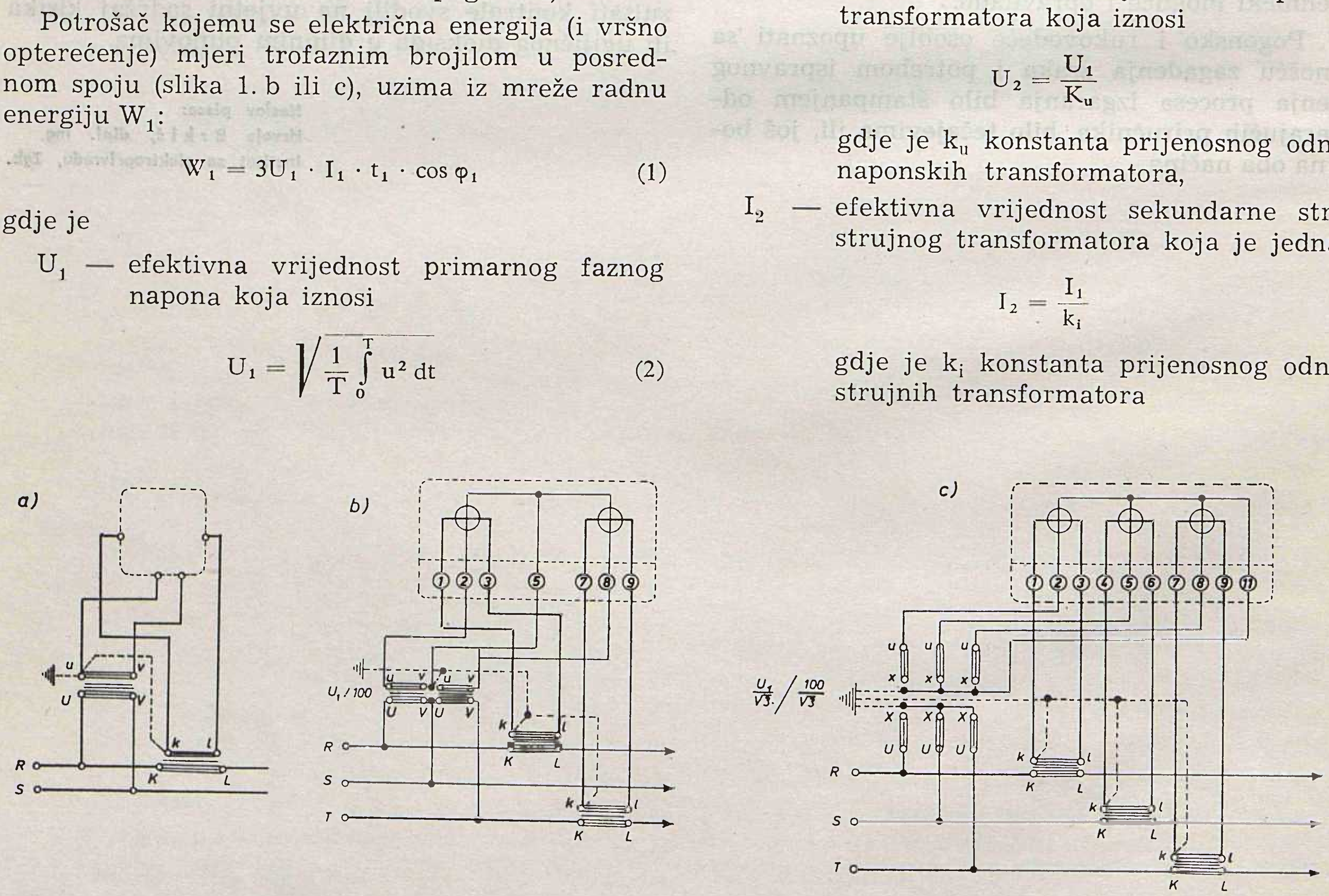
$$U_2 = \frac{U_1}{K_u} \qquad (5)$$

gdje je k_u konstanta prijenosnog odnosa naponskih transformatora,

I_2 — efektivna vrijednost sekundarne struje strujnog transformatora koja je jednaka

$$I_2 = \frac{I_1}{k_i} \qquad (6)$$

gdje je k_i konstanta prijenosnog odnosa strujnih transformatora



a) watmetar - jednofazna izvedba
b) dvosustavno brojilo - trožični priključak
c) trosustavno brojilo - četverožični priključak

Sl. 1. Princip izvedbe mjerenja snage i energije u posrednom spoju

t_2 — razdoblje mjerenja električne energije ($t_2 = t_1$)

$\cos\varphi_2$ — sekundarni faktor snage (faktor snage mjerenja).

U idealnom bi, dakle, slučaju utrošena električna energija (uzimajući u obzir formule 1. do 6) iznosila:

$$W_1 = k_u \cdot k_i \cdot W_2 \qquad (7)$$

što, naravno, na realnim mjernim mjestima nije nikada ispunjeno.

Izmjerena se električna radna energija, zbog nesavršenosti mjernih transformatora, u stvarnosti razlikuje od utrošene, što možemo prikazati relacijom:

$$W_1 = k_u \cdot k_i \cdot W_1 - \Delta W_t \qquad (8)$$

Otuda slijedi da apsolutna pogreška koju u mjerenje električne energije unose mjerni transformatori iznosi:

$$\Delta W_t = k_u \cdot k_i \cdot W_2 - W_1 \qquad (9)$$

Relativnu pak pogrešku mjerenja izraženu u postotku utrošene energije možemo prikazati kao:

$$\Delta p_{WRt} = \frac{k_u \cdot k_i \cdot W_2 - W_1}{W_1} \cdot 100 \qquad (10)$$

2. POGREŠKA KOD JEDNOFAZNOG MJERENJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Da bi se dokraja obrazložio utjecaj razmatrane pogreške, potrebno je detaljno analizirati svaki faktor u relaciji (4). Analizu ćemo nešto pojednostavniti; provest ćemo je, naime, na jednofaznom potrošaču, a budući da vrijeme (t) na točnost mjerenja ne utječe, analizirat ćemo radnu snagu jednofaznog potrošača koji bi, putem mjernih transformatora, mjerio priključeni vatmetar (slika 1.a). Ona prema slici 2. iznosi:

$$P_2 = U_2 I_2 \cdot \cos\varphi_2 \qquad (11)$$

gdje je

U_2 — efektivna vrijednost sekundarnog faznog napona naponskog transformatora, koja prema definiciji naponske pogreške (P_u) iznosi:

$$U_2 = \frac{U_1}{k_u}\left(1 + \frac{p_u}{100}\right) \qquad (12)$$

I_2 — efektivna vrijednost sekundarne struje strujnog transformatora, koja prema definiciji strujne pogreške (p_i) iznosi:

$$I_2 = \frac{I_2}{k_i}\left(1 + \frac{p_i}{100}\right) \qquad (13)$$

φ_2 — fazni pomak između napona U_2 i struje I_2, koji za vektorski dijagram prema slici 2.-c iznosi:

$$\varphi_2 = \varphi_1 - (\delta_u + \delta_i) \qquad (14)$$

Dok su relacije (12.) i (13.) »čiste«, pa je s njima moguće ići dalje u račun, dotle faktor učina mjerenja

$$\cos\varphi_2 = \cos[\varphi_1 - (\delta_u + \delta_i)] \qquad (15)$$

prikazan izrazom (15) valja podrobnije analizirati.

Primjenom adicionog teorema i uzevši u obzir da su δ_u i δ_i vrlo maleni kutovi za koje vrijedi:

$$\cos\delta \approx 1 \qquad (16)$$

$$\cos\delta^{(min)} \approx \arcsin\delta^{(min)} \approx \delta^{(rad)} \qquad (17)$$

odnosno nakon daljnjeg reazvijanja relacije (17):

$$\delta^{(rad)} = \delta^{(min)} \cdot \frac{2\pi}{60 \cdot 360} = 0{,}0291\,\delta^{(min)} \cdot 10^{-2} \qquad (18)$$

slijedi da faktor učina mjerenja ($\cos\varphi_2$) iznosi:

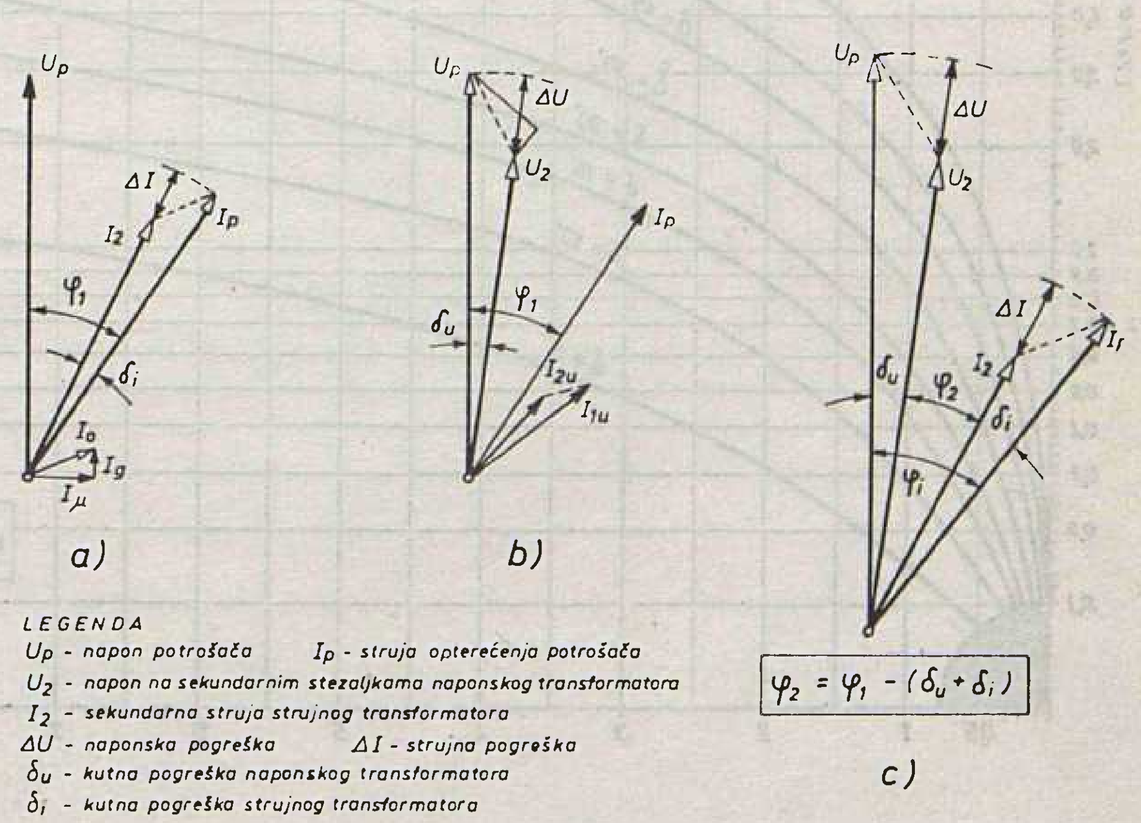
$$\cos\varphi_2 = \cos\varphi_1\,[1 - \delta_u^{(rad)} \cdot \delta_i^{(rad)}] + \sin\varphi_1\,[\delta_u^{(rad)} + \delta_i^{(rad)}] \qquad (19)$$

Primjenom relacije (18), prema kojoj dobivamo da je

$$\delta_u^{(rad)} \cdot \delta_i^{(rad)} = 0{,}084\,\delta_u^{(min)} \cdot \delta^{(min)} \cdot 10^{-6} \qquad (20)$$

što je za mjerne transformatore klase točnosti 0,5 i bolje zaista zanemarivo maleno, obrazac (19) glasi:

$$\cos\varphi_2 = \cos[1 + 0{,}0291\,(\delta_u + \delta_i)^{(mn)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot 10^{-2}] \qquad (21)$$



Sl. 2. Vektorski dijagram mjernog mjesta — posredno mjerenje električne energije

Uvrštavanjem relacija (12), (13) i (21) u izraz (11), dobivamo da je snaga koju bi priključeni vatmetar mjerio proporcionalna izrazu:

$$P_2 = \frac{U_1 I_1 \cos\varphi_1}{k_u k_i} \cdot \left(1 + \frac{p_u}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{p_i}{100}\right) \cdot$$

$$\cdot [1 + 0{,}0291\,(\delta_u + \delta_i)^{(min)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot 10^{-2}] \qquad (22)$$

Uoči li se da su produkti pogrešaka koje dobivamo razvijanjem relacije (22) za klase točnosti mjernih transformatora 0,5 i 0,2 zanemarivo maleni, relacija (22) dobiva konačni oblik:

$$P_2 = \frac{P_1}{k_u k_i}\{1 + [p_u + p_i + 0{,}0291\,(\delta_u + \delta_i)^{(min)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1] \cdot 10^{-2}\} \qquad (23)$$

Kako dimenzija »vrijeme« ne utječe na promatranu pogrešku, provedena razmatranja smijemo projicirati, kako je već kazano, i na mjerenje električne energije, pri čemu za jednofaznog potrošača vrijedi izraz:

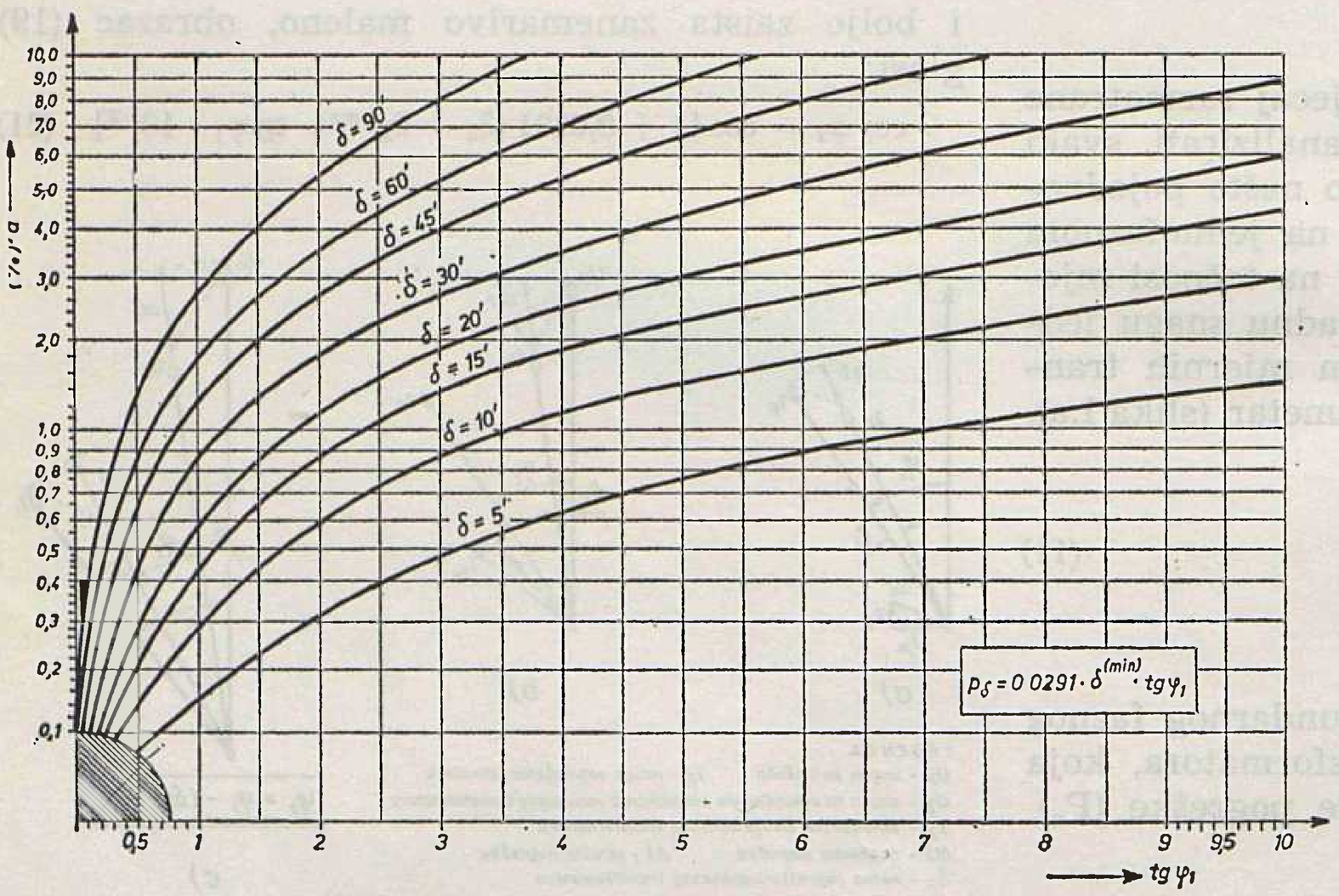
$$W_2 = \frac{W_1}{k_u \cdot k_i}\{1 + [p_u + p_i + 0{,}0291\,(\delta_u + \delta_i)^{(min)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1] \cdot 10^{-2}\} \qquad (24)$$

Napišemo li relaciju (10) u obliku:

$$W_2 = \frac{W_1}{k_u \cdot k_i} \cdot (1 + \Delta p_{WR_t} \cdot 10^{-2}) \qquad (25)$$

pa je usporedimo s izrazom (24), lako se uočava da relativna pogreška (Δp_{WR_t}), koju u mjerenje električne radne energije unose mjerni transformatori, iznosi:

$$\Delta p_{WRt} = p_u + p_i + 0{,}0291\,(\delta_u + \delta_i)^{(min)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \qquad (26)$$



Sl. 3. Grafički prikaz ovisnosti kutne pogreške (pδ) o tangensu faznog pomaka između struje (I_1) i napona (U_1) potrošača

Izraz (26) možemo napisati u obliku:

$$\Delta p_{WRt} = p_u + p_i + p\delta_u + p\delta_i \qquad (27)$$

gdje su komponentne pogreške u najopćenitijem slučaju:

— amplitudna naponska pogreška

$$p_u = \pm \frac{k_u \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100 \qquad (28)$$

— amplitudna strujna pogreška

$$p_i = \pm \frac{k_i \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100 \qquad (29)$$

— naponska kutna pogreška

$$p\delta_u = \pm 0{,}0291 \cdot \delta_u^{(min)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \qquad (30)$$

— strujna kutna pogreška

$$p\delta_i = \pm 0{,}0291 \cdot \delta_i^{(min)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \qquad (31)$$

Grafički prikaz izraza (30), odnosno (31), koji (iz poznatog faznog pomaka φ_1 i iznosa kutne pogreške δ) daje mogućnost brzog izračunavanja »kutnih« komponenti tretirane pogreške ($p_{\delta u}$ i $p_{\delta i}$), daje se na slici 3.

Slična se razmatranja mogu provesti i za utvrđivanje pogreške koju mjerni transformatori unose u mjerenje električne jalove energije. Rezultat takvih razmatranja pokazuje da pogreške mjerenja jalove energije (Δp_{WJt}) iznosi:

$$\Delta p_{WJt} = p_u\, p_i - 0{,}0291\,(\delta_u + \delta_i)^{(min)} \cdot \operatorname{ctg}\varphi_1 \qquad (32)$$

Relaciju (32) možemo napisati kao

$$\Delta p_{WJt} = p_u + p_i + p\delta_u + p\delta_i \qquad (33)$$

gdje komponentne pogreške u najopćenitijem slučaju znače:

p_u — identično relaciji (28)

p_i — identično relaciji (29)

$$p\delta_u = \pm 0{,}0291\,\delta_u^{(min.)} \cdot \operatorname{ctg}\varphi_1 \qquad (34)$$

$$p\delta_i = \pm 0{,}0291\,\delta_i^{(min)} \cdot \operatorname{ctg}\varphi_1 \qquad (35)$$

Već spomenuti dijagram na slici 3. daje i ovdje mogućnost brzog određivanja »kutnih« komponenti pogreške ($p_{\delta u}$ i $p_{\delta i}$) definiranih izrazima (34) i (35); valja samo imati na umu da su tg i ctg inverzne trigonometrijske funkcije.

3. POGREŠKA KOD TROFAZNOG MJERENJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Sva dosadašnja razmatranja odnosila su se na potrošače kojima se potrošnja električne energije mjeri jednofaznim brojilima. Pri određivanju pogreške koju u mjerenje električne energije i vršnog opterećenja unose mjerni transformatori, kod potrošača čija se energija mjeri trofaznim električnim brojilima, valja razlikovati:

a) potrošače na čijim su mjernim mjesfima ugrađene konfiguracije trosustavnih brojila s četverožičnim priključkom,

b) potrošače u kojih se mjerenje električne energije vrši dvosustavnim brojilima s trožičnim priključkom.

3.1. Trosustavno mjerenje

Kod trosustavnog mjerenja (slika 1.c), električna radna energija koju potrošač uzima iznosi:

$$W_3 = W_R + W_S + W_T \qquad (36),$$

a energiju koju brojilo mjeri možemo izraziti kao:

$$W_{3M} = (W_R \pm \Delta W_{R_T}) + (W_S \pm \Delta W_{S_T}) + (V_T \pm \Delta W_{T_T}) \qquad (37).$$

Relativna pogreška koju u trosustavno mjerenje radne energije (Δ_{3WR_t}) unose mjerni transformatori iznosi:

$$\Delta p_{3WR_t} = \frac{W_{3M} - W_3}{W_3} \cdot 100 \qquad (38),$$

gdje indeks »3« znači da promatramo pogrešku mjerenja energije trosustavnog brojila. Nakon uvrštenja izraza (36) i (37) u (38) i nakon sređivanja dobivamo:

$$\Delta p_{3WR_t} = \pm \frac{\Delta W_{R_t} + \Delta W_{S_t} + \Delta W_{T_t}}{W_3} \cdot 100 \qquad (39).$$

Prihvatimo li da je:

$$\Delta W = \frac{\Delta p_t \cdot W}{100} \qquad (40)$$

pa relaciju (40) primijenimo na sve tri faze s odgovarajućim indeksima (R, S ili T) i uvrstimo u relaciju (39) nakon sređivanja dobivamo da tretirana pogreška kod trosustavnog mjerenja električne radne energije iznosi:

$$\Delta p_{3WR_t} = \pm \frac{1}{W_3} (\Delta p_{R_t} \cdot W_R + \Delta p_{S_t} \cdot W_S + \Delta p_{T_t} \cdot W_T) \qquad (41).$$

Za slučaj da se radi o *strujnim transformatorima jednakih karakteristika i o simetričnim faznim opterećenjima,* što je u potrošača koji mjerenje električne energije imaju na visokom naponu gotovo uvijek ispunjeno, možemo pisati:

$$\left.\begin{aligned} W_R = W_S = W_T = U_f \cdot I \cdot t \cdot \cos\varphi \\ \Delta p_R \approx \Delta p_{S_t} \approx \Delta p_{T_t} \approx \Delta p_{1WR_t} \end{aligned}\right| \qquad (42)$$

pa nakon uvrštenja u (41) dobivamo:

$$\Delta p_{3WR_t} = \Delta p_{1WR_t} \qquad (43),$$

što znači da je promatrana pogreška *(kod simetričnog opterećenja faza i mjernih transformatora jednakih karakteristika)* kod potrošača u kojih se mjerenje električne energije vrši trosustavnim brojilom jednaka kao u jednofaznih potrošača gdje se energija mjeri jednofaznim brojilom (vidjeti izraze 26. i 27).

Ako *mjerni transformatori nisu jednakih karakteristika,* tj. ako je:

$$\Delta p_{R_t} \neq \Delta p_{S_t} \neq \Delta p_{T_t} \qquad (44),$$

tada ova pogreška, za slučaj *simetričnog faznog opterećenja,* iznosi:

$$\Delta p_{3WR_t} = \pm \frac{1}{3} (\Delta p_{R_t} + \Delta p_{S_t} + \Delta p_{T_t}) \qquad (45).$$

Jednaka razmatranja, s jednakim rezultatima, vrijede i za trosustavno mjerenje jalove električne energije.

3.2. Dvosustavno mjerenje

Kod dvosustavnog mjerenja električne energije i snage (slika 1.b), koje se iz poznatih razloga (Aronov spoj) smije *upotrijebiti samo u potrošača sa simetričnim opterećenjem faza,* radna energija iznosi:

$$W_2 = W_{RS} + W_{S_t} \qquad (46).$$

Zbog pogreške koju u mjerenje unose mjerni transformatori, mjerenu električnu energiju (W_{2M}) možemo prikazati relacijom:

$$W_{2M} = (W_{RS} \pm \Delta W_{RS_t}) + (W_{ST} \pm \Delta W_{ST_t}) \qquad (47).$$

Nakon postupka sličnog onome koji je proveden kod određivanja relativne pogreške trosustavnog mjerenja dobivamo da tretirana pogreška mjerenja u ovom slučaju iznosi:

$$\Delta p_{2WR_t} = \pm \frac{1}{W_2} (\Delta p_{RS_t} \cdot W_{RS} + \Delta p_{ST_t} \cdot W_{ST}) \qquad (48).$$

Indeks »2« znači da promatramo pogrešku energije koju mjerimo *dvosustavnim* brojilom.

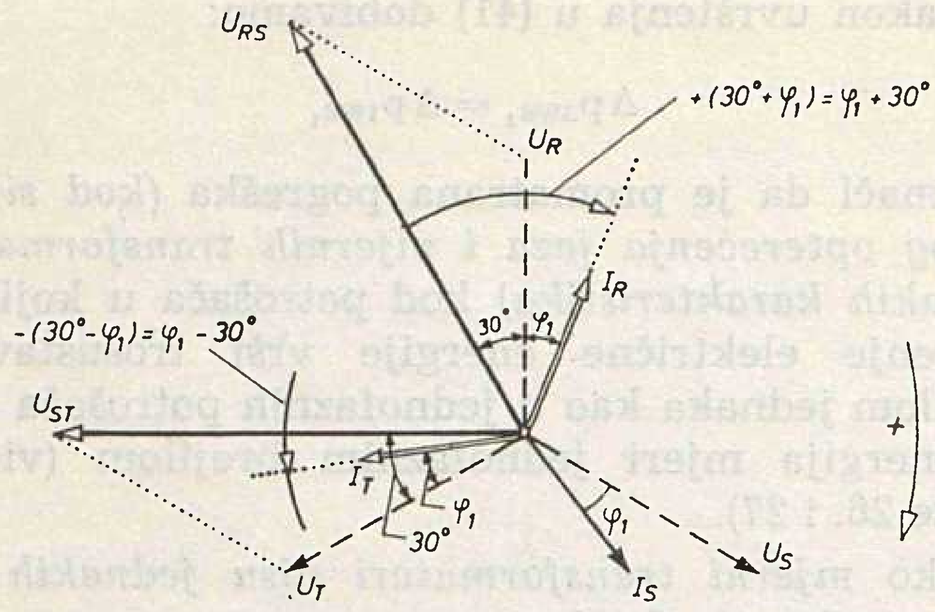
Želimo li tu pogrešku analizirati dalje, tada iz vektorskog dijagrama dvosustavnog brojila (slika 4) slijedi:

$$W_{RS} = U_{RS} \cdot I_R \cdot t \cdot \cos(\varphi_1 + 30°) \qquad (49).$$

$$W_{ST} = U_{ST} \cdot I_T \cdot t \cdot \cos(\varphi_1 - 30°) \qquad (50).$$

Iz ranijih izlaganja (izraz 26) analogijom zaključujemo da je:

$$\Delta p_{WRS_t} = p_{u_{RS}} + p_{i_R} + 0{,}0291 (\delta_{u_{RS}} + \delta_{i_R})^{(min)} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_1 + 30°) \qquad (51)$$



Sl. 4. Vektorski dijagram dvosustavnog trofaznog brojila radne energije (Aronov spoj)

$$\Delta p_{WST_t} = p_{u_{ST}} + p_{i_S} + 0{,}0291\,(\delta_{u_{ST}} + \delta_{i_S})^{(min)} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_1 - 30°) \quad (52).$$

Budući da za mjerne transformatore *istog tipa i jednakih karakteristika,* s dovoljnom točnošću vrijedi:

$$\left.\begin{aligned} p_{u_{RS}} &\approx p_{u_{ST}} = p_u \\ p_{i_R} &\approx p_{i_S} = p_i \\ \delta_{u_{RS}} &\approx \delta_{u_{ST}} = \delta_u \\ \delta_{i_R} &\approx \delta_{i_S} = \delta_i \end{aligned}\right| \quad (53)$$

pa nakon uvrštenja izraza (49), (50), (51) i (52) u (48) te nakon skraćivanja i sređivanja dobivamo:

$$\Delta p_{2WR_t} = p_u + p_i + 0{,}0291\,(\delta_u + \delta_i)^{(min)} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \quad (54).$$

Dakle, pogreška dvosustavnog mjerenja pri upotrebi mjernih transformatora jednakih karakteristika identična je pogrešci mjerenja jednofaznog brojila (relacija 26), tj.:

$$\Delta p_{2WR_t} = \Delta p_{1WR_t} \quad (55).$$

Za slučaj da mjerni transformatori *nisu jednakih karakteristika* (ne vrijede relacije 53), *pri simetričnom opterećenju faza,* razmatrana pogreška mjerenja električne energije dvosustavnim brojilom iznosi:

$$\Delta p_{2WR_t} = \frac{1}{2}\left[(\Delta p_{RS_t} + \Delta p_{ST_t}) - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1\,(\Delta p_{RS_t} - \Delta p_{ST_t})\right] \quad (56).$$

Iz navedenih rezultata zaključujemo da, uz pretpostavku jednakih amplitudnih i kutnih pogrešaka strujnih odnosno naponskih transformatora koja za izvedene konfiguracije mjernog mjesta uglavnom egzistira, pri mjerenju električne energije mjernim slogom u posrednom spoju (mjerenje na visokom naponu), sa zadovoljavajućom točnošću vrijede relacije:

$$\Delta p_{3WR_t} = \Delta p_{2WR_t} = \Delta p_{1WR_t} \quad (57)$$

$$\Delta p_{3WJ_t} = \Delta p_{2WJ_t} = \Delta p_{1WJ_t} \quad (58),$$

u kojima indeks »R« znači radnu, indeks »J« jalovu električnu energiju, a indeksi »1«, »2« i »3« jednofazno, dvosustavno trofazno i trosustavno trofazno mjerenje električne energije.

4. UTJECAJNE VELIČINE — UZROCI DODATNE POGREŠKE

Analizom rada mjernih transformatora u različitim pogonskim uvjetima pokazalo se da postoji niz utjecajnih veličina koje mogu prouzročiti pojavu dodatne pogreške. Ta pogreška može biti takva da mjerni transformatori rade s pogreškom znatno većom od granica pogrešaka deklarirane klase točnosti. To naravno kao konačan efekt ima povećanu ukupnu pogrešku mjerenja električne energije i vršnog opterećenja. Najbitniji utjecaji koji djeluju na ispravnost rada mjernih transformatora jesu:

a) utjecaj zaostalog magnetizma (remanencija),
b) utjecaj promjene frekvencije,
c) utjecaj viših harmonika,
d) utjecaj rasipanja.

U t j e c a j r e m a n e n c i j e je naročito izražen u radu strujnih transformatora, dok je na rad naponskih transformatora neznatan. Remanencija, naime, uzrokuje pogoršanje magnetskih osobina jezgre, a time i povećanje struje magnetiziranja koja i jest uzrokom pogreške strujnih transformatora. Pokazalo se da se utjecaj remanencije osobito osjeća u opsegu rada strujnog transformatora

$$10\% - 50\%\ I_{1n}$$

Naravno, utjecaj je jači pri većim priključenim bremenima, a posebno je izražen pri ukapčanjima i iskapčanjima.

Upotrebom mjernih transformatora s visokokvalitetnim magnetskim materijalima utjecaj remanencije, sa svim lošim posljedicama, svodi se u tolerantne granice.

O d s t u p a n j e p o g o n s k e f r e k v e n c i j e od nazivne za više od ± 1% (koliko je propisima dopušteno) dovodi također do dodatne pogreške u radu mjernih transformatora.

Dok je promjena frekvencije u radu strujnih i naponskih indukcijskih transformatora najčešće zanemariva, dotle joj pri upotrebi kapacitivnih naponskih transformatora, iz razumljivih razloga, valja posvetiti punu pozornost.

Klasa točnosti, odnosno granice pogrešaka mjernih transformatora, utvrđene su za sinusni oblik mjerene veličine. Interpoliranje *viših harmoničkih* u osnovni val dovodi do promjene oblika krivulje mjerene veličine, a time redovito i do promjene srednje vrijednosti te mjerene veličine. S tim u vezi mijenja se i struja magnetiziranja, što naravno dovodi i do promjene amplitudne i kutne pogreške mjernih transformatora.

Utjecaj rasipnog magnetskog polja, koje nastaje oko vodiča pri prolazu struje, može dovesti do povećane pogreške u radu mjernih transformatora.

Na veličinu promjene pogreške, osim jakosti struje koja protječe bliskim vodičem, utječe i udaljenost toga vodiča od jezgre transformatora i s njom je u obrnuto proporcionalnom odnosu.

Pažljivim projektiranjem i ugradnjom mjernih transformatora u okviru rasklopnog postrojenja, utjecaj rasipanja, kao potencijalnog uzroka povećanja pogreške mjerenja, redovito se u potpunosti eliminira.

5. ZAKLJUČAK

Rezimiraju li se protekla izlaganja, uočava se da pogreška koju u mjerenje električne energije i snage unose mjerni transformatori može biti mnogostruko veća od pogreške određene klasom točnosti temeljnih električnih brojila. Velik utjecaj na tu pogrešku, osim nepažljive ugradnje i navedenih utjecajnih veličina, ima osobito kutna pogreška pri velikim faznim pomacima (slika 3), koji, na sreću, redovno u praksi na mjernim mjestima potrošača, nisu veliki. Zbog toga, za točno mjerenje energije i snage (vršnog opterećenja), valja:

a) u sustav konfiguracije mjernog sloga potrošača ugrađivati mjerne transformatore klase točnosti 0,5 ili 0,2; samo upotrebom takvih mjernih transformatora pogreška, koju u mjerenje zbog svoje nesavršenosti unose, ima zanemarivo malen utjecaj,

b) dodatnu pogrešku zbog utjecajnih veličina prvenstveno eliminirati, također upotrebom mjernih transformatora visoke klase točnosti (0,5 ili 0,2) vodeći pri tome brigu i o njihovom dimenzioniranju i opterećivanju, kao i ugradnji u rasklopnom postrojenju,

c) za mjerna mjesta s velikim protocima električne energije baždarenje i ispitivanje temeljnih brojila obaviti zajedno s odgovarajućim mjernim transformatorima; uz poznate konzumne karakteristike potrošača takav način baždarenja omogućuje najbolje justiranje brojila, a s tim u vezi i najmanju ukupnu pogrešku mjerenja.

LITERATURA

V. Dvornik: Analiza točnosti mjerenja električne energije u distributivnim mrežama, magistarski rad, Zagreb 1975. god.

J. Kopeček — M. Dvořák: Přistrojové transformátory, Praha 1966.

Naslov pisca:
Mr Vojmir Dvornik, Dipl. ing.
Elektrodalmacija, Split

HE „Zakučac" — Omiš

OOUR u sklopu poduzeća

„ELEKTROPRIVREDA DALMACIJE" — Split

poduzeća za

proizvodnju i prijenos električne energije

OMIŠ Tel. 86-166

RAZVOJ NUKLEARNE ENERGETIKE

Vladimir Vuković, Zagreb

Ukratko je prikazan historijski razvoj nuklearnih elektrana od eksperimenta E. Fermija do ulaza u pogon prvih takvih elektrana u SSSR-u i Velikoj Britaniji. Zatim su opisani osnovni tipovi energetskih nuklearnih reaktora.

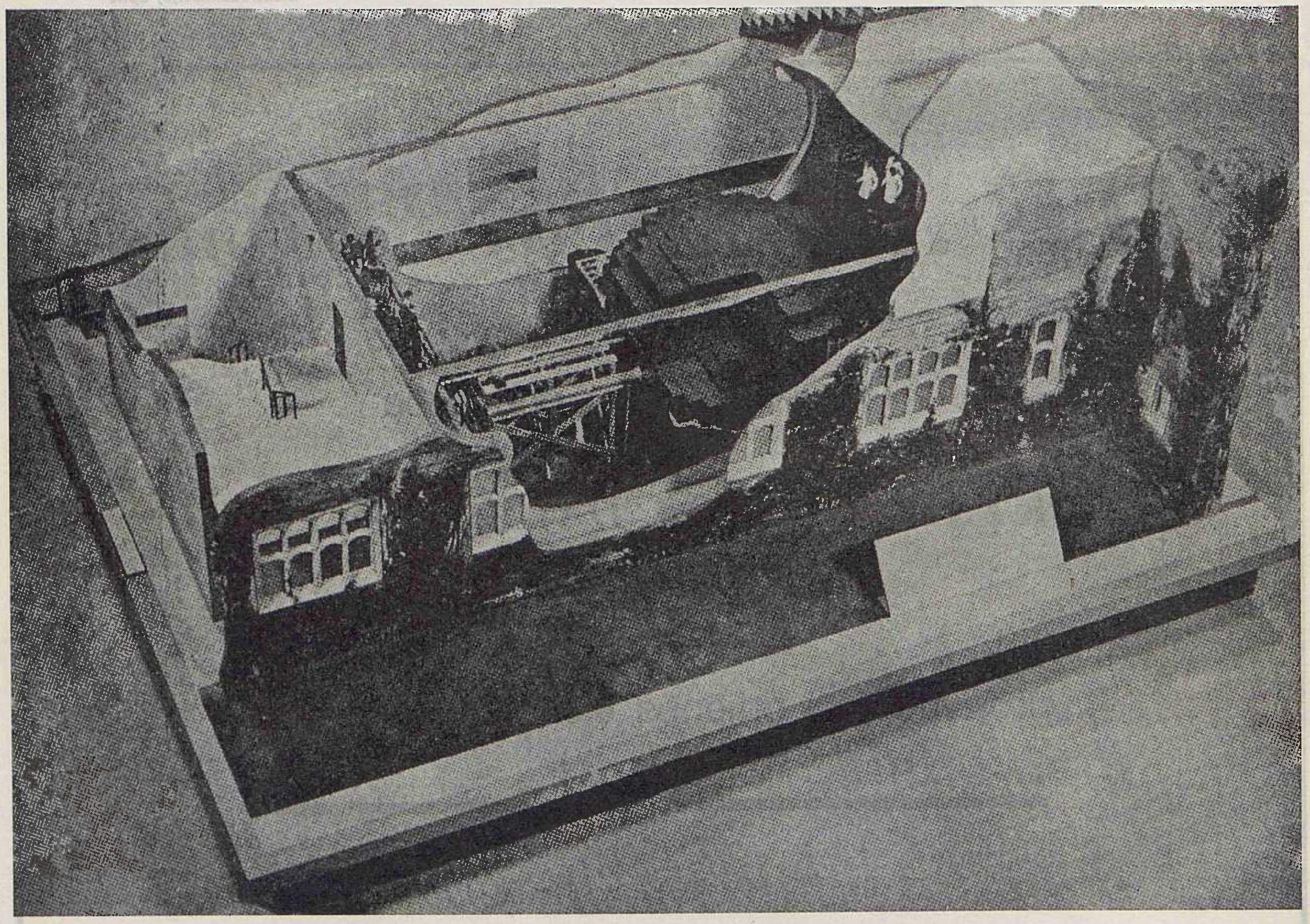
DK 621.039.5

1. KRATKI HISTORIJSKI OSVRT

1.1. Eksperiment Enrica Fermija

Poslije podne, drugog prosinca 1942. godine Fermi je s malom grupom suradnika, u prostoriji metalurškog laboratorija, ispod tribina sportskog stadiona Čikaškog sveučilišta (sl. 1) postigao, prvu u povijesti, kontroliranu nuklearnu lančanu reakciju. (Enrico Fermi rođen u Rimu 1901. godine. Bio je profesor teorijske fizike u Firenci, Rimu, New Yorku i Chikagu. Nobelovu nagradu za fiziku dobio je 1938. godine. Umro je 1955.) Taj je historijski događaj još značajniji kada se zna da se lančana reakcija mogla postići posjedovanjem nekoliko tona urana i grafita vrlo visoke čistoće, a da još do 1940. godine u Americi nije bilo proizvedeno više od nekoliko grama metalnog urana »sumnjive čistoće«.

Fermijeva »reaktorska gomila« imala je oblik sferoida jajastog oblika, sploštenog pri vrhu (ukupna visina 5,7 m s poluosima elipse 388 i 309 cm), a sadržavala je približno 40 tona urana i oko 385 tona grafita. Grafit u obliku opeka, a uran u obliku kugli ili valjaka, slagani su u slojeve, pri čemu su pojedini slojevi naizmjence sadržavali komade urana ili njegova oksida. U gomilu su umetnute kontrolne trake kadmija i bora kao



Sl. 1.

apsorbenti za neutrone. Laganim izvlačenjem tih traka faktor multiplikacije približavao se jedinici. Uklanjanjem svih apsorbenata iz sistema podignut je faktor multiplikacije na 1,0006. Reaktorska gomila najprije je radila sa snagom od 0,5 vati, a 12. prosinca snaga je podignuta na 200 vati. Na više snage nije se išlo zbog slabe zaštite od radijacije.

Glavne karakteristike »reaktorske gomile«:

M o d e r a t o r : 385,5 t (40000 komada) grafita u obliku opeka dimenzija 10,48 × 10, 48 × 41,91 cm;

G o r i v o. Uran metalni, oko 6 tona, 2 060 valjaka promjera 5,71 cm visine 5,71 cm (2,72 kg):

— uranov dioksid, oko 33 tone, 14 840 pseudokugli polumjera 8,25 cm (2,13 kg) i 540 valjaka promjera 7,62 cm i visine 7,62 cm (2,13 kg);

— U_3O_8, oko 3,7 tona, 1 200 pseudosfera polumjera 8,25 cm (1,8 kg) i 840 valjaka promjera 7,62 cm visine 6,72 cm (1,8 kg);

K o n t r o l a. Dvije sigurnosne trake, »sendvič« čelik -Cd, 4,57 m × 8,89 cm, jedna regulacijska traka, »sendvič« čelik-bor, 4,57 m × 8,89 cm.

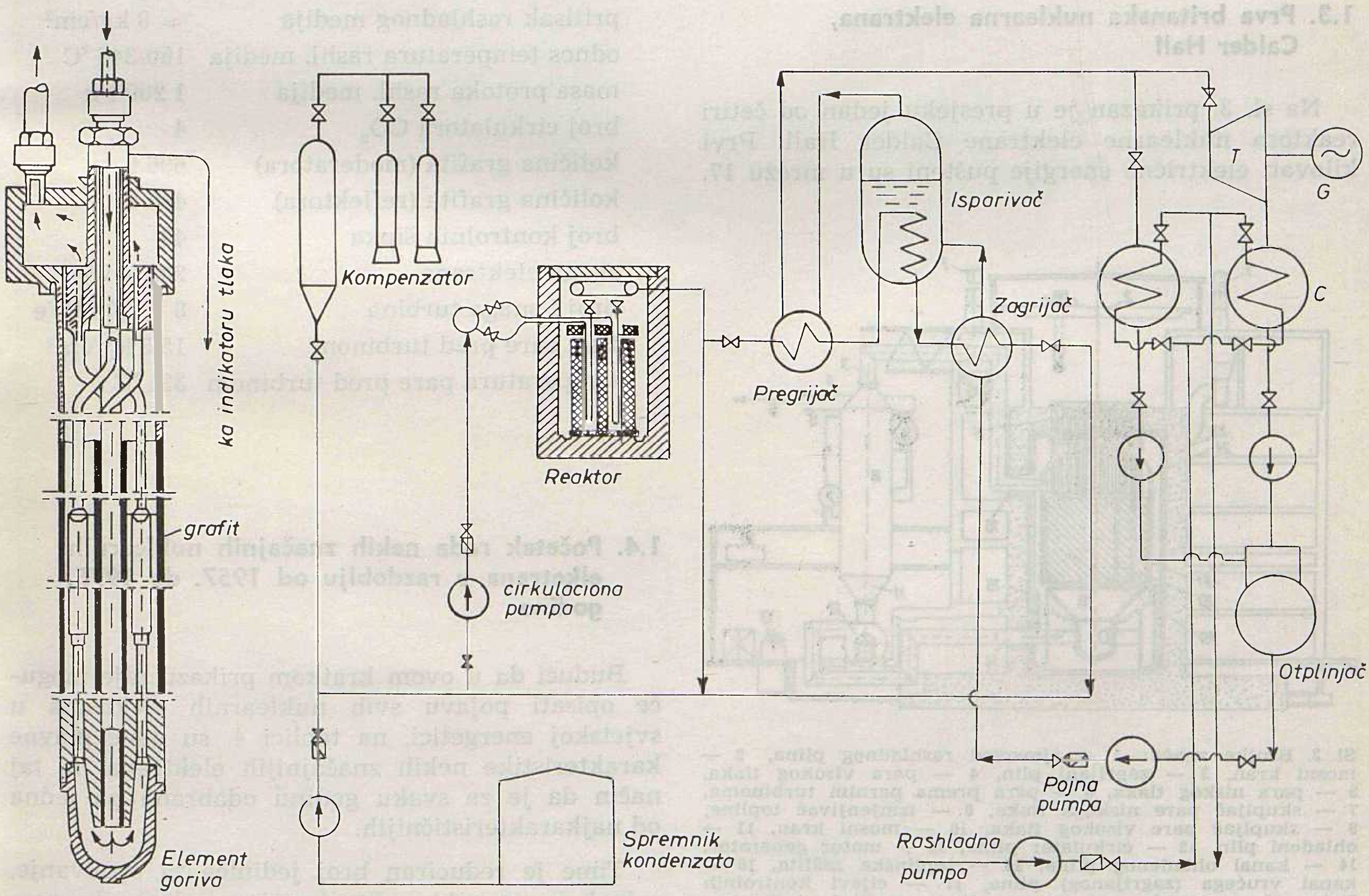
1.2. Prva nuklearna elektrana — OBNINSK

U lipnju 1954. godine stavljena je u pogon, prva u svijetu, nuklearna elektrana OBNINSK APS (SSSR), snage 5 MWe (30 MWt). Reaktor je hlađen lakom vodom, a moderiran grafitom.

Na sl. 2. shematski je prikazana elektrana i presjek kroz gorivi element. Karakteristike postrojenja bile su:

Tlak vode u primarnom sistemu	100 kg/cm²
Temperatura vode na ulazu u reaktor	190 °C
Temperatura vode na izlazu iz reaktora	270 °C
Tlak pare u sekundarnom sistemu	12 kg/cm²
Broj okretaja turbine	1500 min^{-1}
Veličina aktivnog dijela jezgre (hxd)	1,5 × 1,7 m
Korak rešetke gorivih šipka	12 cm
Promjer čelične posude reaktora	3,2 m
Debljina stijenke posude	15 mm
Moderator, grafit u obliku heksagona	
Težina moderatora	50 t
Maksimal. prosječna temperatura grafita	800 °C

Kompenzator volumena primijenjen je za kompenzaciju promjene volumena vode u primarnom krugu, koja promjena se javlja zbog grijanja, od-



Sl. 2.

nosno hlađenja. Osim toga, kompenzator, održava postojani tlak rashladne vode i onemogućava isparavanje vode u aktivnoj zoni reaktora.

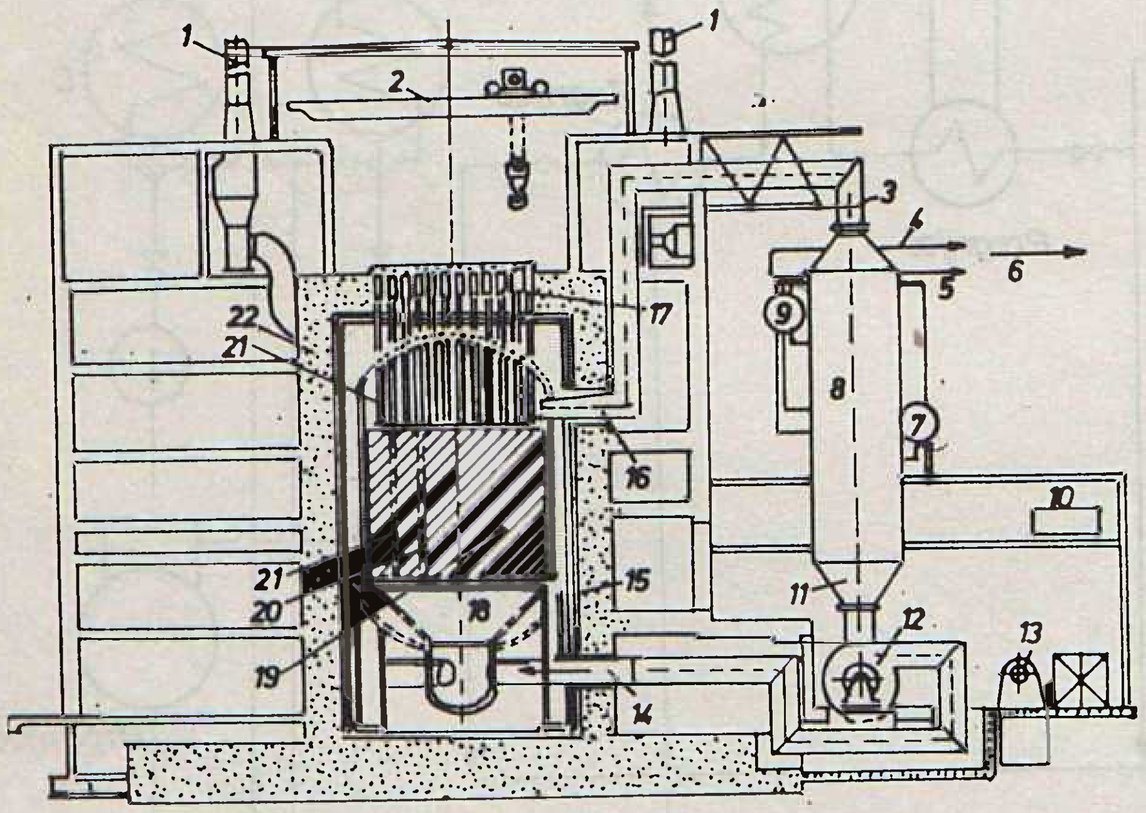
Parogenerator je izveden u 3 dijela: zagrijač vode, isparivač i pregrijač pare.

Reaktorska posuda je od čelika s cilindričnim plaštem ispunjenim inertnim plinom da bi se poboljšao odvod topline s grafita na rashladne kanale i spriječila oksidacija grafita.

Gorivi elementi su cilindričnog oblika promjera 65 mm sa središnjim dijelom od grafitnih tuljaka. Tu tuljci imaju po pet podužnih otvora u kojima su smještene cjevčice. Po srednjoj cjevčici (većeg promjera) voda se dovodi, a kroz četiri periferne cjevčice (manjeg promjera), voda se diže u glavu kanala, tvoreći tako toplinski element. Vanjski promjer ovih cjevčica iznosi 9 mm, a njihova debljina 0,4 mm. Materijal cjevčica je austenitni čelik, a opkoljene su uranom obogaćenim na izotopu U-235 do 6 %. Gorivo je obloženo košuljicom debljine 0,2 mm, također od austenitnog čelika, da bi se spriječilo njegovo mehaničko oštećenje (trošenje). U jezgri reaktora nalaze se 132 kanala. U 108 njih nalaze se gorivi elementi, a u ostalima kontrolne šipke, i to: 18 šipka za ručnu regulaciju i 4 za automatsku, a 2 šipke služe za zaštitu (sigurnost). Izmjena goriva provodi se slično kao i kod PWR sistema i to diskontinuirano.

1.3. Prva britanska nuklearna elektrana, Calder Hall

Na sl. 3. prikazan je u presjeku jedan od četiri reaktora nuklearne elektrane Calder Hall. Prvi kilovati električne energije pušteni su u mrežu 17. listopada 1956. Britanci su svojevremeno ovoj elektrani pridavali primat u nuklearnoj energetici jer je to zaista bila prva nuklearna elektrana u svijetu veće snage (268 MWt po reaktoru, stupnja korisnosti 18,8 %).



Sl. 3. Brojke znače: 1 — cjevovod rashladnog plina, 2 — mosni kran, 3 — zagrijani plin, 4 — para visokog tlaka, 5 — para niskog tlaka, 6 — para prema parnim turbinama, 7 — skupljač pare niskoga tlaka, 8 — izmjenjivač topline, 9 — skupljač pare visokog tlaka, 10 — mosni kran, 11 — ohlađeni plin, 12 — cirkulator plina, 13 — motor generator, 14 — kanal ohlađenog plina, 15 — toplinska zaštita, 16 — kanal vrućega (zagrijanog) plina, 17 — cijevi kontrolnih šipka, 18 — posuda pod tlakom, 19 — grafitni moderator, 20 — uranske šipke, 21 — kontrolne šipke, 22 — biološka zatita.

Ipak, ovdje treba upozoriti na činjenicu da su druga dva reaktora ušla u komercijalnu proizvodnju tek 1958. godine i da se proizvedeni plutonij koristio za vojne svrhe. Osim toga, Francuzi su nekoliko mjeseci prije, 1956. godine, stavili u pokusni pogon reaktor snage 38 MWt.

Reaktor elektrane Colder Hall tipa »Magnox« imao je ove karakteristike:

veličina aktivnog dijela jezgre (hxd)	6,4 × 9,4 m
količina pripadnog urana	110 t
broj gorivih elemenata	10 000
korak rešetke	20,3 cm
oblik reaktorske posude	cilindrična
debljina stijenke posude	51 mm
dimenzije reaktorske posude	11,3 × 21,6 m
promjer gorive šipke	2,8 cm
maksimalna temp. u središtu gorive šipke	600 °C
materijal obloge goriva	Magnox
debljina obloge goriva	2,1 mm
rashladni medij	CO_2
pritisak rashladnog medija	≈ 8 kg/cm²
odnos temperatura rashl. medija	150/345 °C
masa protoka rashl. medija	1 200 t/h
broj cirkulatora CO_2	4
količina grafita (moderatora)	606 t
količina grafita (reflektora)	495 t
broj kontrolnih šipka	48
snaga elektrane	202 MWe
broj i snaga turbina	8 × 30 MWe
tlak pare pred turbinom	15,5 kg/cm²
temperatura pare pred turbinom	321 °C

1.4. Početak rada nekih značajnih nuklearnih elketrana u razdoblju od 1957. do 1975. godine

Budući da u ovom kratkom prikazu nije moguće opisati pojavu svih nuklearnih elektrana u svjetskoj energetici, na tablici 4. su dane glavne karakteristike nekih značajnijih elektrana na taj način da je za svaku godinu odabrana po jedna od najkarakterističnijih.

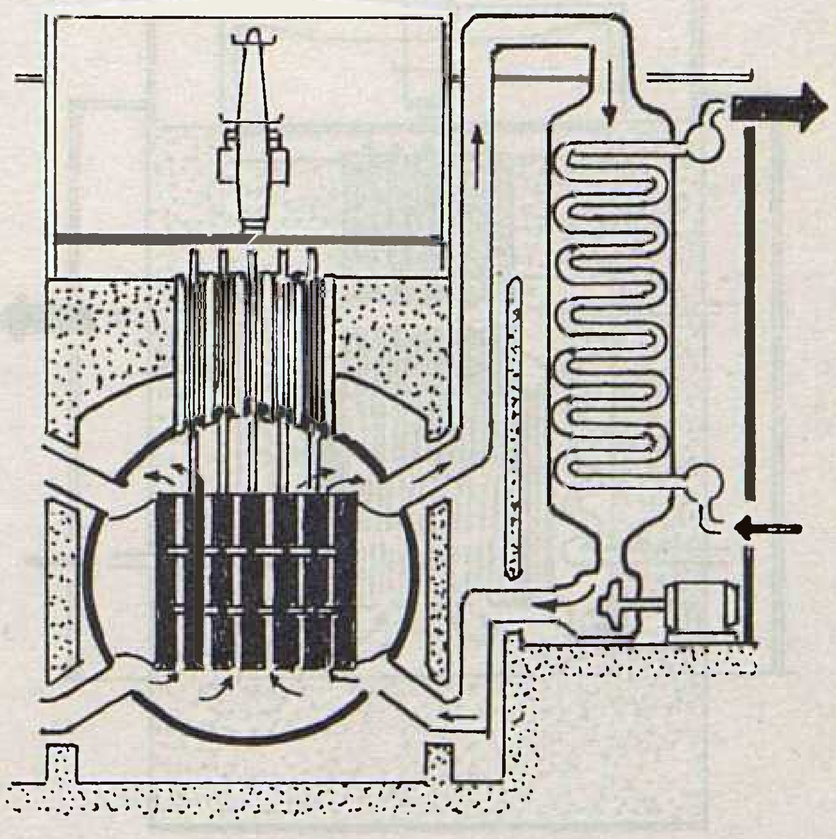
Time je reduciran broj jedinica za opisivanje, a ipak je na neki način ilustrirana dinamika razvoja nuklearne energetike u tom razdoblju.

Karakt. NE / God. starta	Naziv elektrane i lokacija	Tip reaktora i termička snaga [MWt]	Tip i količina goriva	Rashladni medij i moderator	Snaga i broj okretaja turbine [MW], [min^{-1}]	Kontrola reaktora
1957.	Shippingport 1 Shippingport, Pa, SAD	PWR, 505	UO_2i Zr O_2, obog. 93 93%, 17,4 t ploče, obloga Zr-2 i Zr-4	H_2O, H_2O; 141 $\frac{kg}{cm^2}$	1×100; 1800	Hf
1958.	Oninsk BR5 Kaluga, SSSR	FBR, —	Pu tablete obloga čelik	Na, bez	5 MWe	—
1959.	Chapelcross Dumfriesshire, GB	Magnox, 265 × 4	U prirodni, 110 t, šipke obloga magnox	CO_2; 7 kg/cm^2 345/150°C, graf.	8×30,5; 3000	Boron Steel
1960.	Dresden 1, Morris, Ill, SAD	BWR, 680	UO_2 obog. 1,5—2,5%, 57,6 t cilindri, obloga Zr-2	H_2O, H_2O; 71 kg/cm^2	1×245; 1800	B_4C
1961.	Yankee Rowe, Rowe Mass., SAD	PWR, 600	UO_2, Obog. 4—4,9%, 20,7 t tablete, Zr obloga	H_2O, H_2O, 138 kg/cm^2	1×185; 1800	Ag, In, Cd
1962.	Bradwell, Essex., GB	Magnox, 531 × 2	U prirod., 239 t, šipke obloga magnox	CO_2; 10,34 kg/cm^2, 390/180°C, graf.	6×52; 3000	Boron Steel
1963.	Chinon 1, Avoine Francuska	Gas — graph., 300	U prirodni 239 t, šipke obloga magnox	CO_2; 10,34 kg/cm^2 390/180°C, graf.	1×83; 3000	—
1964.	Garigliano, Sessa Aurunca, Italija	BWR, 506	UO_2 obog. 2—2, 3%, 45,9 t šipke, obloga Zr-2	H_2O, H_2O; 70,4 kg/cm^2	1×167; 1500	B_4C
1965.	Hinkley Point A, Somerset, GB	Magnox, 1932 × 2	U prirod., 376 t, šipke, obloga magnox	CO_2; 14,1 kg/cm^2, 373/179°C, graf.	6×87; 3000	Boron Steel
1966.	Gudremingen KRB Gudreming. na Dunavu, Njem.	BWR, 801	UO_2, obog. 2,4%, 45,65 t, tablete, obloga Zr-2	H_2O, H_2O; 71 kg/cm^2	1×250; 1500	B_4C
1967.	Chinon 3, Avoine, Francuska	GAS-graph., 1560	U prirod. 409 t, šuplje šipke, obloga Mg-Zr	CO_2; 31,0 kg/cm^2, 410/240°C, graf.	2×250; 3000	—
1968.	San Onofre, San Clements, Cal, SAD	PWR, 1347	UO_2 obog. 3,15—3,85%, 57,3 t, tablete, obloga ss 304	H_2O, H_2O; 149 kg/cm^2	1×450; 1800	Ag, In, Cd
1969.	Obrigheim KWO Masbach, Baden, Njemačka	PWR, 1050	UO_2 obog. 2,5—3,1% cilindrični 34 t, obloga Zr-4	H_2O, H_2O; 148 kg/cm^2	1×300; 3000	Ag, In, Cd
1970.	Dresden 2, Morris, Ill. SAD	BWR, 2450	UO_2, obog. 2,1%, 139 t, tablete, obloga Zr-2	H_2O, H_2O; 70 kg/cm^2	1×850; 1800	B_4C
1971.	Wulfa, Anglesey, GB	Magnox, 1876 × 2	U prirod. 595 t, šipke, obloga magnox	CO_2; 28,1 kg/cm^2 414/247°C, graf.	4×334; 3000	Boron Steel
1972.	Pickering 3 i 4 Pickering, Ont., Kanada	PHW (Canada) 1744×2	UO_2 prirod. 92,6 t, tablete, obloga Zr-4	D_2O; 88,5 kg/cm^2, D_2O	2×540; 1800	Cd
1973.	Zion 1, Zion Ill. USA	PWR, 3250	UO_2 obog. 3,2%, 99 t, tablete, obloga Zr-4	H_2O, H_2O; 158 kg/cm^2	1×1100; 1800	Ag, In, Cd
1974.	Biblis A, Worms/ Rhein, Njemačka	PWR, 3540	UO_2 obog. 2,18—3,19% 101,7 t, obloga Zr-4, tabl.	H_2O, H_2O; 158 kg/cm^2	1×1200; 1500	Ag, In, Cd
1975.	Browns Ferry 3, Decatur, Alb., SAD	BWR, 3293	UO_2, obog. 2,2%, 169 t, tableta, obloga Zr-2	H_2O, H_2O; 69 kg/cm^2	11×1090; 1800	B_4C

2. OSNOVNI TIPOVI ENERGETSKIH NUKLEARNIH REAKTORA

2.1. Magnox reaktor

Magnox reaktor (sl. 4) jedan je od prvih tipova nuklearnih reaktora namijenjenih komercijalnoj proizvodnji električne energije. Reaktor se hladi plinom, a moderira grafitom. Gorivo je prirodni uran. Prvi komercijalni reaktori ovog tipa općenito su poznati u Britaniji kao magnox-reaktori, jer je materijal obloge goriva magnezijeva legura zvana »magnox«. Inače su ovi reaktori razvijeni u Britaniji i Francuskoj. Jezgra magnox-reaktora, npr. od 500 MWe, sadrži oko 30 000 gorivih elemenata sastavljenih od metalnih šipka prirodnog urana zatvorenih u oblog od magnoxa. Gorivi su elementi smješteni u kanale od masivnog sklopa



Sl. 4.

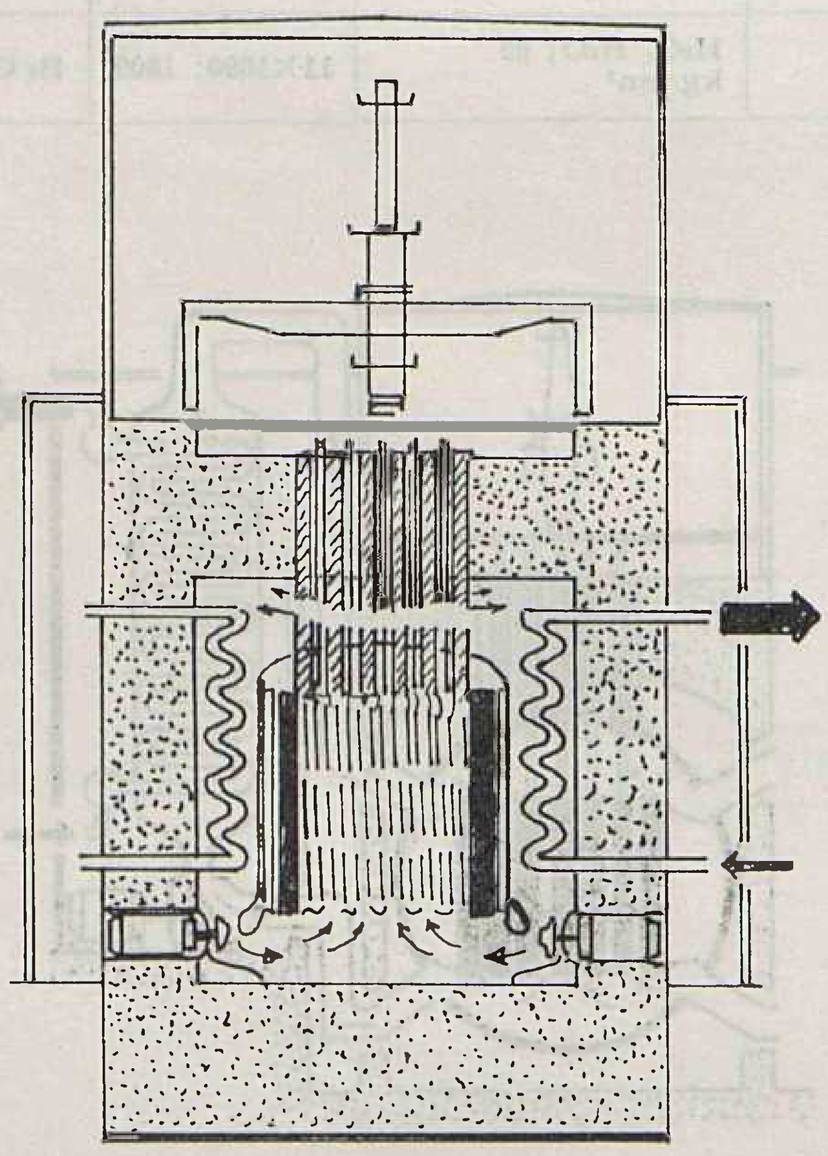
grafitnih blokova. Ugljični dioksid, pod relativno visokim tlakom, služi za prijenos topline prisilno cirkulirajući kroz gorive elemente i generatore pare. Toplina se prenosi preko rebara na gorivim elementima i cijevi na parogeneratorima. Na starijim sistemima velika sferična tlačna posuda od čelika kanalima povezuje parogeneratorske jedinice i cirkulatore plina. Kod novijih tipova tlačne posude su od prednapregnutog betona i sadrže parogeneratore.

Zbog vrlo velike jezgre reaktora s prirodnim uranom, razvijani su sistemi za manipulaciju s gorivom pod opterećenjem, pa se izmjena goriva provodila, manje ili više, kontinuirano. Stroj za izmjenu goriva se veže na vertikalne cijevi penetrirane pri vrhu tlačne posude, a vođenje ili umetanje gorivih elemenata obavlja se daljinski s ručicama pantografa. Regulacijske šipke umeću se u grafitnu jezgru s pomoću lančanih mehanizama iz posebnih kanala, a pri nagloj obustavi mogu se ubaciti gravitacijom. Zbog velikog toplinskog kapaciteta grafitne jezgre i (u kasnijim elektranama) odgovarajuće sigurnosti betonskih tlačnih posuda, nije potrebna posebna zaštitna građevina (kontejnment) koja bi preuzela moguće efekte eventualnog loma primarnog kruga.

2.2. AGR reaktor

Razvijeni plinom hlađeni reaktor AGR (Advanced Gas — Cooled Reactor) jest usavršeni sistem nastao razvojem magnoxa (sl. 5). Postigavši maksimalno dopustive temperature plinovitog sredstva za hlađenje poboljšana su toplinska svojstva pare. Prvotna obloga goriva od »magnoxa« zamijenjena je berilijem, koji dozvoljava više radne temperature (gorivo je još uvijek prirodni uran), iako taj materijal pravi dosta poteškoća. Kasnije je upotrijebljen nerđajući čelik, a gorivo je obogaćeno s 2 do 3 posto fisibilnog izotopa U-235. Obogaćeno uransko gorivo, u obliku oksidnih sinteriranih tableta, složeno je u cijevi od nerđajućeg čelika i s malom radijalnom zračnošću. Te gorive šipke složene su u snopove, odnosno gorive elemente (po 35 u snopu i grafitnom tuljku), a sklopovi gorivih elemenata stavljeni su u kanale od masivnih grafitnih blokova (moderatora), slično kao kod magnox-reaktora. Izmjena goriva je moguća pod opterećenjem, pa je uglavnom i u ovom slučaju osigurana visoka raspoloživost postrojenja. Izmjena goriva vrši se jednostavno pomoću manjeg broja kanala za gorivo i jednostrukom nosivom cijevi dodanoj svakom kanalu.

Kompaktnost reaktorske jezgre i razmještaj jednoprolaznih parnih generatora raspoređenih oko jezgre omogućuju sastavljanja sistema u tlačnoj posudi od prednapregnutog betona. Rotori cirkulatora plina također su smješteni u ovim betonskim posudama i osiguravaju cirkulaciju CO_2 uz jezgru i nadalje kroz parogeneratore smještene oko jezgre. Svojstvena sigurnost betonske tlačne posude, velik toplinski kapacitet jezgre i keramička priroda oksida goriva čini ovaj sistem pogodnim za smještaj blizu naselja, bez posebnih zaštitnih građevina.

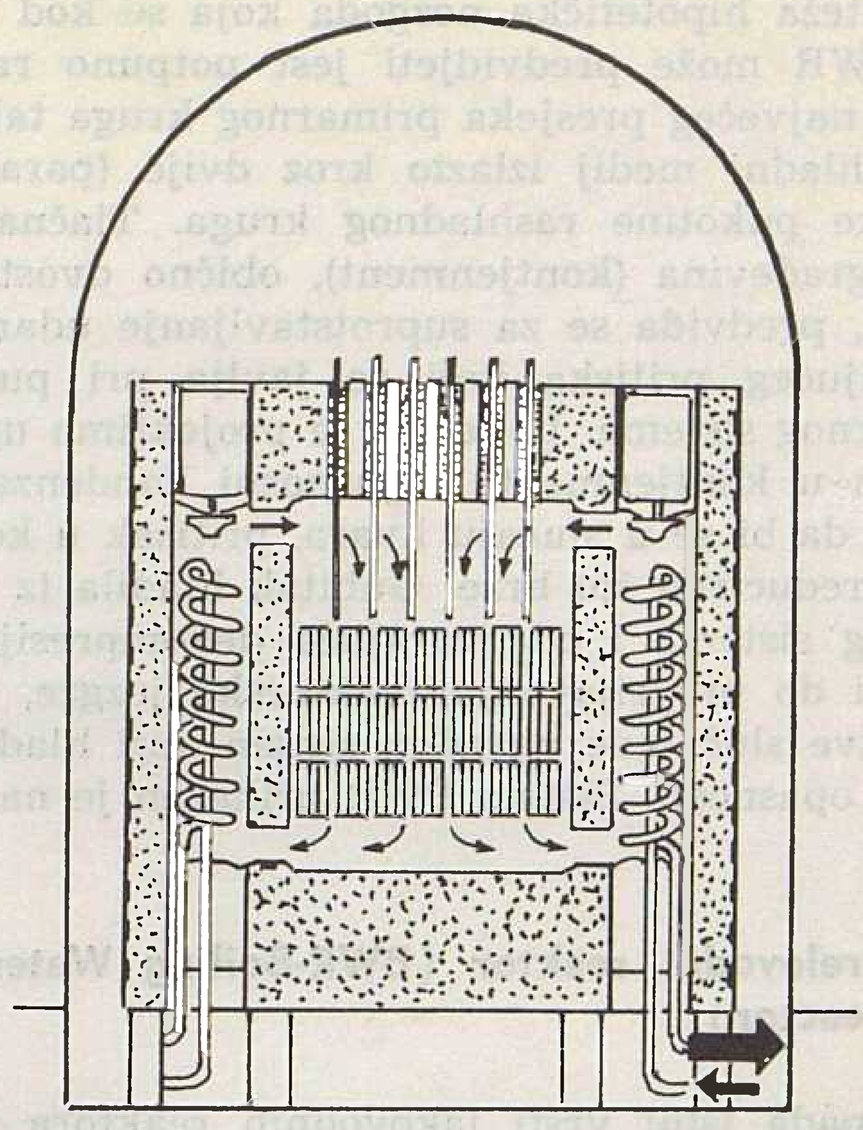


Sl. 5.

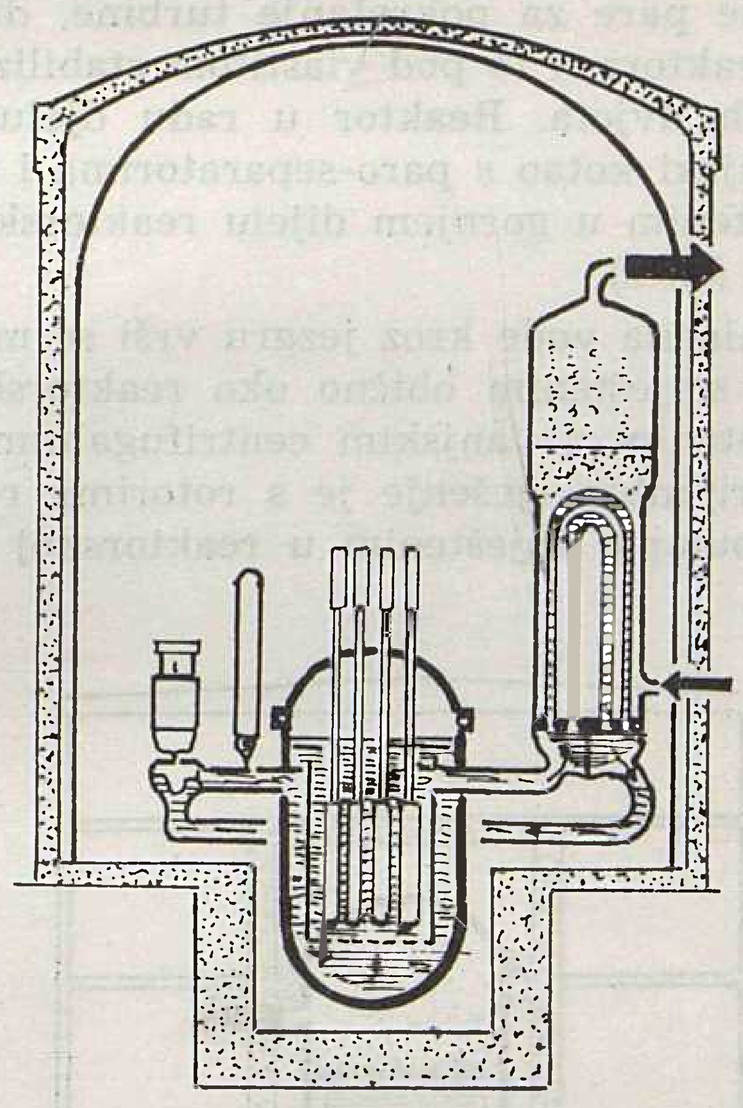
2.3. Visokotemperaturni plinom hlađeni reaktor

Daljnji razvoj plinom hlađenog reaktora prema još višim temperaturama može se postići primjenom helija kao plinskog rashladnog sredstva i goriva s keramičkom oblogom umjesto metalne. Poznate su varijante plinom hlađenih reaktora HTGR, HTR, Mk III. Sistem je internacionalno razvila OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) »Dragon project« i u SAD. Varijanta poznata kao torijski visokotemperaturni reaktor (THTR) posebno je razvijena u Njemačkoj, primjenom zamisli da se jezgra izvede od posebnog zrnatog sloja. Prve komercijalne elektrane ovoga tipa naručene su u SAD za rad negdje oko 1980. god. Obogaćeno uransko gorivo u obliku malih kuglica od uranova karbida prekriveno je slojevima grafita i silicijeva karbida tako da je nepotrebno drugo oblaganje radi zadržavanja radioaktivnih fisijskih produkata. Obloženim zrncima pune se aksijalne šupljine u heksagonalnim blokovima od grafita, koji se stavljaju u reaktor kao kombinirani gorivi elementi i blokovi moderatora. Aksijalni kanali kroz blokove gorivo — moderator — dopuštaju rashladnom plinu prolaz kroz jezgru prema dolje. Nakon toga plin struji preko spirala parogeneratora, koji su smješteni u šupljinama betonske tlačne posude oko jezgre prema gore.

Američki projektanti predviđaju punjenje gorivom izvan opterećenja, za vrijeme obustave od oko dva tjedna svake godine, dok Britanci razmatraju punjenje gorivom pod opterećenjem s pomoću sistema sličnog onome koji je primijenjen u AGR i magnox-postrojenjima. Poznata su dva tipa goriva (visoko obogaćeno i niskoobogaćeno) koja je moguće upotrijebiti za HTGR. Kod prvog gorivo je obogaćeno na 80 ili 90 % U-235 izmiješanog s torijevim karbidom u obloženim zrncima. Za vrijeme rada torij se pretvara u U-235, koji je visoko iskoristivo nuklearno gorivo i može se reproducirati preradom goriva. Kod nisko obogaćenog goriva U-235 je 4 do 5 posto, a ostatak od 95 do 96 posto je U-238, koji se u toku rada pretvara u plutonij, a koji je isto tako reproduktivni gorivi materijal. Zbog svojstvene sigurnosti betonske tlačne posude, neki projektanti smatraju da je nepotrebna specijalna kontejnmentska građevina. Prve komercijalne elektrane u SAD imat će, međutim, kontejnment, uglavnom radi lakšeg dobivanja građevne dozvole. Postoji dovoljno zanimanje za proces primjene topline od HRGR-a kao što je područje plinofikacije ugljena i proizvodnja čelika, a u budućnosti će doći do direktnog ciklusa s plinskim turbinama umjesto konvencionalnog parnog ciklusa. Sistem HTGR prikazan je na slici 6.



Sl. 6.



Sl. 7.

2.4. Vodeno-tlačni reaktor (PWR-Pressurised Water Reactor)

Danas se mnogo primjenjuje u nuklearnim elektranama, iako je u početku bio razvijen za pogonski sistem nuklearnih podmornica SAD. Gorivo od uranskog oksida obogaćeno od 2 do 4 % U-235 složeno je u obliku sinteriranih tableta u ravne cijevi. Materijal ovih tankih cijevi je u ranijim PWR sistemima bio nerđajući čelik, a danas je u upotrebi legura cirkonija. Do 200 gorivih šipka dužine do 3,5 m složeno je u obliku kvadratne rešetke u pojedine snopove gorivih elemenata, a tipična reaktorska jezgra sadrži do 200 takvih elemenata. Obična ili »laka« voda (za razliku od »teške«) služi kao rashladno sredstvo, a istovremeno djeluje i kao moderator. Da bi se postigla visoka izlazna temperatura rashladnog sredstva, ali bez isparavanja, sistem mora biti pod vrlo visokim tlakom. Masivna čelična reaktorska posuda s odvojivim poklopcem sadrži relativno kompaktnu reaktorsku jezgru. Hladilo cirkulira kroz stanovit broj primarnih rashladnih krugova u kojima su generatori pare i pumpe za cirkulaciju. Na jednom od primarnih krugova vezana je tlačna posuda, koja održava tlak u sistemu s pomoću električnih grijača ili ubrizgavanjem vode u mali tlačni prostor.

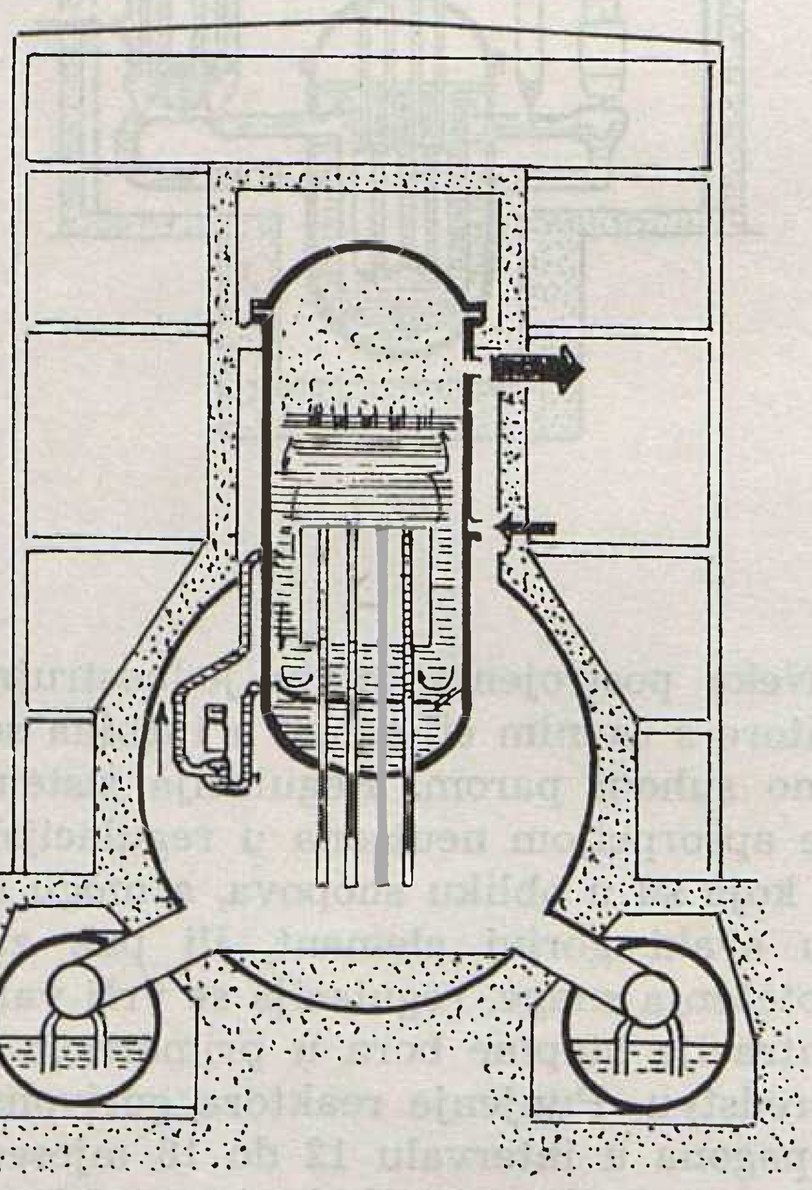
Generatori pare su najčešće izvedeni s U-cijevima, recirkulacijom pojne vode, separatorima i sušačima pare, smještenima u vrhu svake jedinice. Neka postrojenja imaju jednostrujne parogeneratore s ravnim cijevima, a turbina se napaja direktno suhom parom. Regulacija sistema PWR vrši se apsorpcijom neutrona u regulacijskim šipkama, koje su u obliku snopova, a mogu se umetnuti u svaki gorivi element, ili pak za manja uravnoteženja snage, regulacija se vrši varijacijom koncentracije otopine bora u primarnom rashladnom sredstvu. Punjenje reaktora gorivom vrši se izvan pogona u intervalu 12 do 18 mjeseci, dakle s obustavom reaktora i skidanjem poklopca s posude.

Najteža hipotetička nezgoda koja se kod sistema PWR može predvidjeti jest potpuno rastavljanje najvećeg presjeka primarnog kruga tako da bi rashladni medij izlazio kroz dvije (paralelne) jednake pukotine rashladnog kruga. Tlačna zaštitna građevina (kontjenment), obično dvostrukih zidova, predviđa se za suprotstavljanje udara rezultirajućeg pritiska koji se javlja pri pucanju primarnog sistema. U nekim je projektima upotrijebljen u kontjenmentu sigurnosni kondenzator s ledom da bi se u slučaju kvara, pritisak u kotjenmntu reducirao što brže. Gubitak hladila iz reaktorskog sistema i odgovarajuća dekompresija doveli bi do pregrijavanja reaktorske jezgre, pa je za takve slučajeve ugrađen sistem koji hladi jezgru u opasnosti. Sistem PWR prikazan je na sl. 7.

2.5. Vrelovodni reaktor (BWR-Boiling Water Reactor)

Pripada istoj vrsti lakovodnih reaktora kao i PWR, a zapravo je nastao razmatranjem problematike isparavanja u području jezgre vodom hlađenih reaktora. Pokazala se, naime, mogućnost proizvodnje pare za pokretanje turbine, direktno u jezgri reaktora, i to pod vlastitom stabilizacijom unutrašnjih uvjeta. Reaktor u radu djeluje kao recirkulacijski kotao s paro-separatorima i sušačima, smještenim u gornjem dijelu reaktorske tlačne posude (sl. 8).

Recirkulacija vode kroz jezgru vrši se mlaznim pumpama smještenim obično oko reaktorske jezgre, pokretanim s vanjskim centrifugalnim pumpama. Varijantno rješenje je s rotorima recirkulacijskih pumpa smještenim u reaktorskoj posudi



Sl. 8.

i brtvljenim pogonskim osovinama penetriranim na dnu reaktorske posude (uvedeno u Njemačkoj i Švedskoj). BWR upotrebljava slabo obogaćeno uransko gorivo u leguri cirkonija kao oblozi, dok su gorivi elementi složeni u kvadratnoj rešeci, slično kao i kod PWR. Regulacija reaktora vrši se šipkama kružnog presjeka koje se hidraulički ubacuju između gorivih elemenata s donje strane reaktorske posude (jezgre). Regulacija se također vrši i pomoću varijacije recirkulacijskog protoka.

Gorivo se puni u izvanpogonskom stanju u intervalima od 12 do 18 mjeseci, pri čemu se izvadi poklopac reaktorske posude i sušači pare. Jezgra BWR je manje kompaktna od PWR, a zajedno s mlaznim pumpama i sušačima pare izaziva veće dimenzije reaktorske posude. Taj se nedostatak nadoknađuje nižim radnim pritiskom koji dopušta tanje stijenke reaktorske posude, a otpadaju posebni parogeneratori. Da bi se doskočilo posljedicama loma primarnog kruga, usvojen je posebni dekompresijski prostor oko reaktorske posude. Taj dekompresijski sistem ili dekompresijska komora oko reaktora služi za ispuštanje pare u rezervoar vode koji djeluje kao kondenzator u slučaju opasnosti. Današnji sistem za dekompresiju je u jednostavnoj izvedbi valjčastog betonskog prostora s donje strane reaktora.

2.6. Candu-reaktor

Jedini reaktorski sistem moderiran teškom vodom, koji danas radi na komercijalnoj osnovi, jest kanadski sistem CANDU. Reaktor se puni gorivom od prirodnog urana u obliku oksida, a obloga mu je od legure cirkonija. Relativno kratki gorivi elementi načinjeni su od po 28 gorivih šipki. Gorivo se nalazi u horizontalnim cirkonijevim tlačnim cijevima koje prolaze kroz veliku reaktorsku posudu (calandrija) napunjenu teškom vodom kao moderatorom (slika 9). Teška voda također služi i kao rashladno sredstvo, ali se, isto kao i kod PWR, mora održavati pod vrlo visokim tlakom da bi se spriječilo isparavanje. Primjena tlačnih cijevi za gorivo u reaktorskoj jezgri dopušta rashadnom sistemu da bude pod pritiskom, a da reaktorska tlačna posuda nije od masivnog čelika.

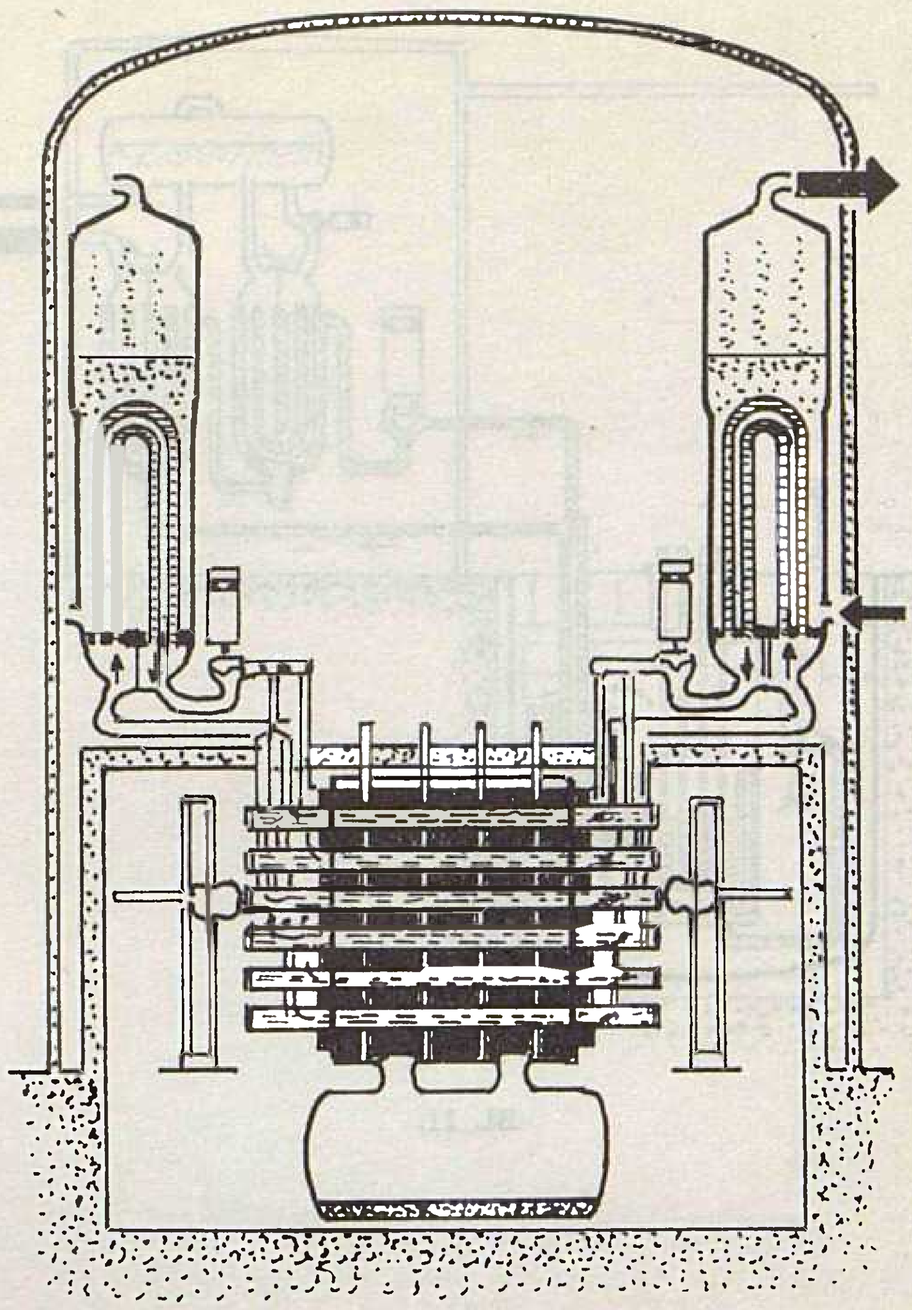
Generatori pare su od U-cijevi, slično kao i kod većine PWR-a. Velika jezgra od prirodnog urana, slično kao i kod magnoxa, zahtijeva da se gorivo mijenja pod opterećenjem, a manipulacija se vrši pomoću daljinski upravljanih strojeva koji su spojeni na oba kraja tlačnih cijevi, radi ubacivanja i izvlačenja gorivih elemenata. Kontrolne šipke su smještene u prodore na vrhu reaktorske posude, a manja promjena snage može se vršiti i promjenom nivoa moderatora. Dopunska mogućnost za brzu obustavu reaktora postiže se s prihvatnom posudom za tešku vodu (moderator) smještenom ispod kalandrije. Za kanadske reaktore primijenjena je betonska zaštitna građevina (kontejn-

ment), a jedan posebni sigurnosni element je velika vakuumska građevina predviđena za usis pare koja bi izašla iz kontejnmenta u slučaju da je on pod natpritiskom.

2.7. Parogeneratorski teškovodni reaktor

Parogeneratorski teškovodni reaktor (SGHWR) razvijao se u Britaniji, s ciljem ujedinjenja najboljih osobina CANDU reaktora i direktnog ciklusa vrelovodnog reaktora. Umjesto horizontalnih, (slika 10.) upotrijebljene su vertikalne tlačne cijevi, a teškovodni moderator smješten je u kalandriji kao i kod reaktora CANDU. Razlika je samo u primjeni obične (lake) vode kao rashladnog sredstva, pod kontroliranim uvjetima isparavanja u tlačnim cijevima. Para, koja ide u parnu turbinu, izdvaja se iz hladioca u parnim posudama. Recirkulacijske pumpe vraćaju vodu iz parne posude u donji kraj tlačnih cijevi. Budući da laka voda apsorbira više neutrona od teške, održavanje stabilne nuklearne reakcije u jezgri s gorivom od prirodnog urana bilo bi otežano. Zato se najčešće uzima gorivo s niskim obogaćenjima na U-235 ili plutonij.

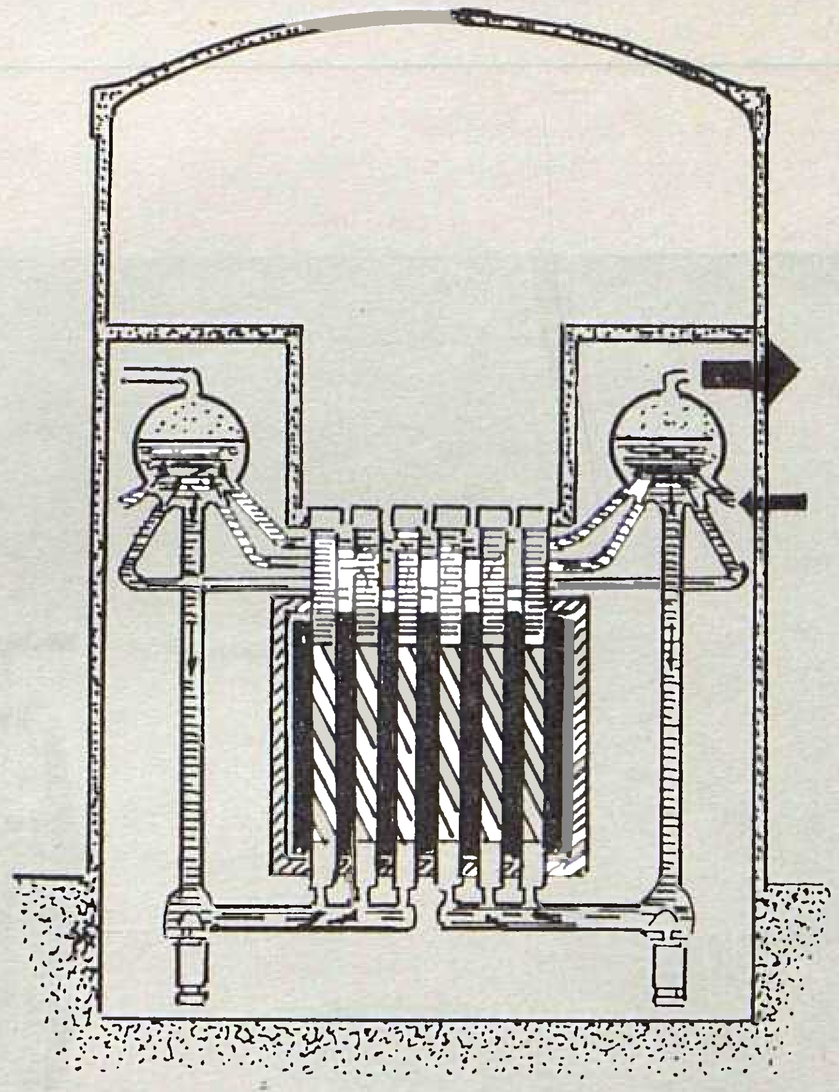
Gorivi elementi su vrlo slični onima kod BWR, osim cilindričnih dimenzija, koje su potrebne kod tlačnih cijevi. Sistemi za izmjenu goriva pod opterećenjem razvijeni su za 100 MWe (prototip SGHWR na Winfrith, Dorset), ali se za komercijalna postrojenja može izvesti i drugi slučaj, tj. sistem za izmjenu goriva izvan pogona. Kontejnment će se vjerojatno lako prilagoditi svakoj komercijalnoj veličini reaktora ovoga tipa.



Sl. 9.

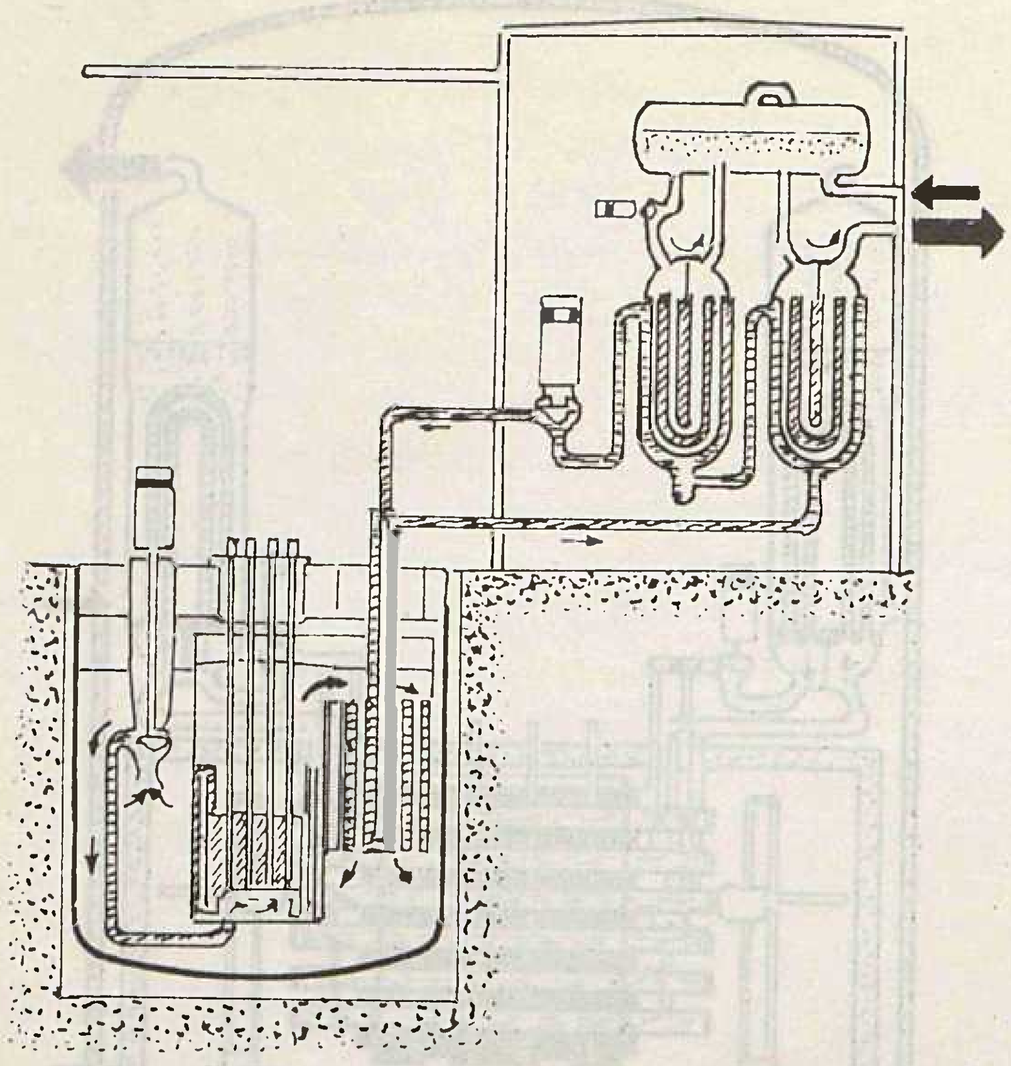
2.8. Brzi oplodni reaktor

FBR se puni smjesom goriva od plutonijeva i uranova oksida. Obloga goriva je od nerđajućeg čelika, a u sklopovima gorivih elemenata ovo gorivo čini vrlo kompaktnu heksagonalnu rešetku. U snažnom neutronskom fluksu visoke energije ili brzine, koji nastaje u vrlo kompaktnoj jezgri bez moderatora, dolazi do nuklearne fisije atoma plutonija i urana — 238. Posjedujući ustanovljenu brzu lančanu reakciju, moguće je iskoristiti vrlo intenzivnu neutronsku radijaciju koja izbija iz jezgre. Postavljanjem omotača od istrošenog urana (najčešće U-238 kao otpadni produkt iz postrojenja za obogaćivanje) može se, neutronskim zahvatom, znatna količina materijala pretvoriti u plutonij. Na taj način moguće je producirati više plutonija u predjelu omotača nego što se troši u predjelu jezgre, a sam proces je poznat kao oplodnja. Općenito se smatra da će ovi reaktori ući u proizvodnju električne energije nakon 1980. god.



Sl. 10.

Tip koji je najviše napredovao u razvoju je onaj hlađen tekućim metalom (LMFBR). Tekući metal se primjenjuje zbog svog vrlo visokog koeficijenta prijenosa topline s kompaktne i visokoenergizirane reaktorske jezgre (u ovom slučaju) na natrij. Prototipna postrojenja u razvojnom stadiju projekta u Britaniji i Francuskoj koriste se sistemom »bazenskog« tipa (slika 11). Reaktorska jezgra je obješena u velikom bazenu s natrijem, gdje se također nalaze primarne pumpe i posredni izmjenjivač topline. Natrij se crpi iz bazena na dno jezgre, da bi se vruć prelio na vrhu jezgre i tekao dolje preko ravnih cijevi posrednog izmjenjivača topline i vraćao se ponovno u bazen. Po-



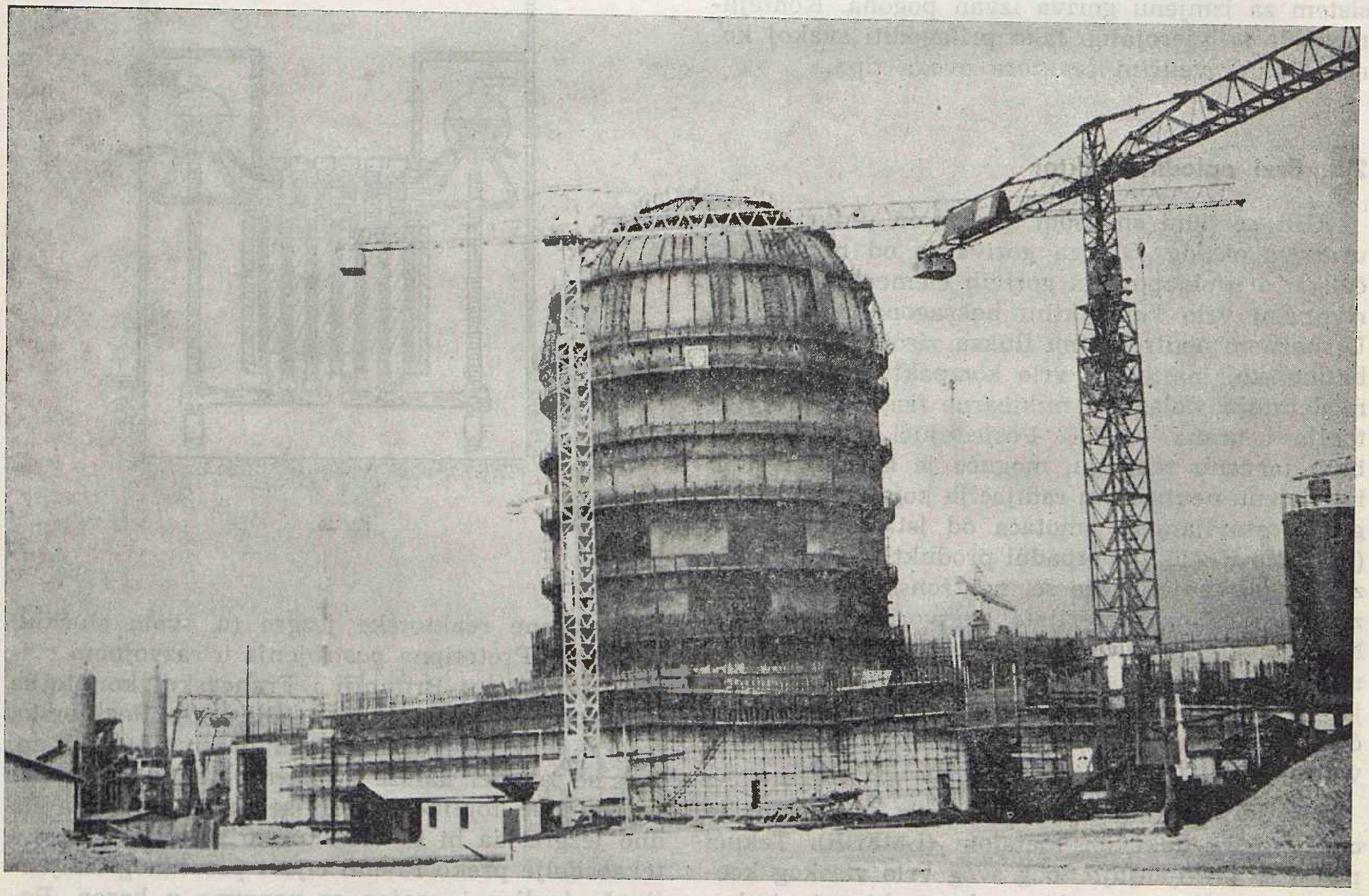
Sl. 11.

sredni izmjenjivač topline grije sekundarni protok natrija, koji prelazi kroz parogeneratorsko postrojenje.

Sistem, prikazan pojednostavnjeno na slici, ima dvostepene U-cijevne jedinke za isparavanje i pregrijavanje pare. Današnji sistemi u istraživanju nude kompleksnije parne cikluse, uključujući i pregrijavanje. U prototipnim postrojenjima usvojene su i druge sheme s primarnim natrijskim hladilom u vanjskim krugovima. Niskotlačni krugovi s natrijskim hladilom usvojeni su radi sigurnosti koja proizlazi iz svladane tehnike rukovanja vrućim natrijem. Najveća se pažnja posvećuje održavanju pouzdanog odvoda topline, jer je to i najveći sigurnosni problem vrlo kompaktne reaktorske jezgre.

(Nastavit će se)

Naslov pisca:
Vladimir Vuković, dipl. ing
NE »Krško« u izgradnji



NE Krško u izgradnji

EKONOMSKA OPRAVDANOST UVOĐENJA MTK UREĐAJA NA PODRUČJU DISTRIBUCIJE »ELEKTRE—ZADAR« ZADAR

Nikola D e l l a v i a, Zadar

Da bi se provjerila opravdanost uvođenja mrežne telekomande, ispitana je točnost 200 uzoraka brojila i 50 uzoraka uklopnih satova. Zatim je provedena statističko-matematička obrada dobivenih podataka i na temelju toga doneseni zaključci koji navode na potrebu uvođenja MTK u distributivnu mrežu »Elektro-Zadar«.

DK 621.316.1.003:681.13

UVOD

Da bi se ekonomski opravdalo uvođenje MTK uređaja na području distribucije »Elektre-Zadar«, potrebno je utvrditi kvalitetu sadašnjeg mjerenja utroška električne energije. Ako se tim načinom mjerenja utvrdi da je kvaliteta »dobra«, ne postoji ekonomsko opravdanje uvođenja mrežne telekomande (MTK) uređaja.

Na kvalitetu mjerenja električne energije utječu dva faktora: kvaliteta indukcijskog brojila i kvaliteta uklopnog sata.

Da bi se potpuno provjerila kvaliteta mjerenja, uzet je uzorak brojila od 200 potrošača, koja su zatim ispitana. Drugim uzorkom od 50 komada ispitana je kvaliteta uklopnog sata.

2. ISPITIVANJE TOČNOSTI MJERENJA ELEKTRIČNE ENERGIJE INDUKCIJSKIH BROJILA

Indukcijska brojila, kao naprave za obračunavanje električne energije, moraju odgovarati propisima što su ih dale mjerodavne ustanove.

Za nas u tom pogledu vrijede propisi Uprave za mjere i plemenite kovine u Beogradu, prema kojima se smiju upotrebljavati samo ona brojila koja su službeno ispitali ovlašteni kontrolni organi.

Brojila se u principu ispituju tako da se usporedi potrošak Wp koji pokazuje ispitano brojilo s potroškom Ws, koji je istodobno određen pomoću preciznih mjernih naprava. Procentualna pogreška bila bi onda:

$$p = \frac{W_p - W_s}{W_s} \cdot 100\%$$

Za ispitivanje točnosti brojila postoji više metoda, npr.: ispitivanje pomoću preciznog brojila, sinkroni postupak, ispitivanje vatmetrom i stop-urom, stroboskopski postupak, itd.

Za ispitivanje točnosti brojila na području distribucije »Elektre-Zadar« služimo se metodom preciznog vatmetra i stop-urom. Pri ovakvom ispitivanju brojilo opteretimo stvarnim teretom i usporedimo njegovo pokazivanje s podacima dobivenim pomoću preciznog vatmetra i stop-ure. Ako se aluminijska ploča brojila okrenula tijekom ispitivanja N puta, onda brojilo pokazuje potrošak energije:

$$W_p = \frac{N}{C} \cdot 3600 \cdot 10^3 \ W_s,$$

gdje je:

N — broj okretaja aluminijske ploče

c — konstanta brojila po kWh, a koja se nalazi na napisnoj pločici.

Pri tome se odredi vrijeme »t« potrebno da aluminijska ploča izvrši »N« okretaja, a preciznim vatmetrom izmjeri konstantnu snagu »P« opterećenja.

Prema tome, stvaran, utrošak energije iznosi:

$$W_s = P \cdot t.$$

Dakle, pogrešku brojila možemo odrediti na temelju izraza:

$$P = \frac{W_p - W_s}{W_s} \cdot 100\%$$

ili

$$p = \frac{3600\,N}{c \cdot t} \cdot 10^3.$$

3. ODREĐIVANJE UZORAKA I ANALIZA POGREŠKE MJERENJA ELEKTRIČNOG BROJILA

Rečeno je već da je uzet u razmatranje skup od 200 potrošača na kojima se ispitala kvaliteta indukcijskog brojila. Da bi se osigurala nepristranost metode odabiranja uzoraka, korištena je tablica slučajnih brojeva (lit. 1). Nakon korištenja tablice potrošači su svrstani kao što pokazuje tablica 1.

Standardna devijacija uzorka je tada:

$$\sigma = 1{,}9306272.$$

Najbolja nepristrana procjena varijance osnovnog skupa je dana sa:

$$s = \sqrt{\frac{n}{n-1}}\,\sigma = \sqrt{\frac{200}{200-1}} \cdot 1{,}9306272 = 1{,}9354717.$$

Tablica 1

Redni broj	Pogreška +	Pogreška −	$(x_i - \bar{x})^2$
1.		2	3,812248
2.		4	15,62226
3.		2	3,812248
4.	0,2		0,061256
5.	0		0,0
6.		5	24,52727
7.	1,2		1,556254
8.	2,4		5,990237
9.	0,5		0,99756
10.	0,2		0,061256
11.		3	8,717247
12.		3	24,52727
13.		2,3	5,073745
14.	1,5		2,394751
15.	1		1,0977255
16.	0,5		0,204757
17.		4,5	19,82475
18.	0		0,0
19.	1		1,097255
20.	2		4,19225
21.	2		4,19225
22.	0,5		0,299756
23.	0		0,0
24.		2	3,812248
25.	1		1,097255
26.	2,2	3	5,051247
27.		0,5	8,717247
28.			0,204757
29.	1		1,097255
30.	2		4,19225
31.		2,2	4,633245
32.	1		1,097255
33.	3		9,287257
34.	1,5		2,394751
35.	2		4,19225
36.	1,5		2,394751
37.	1		1,097255
38.		2	3,812248
39.	1		1,094755
40.	2,5		2,397517
41.		1	0,907257
42.		3	8,717247
43.	2		4,192225
44.	1,3		1,815755
45.		2	3,812248
46.	3		9,287257
47.		3,1	9,317772
48.	2		4,19225
49.	1		1,097255
50.		0,5	0,204757
51.	1,5		2,394751
52.	1		1,097255
53.		2,1	4,212748
54.	1,2		1,556254
55.	1		1,097255
56.		1	0,907257
57.	0,5		0,299756
58.		0,8	0,566257
59.	2		4,19225
60.	1,2		1,556254
61.		2	3,812248
62.		3,2	9,938253
63.	3		9,28757
64.	1,3		1,815755
65.	2		4,19225
66.		3,4	11,23926
67.	2		4,19225
68.		0,7	0,425757
69.		2,8	7,576242
70.	1		1,097255
71.		1	0,907257
72.	0,5		0,299756
73.		0,3	0,063756
74.	0,6		0,419257
75.	1		1,097255
76.		0,3	0,063756
77.	1		1,097255
78.	1		1,097255
79.		4	15,62226
80.	2		4,19225
81.	0,5		0,299756
82.		1	0,907257
83.		1	0,907257
84.	3		9,287257
85.		1	0,907257
86.		0,8	0,566257
87.	2		4,19225
88.	1		1,097255
89.	0,5		0,299756
90.	2,2		5,051247
91.	0,4		0,200257
92.		1	0,907257
93.	0,6		0,419257
94.	1		1,097255
95.		0,9	0,726757
96.	1,4		2,095255
97.	0		0,0
98.	1		1,097255
99.		0,7	0,425757
100.		1	0,907257
101.	1		1,097255
102.	1		1,097255
103.	0,5		0,299756
104.		2	3,812248
105.	0		0,0
106.	1,5		2,394751
107.		3	8,717247
108.		2	3,812248
109.	0,5		0,299756
110.	0,3		0,120756
111.	2		4,19225
112.		1	0,907257
113.	1,5		2,394751
114.	0,8		0,718257
115.		1,2	1,328254
116.		2	3,812248
117.	0,4		0,200257
118.		3	8,717247
119.	1		1,097255
120.	1		1,097255
121.	0,3		0,120756
122.	0		0,0
123.	0		0,0
124.	2		4,19225
125.	1,3		1,815755
126.		0,5	0,204757
127.	1		1,097255
128.	1		1,097255
129.		1,5	2,109754
130.	0,5		0,299756
131.	1		1,097255
132.		2	3,812248
133.	1,2		1,556254
134.	1,1		1,316757
135.	0,8		0,718257
136.		3	8,717247
137.	1		1,097255
138.	0		0,0
139.	0,2		0,061255
140.		4	15,62226
141.	0,6		0,419257
142.	1		1,097255
143.		4,5	19,82475
144.	2		4,19225
145.	0,5		0,299756
146.	1		1,097255
147.	2,1		4,61175
148.		3	8,717247
149.	0,2		0,061256
150.		1	0,907257
151.		2	3,812248
152.		1,5	0,204757
153.	3		9,287257
154.	0		0,0
155.	1		1,097255
156.		1	0,907257
157.	4		16,38226
158.	1		1,097255
159.		3	8,717247
160.	1		1,097255
161.	3		9,287257
162.		0,5	0,204757
163.		2,2	4,633245
164.	1		1,097255
165.	3		9,287257
166.	1,5		2,394751
167.		3	8,717247
168.	1		1,097255
169.		2	3,812248
170.	0,5		0,299756
171.		1	1,097255
172.		4	15,62226
173.		2	3,812248
174.	0,2		0,061256
175.	0		0,0
176.		5	24,52727
177.	1,2		1,556254
178.	2,4		5,990237
179.	0,5		0,299756
180.	0,2		0,061256
181.		3	8,717247
182.		5	24,52727
183.		2,3	5,072745
184.		1,1	1,107755
185.	0,4		0,200257
186.	0,6		0,419257
187.	2,1		4,61175
188.	0,5		0,299756
189.		1,2	1,328254
190.		3,5	11,91976
191.	2		4,19225
192.	1,1		1,316755
193.	0,2		0,06256
194.	0		0,0
195.		3	8,717247
196.		4	15,62226
197.	0,5		0,299756
198.		2	3,812248
199.	4		16,38226
200.	4,5		20,67975
SUMA	151,6	161,1	745.464,29

Prva kolona tablice označuje redni broj elementa uzorka. Druga kolona označuje postotnu pogrešku brojila električne energije, pozitivnu ili negativnu.

Pozitivna »+« predstavlja dobit za OOUR, a negativna »—« gubitak. Zadnja kolona predstavlja kvadratno odstupanje od aritmetičke sredine, kako bi se mogla izračunati standardna devijacija uzorka. Aritmetička sredina uzorka je dana sa:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_i x_i = \frac{1}{200} (151{,}6 - 191{,}1) = -0{,}0475,$$

a varijanca:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_i (x_i - x)^2 = \frac{1}{200} 745{,}464{,}29 = 3{,}7273214.$$

Postavimo sada pitanje: možemo li reći da se očekivanje osnovnog skupa točnosti mjerenja sinjifikantno razlikuje od 0. Prema metodi testiranja očekivanja: osnovni skup — uzorak, postavljamo hipoteze:

$$H_o : E(x) = \mu_o = 0$$

$$_3H_1 : E(x) = \mu_1 \neq \mu_o.$$

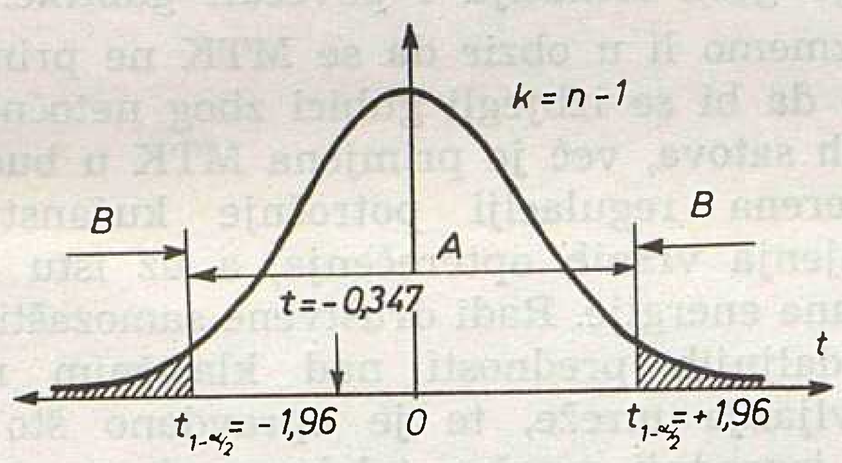
Prema Studentovoj razdiobi vršimo testiranja ove hipoteze. Neyman-Pearsonova lema pokazuje da varijabla

$$t = \frac{x - \mu_o}{s} = \frac{-0{,}0475 - 0}{1{,}9354717} = -0{,}347$$

$$\sqrt{n} \qquad \sqrt{200}$$

određuje najbolju kritičku domenu u smislu da toj domeni pripada najmanja pogreška druge vrste.

Prema Studentovom testu n-dimenzionalni prostor je podijeljen na disjunktne skupove A i B, prema slici.



s koje vidimo da je izračunata varijabla »t« pala duboko u područje prihvaćanja hipoteze H_0, tj. istinske tvrdnje da se ne može kazati da je očekivanje osnovnog skupa različito od 0.

Ovaj račun pokazuje da brojila koja se nalaze u eksploataciji kućanstava na području elektrodistribucije Zadar u potpunosti ispunjavaju tražene uvjete mjerenja.

4. ODREĐIVANJA UZORAKA I ANALIZA POGREŠAKA UKLOPNIH SATOVA

Drugi faktor koji utječe na kvalitetu mjerenja je uklopni sat. Distributivna poduzeća koja su prešla na sustav naplate električne energije putem pretplatničkih knjižica, a ne posjeduju MTK (mrežnu tele-komandu) dolaze u opasnost gubitka zbog netočnosti pokazivanja uklopnog sata.

Naime, novom metodom naplate, pri kojoj očitač stanja na brojilu (prijašnji inkasator) dolazi samo jedanput godišnje do brojila, uklopni sat se ostavlja bez nadzora tijekom godine i više dana.

Objektivne okolnosti (redukcija potrošača, popravci na mreži itd.) pojednostavnjuju još više situaciju greške uklopnog sata, odnosno gubitak poduzeća.

Na području distribucije OOUR-a »Elektra-Zadar« iz Zadra izabran je uzorak od 50 uklopnih satova (metodom slučajnog izbora) i načinjeno je statističko istraživanje.

U slijedećoj tablici prva kolona predstavlja redni broj, druga odstupanje uklopnog sata x_i od stvarnog vremena (mjereno u minutama), a treća kolona predstavlja kvadrat odstupanja od aritmetičke sredine.

Zbrajanjem iznosa u drugoj koloni dobivamo aritmetičku sredinu:

$$\bar{x} = \frac{7048}{50} = 140{,}96 \text{ (min)}.$$

Prosječno zakašnjenje uklopnih satova ovog uzorka jest 2 sata 20′ i 58″.

Tablica 2.

Redni broj	Odstup. (min)	$(x_i - \bar{x})^2$	Redni broj	Odstup. (min)	$(x_i - \bar{x})^2$
1.	132	80,28	26.	12	16630,65
2.	40	1012,90	27.	18	15119,14
3.	210	4766,51	28.	60	6554,51
4.	132	80,28	29.	60	6554,51
5.	150	81,72	30.	54	7562,03
6.	12	16630,65	31.	12	16630,65
7.	12	16630,65	32.	18	15119,14
8.	6	18214,16	33.	24	13679,62
9.	48	8641,54	34.	36	11016,59
10.	12	16630,65	35.	42	9793,07
11.	900	576140,80	36.	120	439,32
12.	410	72382,29	37.	360	47978,45
13.	120	439,32	38.	84	3244,44
14.	120	439,32	39.	0	19869,70
15.	24	13679,62	40.	180	1524,12
16.	250	11889,69	41.	276	18235,78
17.	360	47978,45	42.	120	439,32
18.	60	6554,81	43.	30	12312,09
19.	66	5619,00	44.	60	6554,51
20.	120	439,32	45.	54	7562,03
21.	60	6554,51	46.	20	14631,28
22.	0	19869,70	47.	42	9793,07
23.	630	239159,80	48.	480	114948,30
24.	510	136190,70	49.	18	15119,14
25.	6	18214,16	50.	480	114948,30
				7048	1763065,44
				$\sum x_i$	$\sum_i (x_i - \bar{x})^2$

Varijanca uzorka: $\sigma^2 = \frac{1763065{,}44853}{50'}$

$\sigma^2 = 35621{,}308 \text{ min}^2$

$\sigma = 187{,}77994 \text{ (min)} = 3 \text{ sata } 7' \text{ i } 46''.$

Iz rezultata zaključujemo da je rasipanje podataka oko aritmetičke sredine vrlo veliko. Najbolja nepristrana procjena varijance osnovnog skupa je tada:

$$s = \sqrt{\frac{50}{50 - 1}} \cdot 187{,}77994 = 189 \cdot 68635$$

Izvršimo intervalnu procjenu očekivanja kašnjenja uklopnih satova osnovnog skupa uz pouzdarnost 0,9545.

$$\bar{x} - 2 \cdot \sigma_{\bar{x}} < \mu < \bar{x} - 2 \cdot \sigma_{\bar{x}}$$

gdje je $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ odnosno $\frac{s}{\sqrt{n}} = 26{,}825761$

$$140{,}96 - 2 \cdot 26{,}825761 < \mu < 140{,}96 + 2.\ 26{,}825761$$
$$87{,}30848 < \mu < 194{,}61152$$

Dok je pouzdanost od 0,9973 ta procjena:

$$60{,}48272 < \mu < 221{,}43728$$

odnosno izraženo u satima za pouzdanost 0,9545

$$1 \text{ sat } 27' \text{ i } 18'' < \mu_p < 3 \text{ sata } 14' \text{ i } 36''$$

a za pouzdatnost 0,9973 intervalna procjena kašnjenja uklopnih satova osnovnog skupa jest:

$$1 \text{ sat } 0' \text{ i } 28'' < \mu_p < 3 \text{ sata } 41' \text{ i } 26''$$

Pokušajmo sada to odstupanje izraziti procentualno u odnosu prema vremenu pri manjem tarifnom stupnju. Prema općim uvjetima isporuke električne energije od 7,00 do 14,00 i od 17,00 do 22,00 obračunava se energija po većem tarifnom stavu, a ostatak po manjem. Dakle, 13 sati se energija obračunava po manjem tarifnom stupnju.

Postotna pogreška za pouzdanost 0,9545 iznosi:

$$\frac{87{,}30848 \cdot 100}{13 \cdot 60} < \mu_g < \frac{194{,}61152 \cdot 100}{13 \cdot 60}$$

$$11{,}939\% < \mu_g < 24{,}959193\%$$

a za pouzdanost 0,9973 je tada

$$7{,}75419\% < \mu_g < 28{,}389{,}393\%.$$

Prema podacima dobivenim računskim strojem ukupna prodana energija tipa kućanstvo na manjem tarifnom stupnju u tijeku 1975. godine iznosila je 8.809.821 kWh. Cijena koštanja kWh u većem stupnju je 0,87 dinara, a u manjem 0,55. Razlika je 0,32 dinara.

Od tih 8.809.821 kWh, uz pouzdanost 0,9545, 11,19%, odnosno 24,95% trebalo je prodati po višoj cijeni.

Uz navedenu pouzdanost naš OOUR je na račun neispravnog pokazivanja uklopnih satova izgubio

$$0{,}119339 \cdot 8.809.821 \cdot 0{,}32 <$$
$$\mu_G < 0{,}24950193 \cdot 8.809821 \cdot 032$$
$$315.557{,}63 \text{ dinara} < \mu_G < 703.381{,}44 \text{ dinara}$$

dok je za pouzdanost procjene 0.9973 taj gubitak

$$218.601{,}68 \text{ dinara} < \mu_G < 800.337{,}40 \text{ dinara}$$

5. ZAKLJUČAK

Možemo kazati da su gubici svakim danom sve veći. Prodana količina energije u 1976. godini sigurno je veća od one koja je uzeta pri proračunu ovih gubitaka.

Naglo širenje grada, a uz to sve veći interes za korištenjem dvotarifnih brojila, dovest će nas u mnogo goru situaciju i povećati gubitke.

Uzmemo li u obzir da se MTK ne primjenjuje samo da bi se izbjegli gubici zbog netočnosti uklopnih satova, već je primjena MTK u budućnosti usmjerena regulaciji potrošnje kućanstva radi smanjenja vršnih opterećenja, a uz istu količinu prodane energije. Radi društvene samozaštite MTK ima daljnjih prednosti nad klasičnim načinom upravljanja mreže, te je opravdano što hitnije prići izgradnji mrežne telekomande na području distribucije Zadar.

Napomenimo još jednom da je gubitak u najnepovoljnijem slučaju sigurno veći od 800.337,40 koji je dobiven proračunom.

LITERATURA

1. Statistics by Murray R. Spiegel McGraw-Hill book company, New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, Sudney

Naslov pisca:
Nikola Dellavia, dipl. ing.

Mjerenja obavio:
Božidar Radman, dipl. ing.
»Elektra—Zadar«, Zadar

PROBLEMI CIKLUSA GORIVA NUKLEARNIH ELEKTRANA

Borivoj Baranović, Zagreb

U svijetu je krajem 1975. godine bilo u pogonu 130 nuklearnih agregata ukupne snage 63.000 MW, a u izgradnji i u narudžbi nalazilo se daljnjih 300 jedinica s ukupnom snagom 290.000 MW. Velik program izgradnje nuklearnih elektrana doveo je do kritične situacije u kapacitetima pojedinih faza ciklusa goriva.

U prikazanoj shemi ciklusa goriva za reaktor na obogaćeni uran i s vodom kao moderatorom i rashladnim medijem — sve su faze operacija bile savladive kada se radilo, kao do sada, o relativno malom broju reaktora u pogonu.

Na kongresu UNIPEDE u Beču ove godine predstavnik grupe za informacije o problemima nuklearnog goriva Komiteta Evropske zajednice dao je podatke o anketi izvršenoj početkom 1976. godine. Pokazalo se da je razvoj nuklearne energetike programiran do 1985. godine za oko 12% niži od predviđanja krajem 1975. godine: za EEZ je smanjen od 150.000 na 132.000 MWe, a za čitavu Evropu od 200.000 na 177.000 MWe. Međutim, to je još uvijek vrlo visok program i problemi ciklusa goriva u nekim svojim fazama traže urgentno rješavanje.

POTREBE EVROPE PREMA ANKETI OD 14. 5. 1976.

Prema programu		1975.	1980.	1985.
Snaga nuklearnih elektrana MW-e neto	PWR i BWR	10.700	60.000	170.000
	Ostali	7.300	7.500	7.500
	Ukupno	18.000	67.000	177.500
Prirodni uran Kapacitet rudnika tona/godina U metala		6.000	20.000	40.000
Obogaćivanje — kapacitet postrojenja 10^3 UTS/godina		1.500	10.000	21.000
Ponovna prerada	U oksida T/godina	100	1.000	3.200
	U metala T/godina	1.500	2.000	2.000

Pregledna tablica za Evropu pokazuje godišnje potrebe urana, kakaciteta uređaja za obogaćivanje i kapaciteta za ponovnu preradu. Zalihe ozračenog goriva, koji se neće moći na vrijeme ponovno preraditi, nagomilat će se do 1985. godine na oko 6 500 t. Kumulativni iznosi iskorištenog a neprerađenog goriva, u tonama uranovog oksida za pojedina razdoblja su slijedeći:

Uran	1975.	1980.	1985.
Potrebno preraditi	100	3000	14.000
Raspoloživi kapaciteti	0	2000	7500
Kumulativni deficit	100	1000	6500

Sada su napori u Evropi usmjereni na izgradnju bazena za vremenski ograničeno uskladištenje ozračenih elemenata, tj. do vremena kada će biti predani tvornicama za preradu i na izgradnju samih tvornica za preradu.

Ozračeni elementi nakon iskorištenja u reaktoru sadrže:

— fisibilni izotop urana sa sadržajem nešto većim od prirodnog stanja

— plutonij

— veoma radioaktivne elemente, kratkog i dugog trajanja aktivnosti.

U tvornicama za preradu treba odvojiti fisibilni uran i plutonij, a preostale radioaktivne materijale pripremiti za konačno trajno uskladištenje. Istraživanja teže pronalaženju potpuno novih metoda maksimalno mogućeg odvajanja raznih sastojaka, naročito onih s dugotrajnom aktivnošću od ostalih. Sadašnje metode u pokusnim postrojenjima samo približno odgovaraju, pa su neka postrojenja u rekonstrukciji, a u posljednje tri godine nije sagrađeno ni jedno novo. Jedan od razloga je i taj što se ne rješava dovoljno efikasno problem konačnog uskladištenja ostataka nakon prerade, a posebno odlaganja dugotrajno aktivnih elemenata.

U Evropi internacionalna grupa United Reprocessors priprema tvornice za preradu. Osim tvornice La Hague, u Francuskoj, koja će doskora biti puštena u pogon s kapacitetom 800 t/god, u projektu su tvornice u SR Njemačkoj za 1500 t/god. i Velikoj Britaniji za 1000 t/god, pa zatim u Italiji. Nadalje, razmatra se ponovno puštanje u pogon tvornice »Eurochemic« u Belgiji s povećanim kapacitetom od 40 na 60 t/god. ili više. Međutim sve to ne pokriva potrebe do 1980. godine, kako je prikazano u tablici.

Poseban je problem postupak s ostacima plutonija i proizvodnja gorivih elemenata iz plutonija, kod čega će također biti značajnih količina ostataka. Za sada, dok se ne počne plutonij upotrebljavati kao gorivo, potrebno je ostatake koji ga sadržavaju uskladištavati, što ne predstavlja poteškoću.

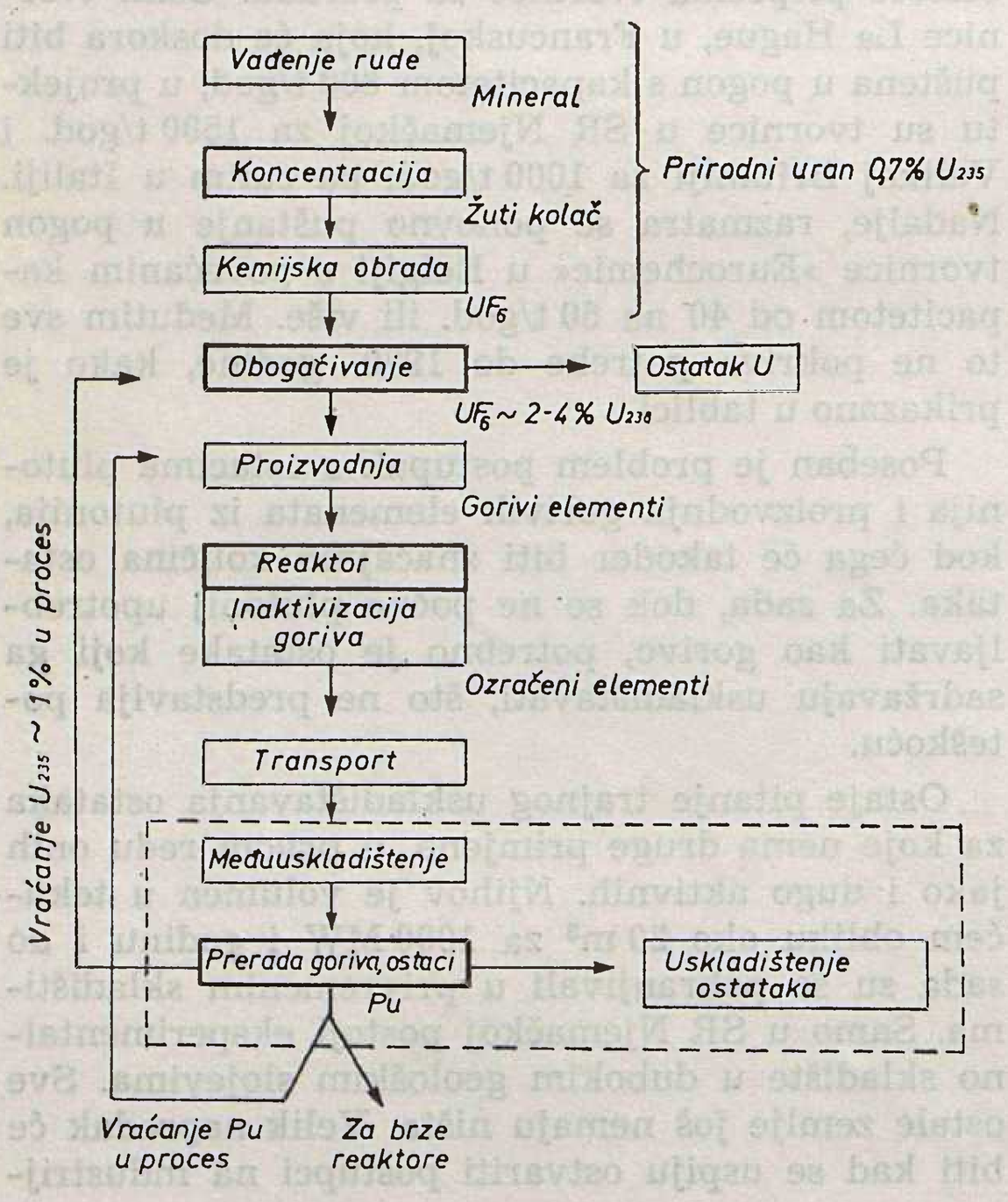
Ostaje pitanje trajnog uskladištavanja ostataka za koje nema druge primjene, u prvom redu onih jako i dugo aktivnih. Njihov je volumen u tekućem obliku oko 20 m^3 za 1000 MW i godinu i do sada su se pohranjivali u privremenim skladištima. Samo u SR Njemačkoj postoji eksperimentalno skladište u dubokim geološkim slojevima. Sve ostale zemlje još nemaju ništa. Velik napredak će biti kad se uspiju ostvariti postupci na industrij-

skom stupnju za ukrućivanje ostataka, čime bi se njihov volumen smanjio na 2 m³ za 1000 MW i godinu. U proučavanju su razni procesi pripreme za uskladištavanje, ali se nije došlo dalje od eksperimentalne faze. U čitavom kompleksu poželjna su takva rješenja koja smanjuju transport između elektrane i tvornice i do konačnog odlagališta. Komisija Evropske zajednice postavila je među ostalim i program aktivnosti za pronalaženje najpovoljnijih rješenja ovog kompleksa. Za sada preostaje da svaka elektrana posjeduje vlastito privremeno skladište kapaciteta za 5—10 godina za sve vrste ostataka. Neke vrste mogu se ispuštati u duboke dijelove oceana u obliku cementnih blokova.

Ni u ostalim fazama ciklusa goriva ne prati se najbolje velik porast potreba. Pojavljuje se tijesna situacija u kapacitetima rudnika i u uređajima za obogaćivanje. Urana ima u svijetu dovoljno i mnogo je bolje geografski rasprostranjen negoli npr. nafta, ali će trebati povećati napore na rudarskim istraživanjima i otvarati nove rudnike. Do sada je ova aktivnost zapinjala djelomično zbog preniskih cijena urana.

U pogledu procesa obogaćivanja urana evropske elektroprivrede imaju dugogodišnje ugovore sa SAD i nešto sa SSSR-om. U Evropi je postojao donedavna samo uređaj u Francuskoj, a sada rade još i eksperimentalne tvornice u Engleskoj i Nizozemskoj. Radi povećanja svjetskih potreba i zasićenja američkih tvornica potrebno je da Evropa

Ciklus goriva za reaktor s vodom i s povratkom urana



poveća napore za izgradnju daljih uređaja za obogaćivanje, to više što je prava energetska nezavisnost vezana i s dispozicijama tvornica za obogaćivanje goriva.

Sadašnji je cilj evropskih elektroprivreda da se do 1985. pokrije vlastitim tvornicama barem polovica evropskih potreba. Grupa Eurodif, koji čine Belgija, Španjolska, Italija i Francuska, a kojoj se nedavno pridružio i Iran, odlučila je izgraditi kod Pierelattea u Francuskoj još jedno veće postrojenje na bazi procesa difuzije plina UF_6, dok je druga grupa Urenco, koju čine SR Njemačka, Velika Britanija i Nizozemska, pristupila izgradnji dvaju postrojenja na bazi centrifugiranja. Ta metoda traži samo 1/10 električne energije od postupka s difuzijom, a postrojenja se mogu širiti postupno, paralelno s potrebama.

Veliki pritisak potrošnje urana i usluga u ciklusu goriva, potreba proširenja istraživanja i eksperimentiranja doveli su do velikih poskupljenja u čitavom ciklusu, premda bez značajnog utjecaja na cijenu električne energije s obzirom na malu količinu potrebnog goriva po kWh. Još uvijek postoji kompetitivnost nuklearnih elektrana prema klasičnim termoelektranama, posebno onih na tekuće gorivo, zbog visokih cijena naftnih derivata i ostalih fosilnih goriva. Do smanjenja programa izgradnje nuklearnih elektrana, što je u uvodu konstatirano, došlo je iz drugih razloga, najprije zbog smanjenja trenda potrošnje električne energije kao posljedice ekonomske krize, a time i povezanog smanjenja raspoloživog investicionog kapitala, koji je u slučaju nuklearnih elektrana dva puta veći nego kod termoelektrana za tekuće gorivo. Nadalje, potrebno je investirati po MW još oko 20% za rudnike i prateća postrojenja za ciklus nuklearnog goriva, premda se tvrdi da ukupni ciklus i kod elektrana na tekuće gorivo traži iste, ako ne i veće ukupne investicije kad se uračunaju istraživanja i za naftu, prijevozne i skladišne kapacitete. Ovako gledano, nepovoljno je s gledišta prikupljanja kapitala samo to što se najveći iznosi u slučaju nuklearnih elektrana pojavljuju u elektroprivredi, koja je ionako investiciono veoma intenzivna infrastruktura. Radi potpunosti treba spomenuti da je u zapadnom svijetu još uvijek velik program izgradnje nuklearnih elektrana uvjetovan velikom nesigurnošću oko trajanja svjetskih zaliha nafte i nesigurnošću njezine dobave, velikim deviznim izdacima za uvod nafte i ekspanzijom vlastite strojogradnje u domeni nuklearne tehnologije. U većini malih zemalja situacija je drukčija, odnosno uglavnom teža. Bez industrije koja je usvojila proizvodnju nuklearne opreme, bez rudnika urana i bez postrojenja za gorivi ciklus problemi odljeva deviza i energetske zavisnosti isto su tako značajni kao i u slučaju tekućeg goriva.

Osim tih objektivnih ekonomskih i političkih činjenica uz nuklearni ciklus, počevši od rudnika pa do odlagališta isluženog goriva, u zadnje se vrijeme češće pojavljuju i sasvim subjektivni mo-

menti, među koje u prvom redu spomenimo prihvaćanje nove tehnologije od šire javnosti i društveno-političkih činioca. Pojavljuje se sve veća osjetljivost za zaštitu okoline i zdravlja ljudi. Objektiviziranje činjenica otežavaju organizirane grupe koje iz neinformiranosti i nekih razloga pretjeruju i preuveličavaju opasnosti. Argumenti da je pogon dosadašnjih preko 100 reaktora, u ukupnom trajanju od nekoliko stotina godina, pokazao dovoljnu sigurnost, da ni jedna energetska tehnologija ne poštuje toliko okolinu itd., ne prihvaća se, pogotovo ako ti argumenti dolaze od elektroprivrede kao od zainteresirane strane, odnosno, ne shvaća se da je elektroprivreda dužna snabdjevati sve veću potrošnju. Tu nezdravu situaciju olakšalo bi kad bi kvalificirane međunarodne organizacije djelovale objektivno na javnost i na političare. Za sada je još povjerenje javnosti pokolebano, postoji opozicija predstavnika lokalnih interesa i organiziranih grupa, uvjeti za dobivanje suglasnosti za lokaciju i za pogon su preoštri i treba sve više vremena da se one dobiju.

Uza sve poteškoće, zapadna Evropa, u želji za oslobođenjem od zavisnosti od uvoza primarne energije (1973. god. Evropa je uvozila 2/3) postavila si je cilj da do 1985. godine blizu polovine električne energije proizvodi iz nuklearnog goriva. Što urana nema u Evropi, ne smatra se bitnim, kad se zna da treba samo 8 m³ uranova oksida za tri godine rada reaktora PWR snage 900 MW. Takve količine mogu se uskladištiti s malo troškova.

Nije mali razlog za prijelaz na nuklearnu energetiku i očekivanje slijedećih generacija reaktora s novom tehnologijom za bolje iskorištavanje goriva. Mnogo izgleda imaju reaktori s brzim neutronima, koji mogu upotrijebiti plutonij i iz sadašnje generacije reaktora. Ove godine je odlučeno da se pristupi konstrukciji elektrane s takvim reaktorom snage 1200 MWe, u kooperaciji elektroprivrede Francuske, SR Njemačke, Italije, Belgije i Nizozemske, koja bi trebala biti puštena u pogon između 1985. i 1990. godine.

To su podaci iz referata i diskusija na Kongresu UNIPEDE u svibnju 1976. godine u Beču. Oni su okrenuti prema problemima zapadnoevropskih elektroprivreda, što proizlazi iz činjenice da od 19 aktivnih članova ove organizacije, isključivo evropskih, samo njih tri nisu iz zapadnog bloka, uračunavši i Jugoslaviju. Pridruženi članovi su Alžir, Australija, Čile, Island i Japan. Ukupno, UNIPEDE predstavlja proizvodnju od blizu 2000 milijardi kWh u geografskom području koje nastava oko 555 milijuna stanovnika. Referati prikazani na Kongresu rezultat su rada mnogih komiteta i stručnih grupa, čija aktivnost ne prestaje između sesija kongresa, svake tri godine.

Borivoj Baranović, dipl. ing.

»ELEKTROISTRA« PULA

RADNA ORGANIZACIJA ZA DISTRIBUCIJU ELEKTRIČNE ENERGIJE S OOUR-ima:

»DISTRIBUCIJA« PULA
»DISTRIBUCIJA« LABIN
»ELEKTRA« — PAZIN — BUZET
»ELEKTRA« — BUJE
»ELEKTRA« — ROVINJ
»ELEKTRA« — POREČ
»POMOĆNE DJELATNOSTI« — PULA
RADNA ZAJEDNICA — PULA

Obavlja:

distribuciju električne energije
izgradnju elektroenergetskih postrojenja
projektiranje elektroenergetskih postrojenja reda napona do 50 kV
popravak i baždarenje brojila
reviziju i montažu transformatora i ostalih elektrouređaja

»ELEKTROISTRA« PULA tel. 24-066

U POVODU 70-GODIŠNJICE POSTOJANJA HIDROELEKTRANE MANOJLOVAC

Hrvoje Požar — Mile Previšić — Nikola Bilčar

I. HIDROELEKTRANA U SVOM 70-GODIŠNJEM POSTOJANJU

Hidroelektrana Manojlovac na Krki stavljena je prvi put u pogon 1905, a redovnu proizvodnju započela je 1906. godine.

Ona iskorištava vodu na podu od 105 m, a izgrađena je za protok od 21 m^3/s. Voda se zahvaća na lijevoj obali Krke, neposredno iznad vodopada Manojlovac i odvodi se gravitacijskim tunelom u vodostan iz kojeg se četirima čeličnim cjevovodima dovodi u četiri Francisove turbine koje tjeraju generatore nazivne snage po 6 MVA.

Hidroelektrana Manojlovac nastarija je hidroelektrana na današnjem području Jugoslavije koja još i danas proizvodi električnu energiju. Ona je u vrijeme kad je građena, pa i nekoliko godina nakon toga, bila hidroelektrana najveće snage i dugo je ostala među najsnažnijim elektranama u nas, nakon HE Kraljevac na Cetini (u pogonu 1912. godine) i HE Fala na Dravi (u pogonu 1914. godine). Tu svoju poziciju zadržala je više od 40 godina, sve do razdoblja nakon oslobođenja, kad je započelo intenzivno iskorištavanje vodnih snaga u nas.

Ona je u vrijeme izgradnje bila vrhunsko tehničko ostvarenje, koje u jednoj karakteristici nije ni do danas premašeno. Tvrtka Ganz iz Budimpešte, u to doba jedno od vodećih poduzeća na području elektrotehnike u svijetu, izgradila je za hidroelektranu Manojlovac generatore s naponom na stezaljkama od 30 kV. Koliko je meni poznato, to su jedini generatori koji su do danas izgrađeni na tako visoki napon. S tim naponom generatori su stavljeni u pogon 1905. godine i bili su tako u pogonu sve do 1947. godine, kad su prespojeni na napon od 6 kV.

Energija proizvedena u hidroelektrani Manojlovac prenosila se dvostrukim dalekovodom napona 30 kV duljine 30 km do Šibenika (do tvornice karbida u Crnici, a kasnije tvornice ferolegura, koja i danas postoji). Generatori su bili neposredno spojeni na dalekovod, pa je svaki udar groma u dalekovod dopirao s manjim ili većim intenzitetom do generatorskih namota. Zbog toga su bili česti kvarovi na svicima generatora. Proboj izolacije na namotima generatora bio je, međutim, tako običan kvar da ga je posada uklanjala kroz nekoliko sati upotrebom alata koji je izrađen u samoj elektrani.

Hidroelektranom je rukovodio gotovo 50 godina tehničar Josip Franzotti, rođen u Trstu, koji je započeo raditi u hidroelektrani za vrijeme njezine izgradnje. U 40 godina njezina postojanja on je bio jedini kvalificirani radnik u elektrani, koji je sve poslove pogona i održavanja vršio s grupom od dvadesetak nekvalificiranih radnika, seljaka iz neposredne okolice elektrane. Posljednje svoje godine proveo je u hidroelektrani Manojlovac, iako je imao kuću i obitelj u selu četiri kilometra udaljenom od elektrane. On je cijeli svoj život ugradio u hidroelektranu Manojlovac, u kojoj je izgledao za vrijeme pogonskih zahvata kao čarobljak koji suvereno vlada i strojevima i ljudima.

Ni u hidroelektrani ni kod potrošača nisu postojale sklopke za napon 30 kV, iako su prilikom gradnje bile postavljene, ali su kasnije demontirane. One su bile tako malih dimenzija, narovno to su bile uljne sklopke, da sigurno nisu bile sposobne prekinuti struju kratkog spoja. Vjerojatno je prilikom projektiranja bilo zamišljeno da one posluže za prekidanje struja u normalnom pogonu, ali se kasnije pokazalo da ne odgovaraju ni za takvu namjenu.

Kao što je već spomenuto, u hidroelektrani su postojala četiri generatora i oni su, kad je bilo dovoljno vode, radili paralelno. Budući da nisu postojale sklopke, nije ni bila moguća sinhronizacija na način kako se danas normalno izvodi. Sinhronizacija se provodila sluhom, kako se onda govorilo. Svi su generatori, naravno prije nego što su stavljeni u pogon, najprije električki spojeni pomoću rastavljača na vodiče koji su zamjenjivali sabirnice. Nakon toga je postupno povećavan broj okretaja svih generatora dovođenjem vode u turbine uz postupno povećavanje uzbudne struje u rotorskom namotu. Djelovanjem struja izjednačenja među generatorima i povećanjem sinhronizirajuće sile konačno se svi generatori sinhroniziraju. Za uspješnu sinhronizaciju potrebno je iskustvo i oprez da ne bi došlo do preopterećenja statorskih namota i do kvara. Jedina kontrola je iznos struje u pojedinim generatorima i održavanje podjednakog broja okretaja svih agregata, što je iskusno uho moglo kontrolirati uspoređivanjem visine tona zvuka proizvedenog pojedinim agregatom.

U slučaju kratkog spoja u hidroelektrani, dalekovodu ili kod potrošača porast struje registrirali su ampermetri i nadstrujni releji sa zvučnim signalom. Jedini je mogući zahvat u takvoj situaciji bilo razbuđenje svih generatora koji su se nalazili u pogonu s ponovnom međusobnom sinhronizacijom među generatorima nakon uklanjanja kvara ili nakon njegove izolacije.

Na rešetkastim čeličnim stupovima dalekovoda bili su postavljeni potporni porculanski izolatori koji su često probijali. Da se omogući pogon tvornice i u slučaju kvara na dalekovodu, i u elektrani i u tvornici bio je postavljen takav međusobni spoj rastavljača da je bilo moguće priključiti bilo koju fazu na bilo koji vodič dalekovoda. Naravno da su bili pod naponom svi vodiči kad su svi izolatori bili ispravni. Kad bi došlo do proboja nekog od izolatora, bilo je potrebno najprije obustaviti pogon cijele hidroelektrane, a zatim bi se stavljanjem pod napon postepenim povećanjem uzbude jednog od generatora odredilo na kojem se od vodiča pojavio kvar, kako bi se lakše pronašao oštećeni izolator. Tada se pod napon stavljaju tri zdrava vodiča bez obzira na redoslijed faza i bez obzira na to da li tri vodiča pripadaju istom trofaznom sistemu. Prije stavljanja pod napon javlja se tvornici koji će vodiči biti stavljeni pod napon, kako bi se i tamo izvršilo potrebno prespajanje rastavljača.

Svako prespajanje na strani napona 30 kV tražilo je, dakle, potpuno obustavljanje pogona hidroelektrane, što je vrlo nepogodno za pogon motora i za rasvjetu. Osim toga, promjena redoslijeda faza, kao posljedica opisanog načina pogona izborom zdravih vodiča dalekovoda, tražila bi stalno mijenjanje priključaka na motorima da se osigura potreban smjer vrtnje. Zbog toga je pogon lučnih peći bio odvojen od ostalog pogona tvornice (pomoćni pogoni, radionice, rasvjeta). Energiju za lučne peći proizvodila je hidroelektrana Manojlovac, a energiju za ostale pogone tvornice hidroelektrana Jaruga, koje su, naravno, radile potpuno odvojeno.

Zbog takvog načina pogona hidroelektrane Manojlovac nije ni čudnovato da ta hidroelektrana nije odigrala nikakvu ulogu u elektrifikaciji područja u neposrednoj blizini. Selo Puljani, u neposrednoj blizini elektrane, iz kojeg je bila većina radnika u hidroelektrani, elektrificirano je tek oko 50 godina nakon stavljanja u pogon HE Manojlovac.

Osim toga, zbog takvog načina pogona nije bilo moguće osigurati energiju za vlastiti potrošak hidroelektrane. U prvo vrijeme za rasvjetu su služile karbidne svjetiljke, kojima se plin dovodio posebnom plinskom mrežom. Upravljanje svim zapornim uređajima obavljalo se ručno. Kasnije je ugrađena mala Peltonova turbina, koja je tjerala sinhroni generator.

Hidroelektrana Manojlovac imala je, dakle, samo jednog potrošača, i to lučne peći u tvornici karbida u Šibeniku. Njezino opterećenje ovisilo je o broju peći u pogonu, ali i taj broj peći ovisio je o mogućnosti proizvodnje u hidroelektrani. Naravno da su i tvornica i hidroelektrana bili vlasništvo istog poduzeća, najprije poduzeća SUFID, a kasnije La Dalmatienne.

Takav način pogona održavan je oko 40 godina.

Prijelazom svih elektrana u društveno vlasništvo (1945. godine) takav način pogona postao je neprihvatljiv, jer se nije mogla iskoristiti sva voda, pa je bilo potrebno osposobiti hidroelektranu Manojlovac za normalan način eksploatacije.

Broj defekata na generatorima bio je vrlo velik, u prvom redu zbog neposrednog djelovanja atmosferskih pražnjenja na generatorske namote, ali i zbog starosti izolacije tih namota. Tada se smatralo da se broj defekata može smanjiti ugradnjom transformatora između generatora i mreže. Broj svitaka statorskog namota omogućavao je da se njihovim paralelnim spajanjem snizi generatorski napon na stezaljkama od 30 na 6 kV. To je i izvršeno u toku 1947. godine na tri generatora (četvrti je generator za vrijeme rata demontiran i djelomično otpremljen u Italiju radi rekonstrukcije), a generatori su preko blok-transformatora spojeni s mrežom. Taj je zahvat, istina, smanjio broj kvarova, ali se opseg kvara, kad je do njega došlo, znatno povećao. Paralelnim spajanjem statorskih svitaka, povećala se, naime, struja kratkog spoja na mjestu kvara. Sile su među vodičima toliko porasle da su izbacivale cijeli svitak iz utora. To je oštećivalo ne samo pogođeni svitak nego i veći broj ostalih svitaka. Nakon prespajanja gotovo je uvijek jedan od agregata bio izvan pogona, jer je popravak — zbog velikog opsega kvara — bio dugotrajan.

Nakon prijelaza na pogon s naponom 6 kV i postavljanjem sklopki 6 i 30 kV bila je moguća normalna sinhronizacija generatora u hidroelektrani, pa i paralelan rad s drugim elektranama. Prvi put je ostvaren paralelni rad između hidroelektrane Manojlovac i hidroelektrane Jaruga 1947. godine preko transformacije 30/6 kV u tvornici aluminija u Lozovcu. Treba napomenuti da vod 30 kV Manojlovac — Šibenik prolazi neposredno uz tvornicu aluminija u Lozovcu koja je izgrađena 1936. godine.

Hidroelektrana Manojlovac građena je kao protočna hidroelektrana, pa se njezino opterećenje nije moglo ni u najmanjoj mjeri prilagođavati promjenama opterećenja u mreži. Takva karakteristika nije utjecala na njezino iskorištavanje sve dok su se njezinom energijom opskrbljivale lučne peći, jer je njihovo opterećenje konstantno. Uključivanjem hidroelektrane Manojlovac u elektroenergetski sistem, ma kako on u prvom momentu bio mali, bilo je neophodno stvoriti mogućnost akumuliranja makar i malog volumena vode. To je tada i ostvareno izgradnjom poprečnog zida visine oko 1 m preko korita Krke neposredno nizvodno od zahvata hidroelektrane. Ostvaren je akumulacijski bazen volumena oko 375.000 m^3, pa se opterećenje hidroelektrane Manojlovac moglo koliko-toliko prilagoditi potrebama potrošača.

Ta sposobnost hidroelektrane Manojlovac postala je još korisnija nakon prijelaza na paralelni rad i s hidroelektranom Kraljevac, što je postalo moguće nakon izgradnje dalekovoda 110 kV između HE Kraljevac i transformatorske stanice Lozovac (1948. godine). Taj je dalekovod tada stavljen u pogon s naponom 60 kV. U tom tako for-

miranom elektroenergetskom sistemu Dalmacije hidroelektrana Manojlovac bila je jedina hidroelektrana koja je imala akumulacijski bazen, jer su HE Kraljevac i HE Jaruga protočne hidroelektrane bez ikakve mogućnosti akumuliranja vode.

U času prijelaza na paralelni rad spomenutih triju hidroelektrana nije u mreži postojao nijedan regulacijski transformator, pa se sva potrebna regulacija napona vršila u elektranama. HE Kraljevac morala je održavati napon prema potrebama potrošača u Splitu, pa se napon na sabirnicama transformatorske stanice Lozovac morao regulirati promjenom jalove snage u vodu Kraljevac—Lozovac, što je bilo moguće povećanjem ili smanjenjem proizvodnje jalove energije u hidroelektrani Manojlovac.

Oprema u hidroelektrani Manojlovac izdržala je više od 40 godina u vrlo teškim pogonskim uvjetima (česti kvarovi vrlo česta obustavljanja i stavljanja u pogon). Ona je dotrajala, pa je bilo neophodno pristupiti temeljitoj rekonstrukciji. Ona je započela 1952, a završena 1956. godine. Sva je stara oprema zamijenjena novom, ali građevni objekti nisu rekonstruirani, pa oni i danas služe svrsi za koju su građeni prije više od 70 godina.

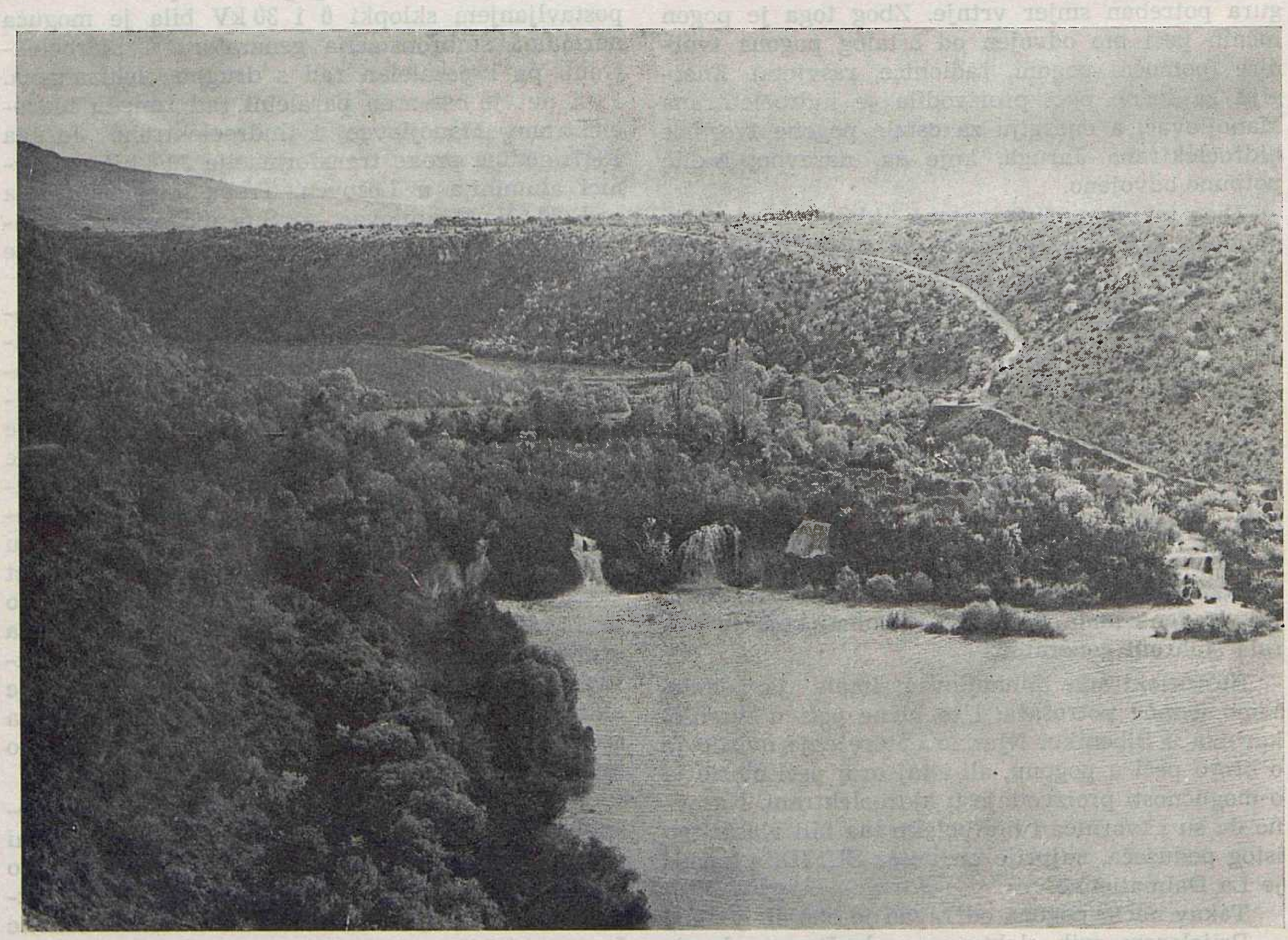
II. REKONSTRUKCIJA HE MANOJLOVAC NAKON 50 GODINA RADA (1906—1956)

1. Opis starog postrojenja i potreba obnove HE Manojlovac

Hidroelektrana Manojlovac puštena je u redovan pogon 1906 godine. Koristi se vodom Krke kod slapa Miljacke s padom od 105 m. Elektrana je derivacijskog tipa s dovodnim gravitacijskim tunelom dužine 1620 m.

Iznad gornjih slapova Miljacke niska pregrada je skretala vodu u tunel. Na izlazu iz tunela postavljene su dvije preljevne komore, na koje se vežu po dva cjevovoda. Četiri tlačna cjevovoda, svaki dug 168 m i promjera 1600 mm, bila su direktno vezana, bez ikakvog zatvarača, na dvostruke Francisove turbine (koje je izvela tvornica Ganz iz Budimpešte).

Generatori (također proizvedeni u Ganzu) ibili su snage 6000 kVA, 420 °/min, 42 Hz s generatorskim naponom 30 kV (jedini te vrste u Evropi). Generatori su preko sabirnica bili vezani na 30 kV dalekovod za Lozovac, koji je bio jedini potrošač HE Manojlovac.



Sl. 1. Gornji slapovi Miljacke

Čitavo rasklopno postrojenje bilo je smješteno u trokatnom tornju.

Elektrana nije bila zaštićena bilo kakvom zaštitom.

U takvim uvjetima elektrana je radila do 1947. godine, kad su generatori prespojeni na napon od 6,3 kV, i ugrađen transformator 30/6,3 kV snage 16.000 kVA. Prespajanje gneratora zahtijevalo je izmjene rasklopnog postrojenja. Jednopolne sklopke su zamijenjene ekspanzijskim na pneumatski pogon. Ugradnjom potrebnih aparata i instrumenata omogućena je normalna sinhronizacija.

Pogon se i dalje odvijao s poteškoćama. Proces starenja i loša zaštita učinili su da je izolacija generatora bila nesigurna, tako da su često izgarali namoti generatora.

S hidroopremom je bilo nešto bolje: jednostavnost izvedbe nije omogućavala kvarove. Na hidroopremu je znatan utjecaj imalo taloženje sedre. Voda Krke je bogata velikom količinom sedre koja se taloži stijenkama tunela i cjevovoda te im smanjuje presjek, te stvara velike probleme strojevima.

Ovakvo teško stanje pogona, osim toga smanjeni kapacitet elektrane od 19 MW na 7,4 MW, zahtijevali su hitnu rekonstrukciju. Taj zahtjev je ubrzao paralelni rad elektrane u dalmatinskoj energetskoj mreži, gdje je nagli razvoj industrije i elektrifikacije stvorio tešku oskudicu električne energije.

2. Obnova elektrane

Završetkom rata zatečena su u elektrani tri agregata (agregat IC demontirali su Talijani za vrijeme rata u namjeri da rekonstruiraju elektranu).

Godine 1947. prespojeni su generatori na napon 6,3 kV, i broj okretaja je povećan na 500 °/min da bi se dobilo 50 Hz.

U međuvremenu je sklopljen ugovor za rekonstrukciju s tvornicom Ganz. Rekonstrukcija je trebala obuhvatiti uglavnom slijedeće:

1. Na četiri tlačna cjevovoda trebalo je izmijeniti dijelove koji su korodirali.

2. Od agregata trebalo je zadržati osovinu, aspiratore turbina, postolja za ležajeve s temeljnim pločama, ostalo izmijeniti.

3. Generatore vezati u blok spoj s transformatorima.

4. Na početku tlačnih cjevovoda ugraditi brze zatvarače.

5. Trebalo je izgraditi nov kućni agregat od 100 KS.

Radi rekonstrukcije bile su otpremljene u tvornicu Ganz osovine II C grupe. Tvornica Ganz je isporučila samo dio cijevi za popravak I D i II D tlačnog cjevovoda, a zbog blokade Jugoslavije od

Sl. 2. Pogonska zgrada i tlačni cjevovod nakon obnove

strane zemalja Imformbiroa došlo je do obustave dalje isporuke opreme.

Nakon toga donesena je odluka da se izvrši najnužnija rekonstrukcija HE Manojlovac domaćim snagama, koja bi omogućila elektrani da radi još 10 godina, dok se ne izgradi HE Manojlovac II, koja bi imala zahvat nad Bilušić Bukom, a strojarnicu oko 0,5 km nizvodno od današnje strojarnice HE Manojlovac.

Na temelju te odluke prišlo se rekonstrukciji grupe II C. U toku radova na rekonstrukciji pokazalo se da ovakva zamišljena rekonstrukcija ne bi dala željene rezultate, te je odlučeno da se napusti rekonstrukcija starih agregata i da se HE Manojlovac opremi novim strojevima (osim grupe II C na kojoj je obnova prilično napredovala, te je rekonstruirana i montirana na svoje prijašnje mjesto; tlačni cjevovod grupe II C je rekonstruiran materijalom koji je isporučila tvornica Ganz).

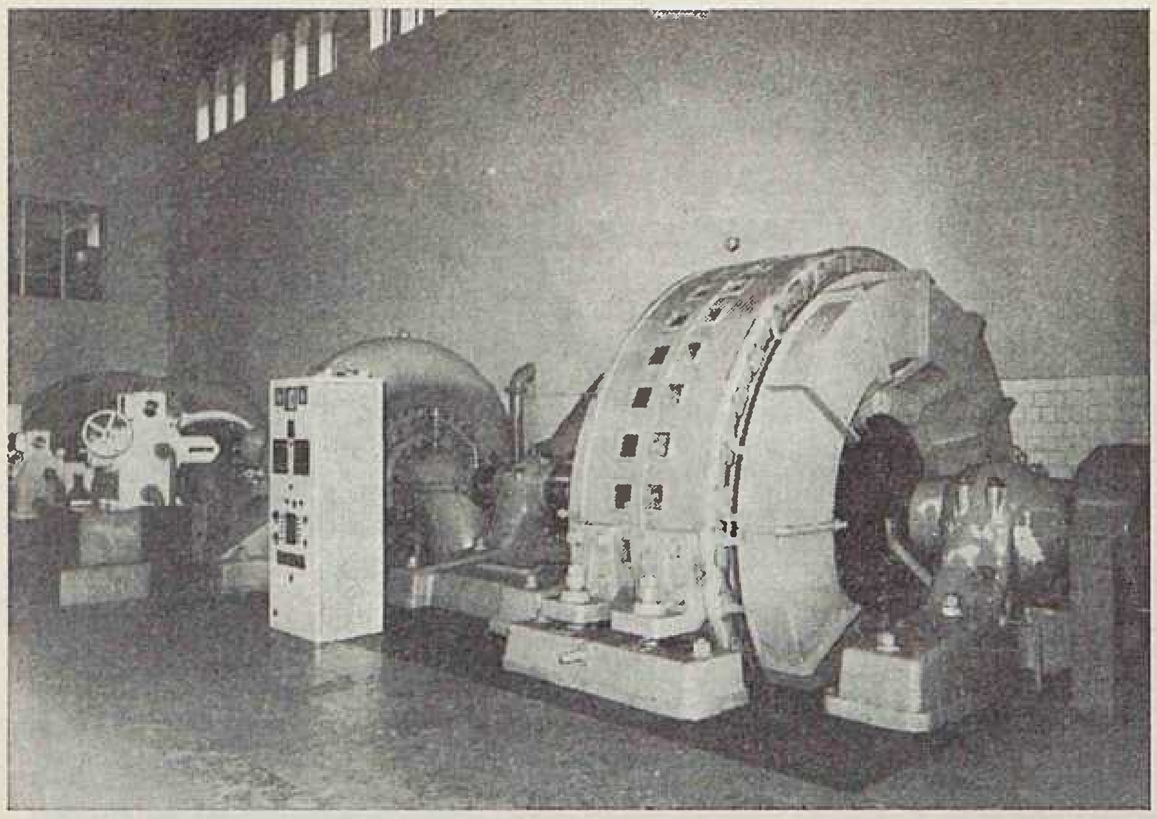
Obnovom se dobila potpuno nova elektrana, rekonstrukcijom objekata kako slijedi:

2.1. Građevni dio obnove HE Manojlovac

Obnova građevnog dijela elektrane, vršena je prema projektima »Elektroprojekta«, Zagreb (osim zgrade rasklopnog postrojenja).

B r a n a. Akumulacijski prostor stare elektrane iznosio je 75.000 m³, i nije pružao mogućnost dnevnog izravnanja. Nadvišenjem brane za 85 cm akumulacijski prostor je povećan za 300 000 m³.

T u n e l. Na dovodnom gravitacijskom tunelu nisu vršeni radovi. Tunel je dug 1620 m, većim dijelom je neobložen, osim na slabijim mjestima gdje je osiguran svodom od opeka ukupne dužine 240 m. U toku 50-godišnjeg rada profil tunela (predviđen za protok od 24 m³/sek) znatno je smanjen naslagama sedre. Mjerenjem se ustanovilo da kapacitet neočišćenog tunela iznosi 24 m³/s, te se nije prišlo čišćenju.



Sl. 3. Unutrašnjost strojarnice nakon obnove

Vodne komore. Dovodni tunel se na kraju dijeli i nadovezuje na dvije odvojene preljevne vodne komore. Stanje vodnih komora zahtijevalo je temeljitu obnovu, koliko je to bilo moguće s obzirom na njihov oblik i konstrukciju.

Umjesto odbačenih segmentnih zapornica ugrađeni su automatski i ručni leptirasti zatvarači na samim cjevovodima. Oni su smješteni u prigradnji, izvedenoj u armiranobetonskoj konstrukciji djelomično naslonjenoj na zid vodne komore s kranskom stazom za dizalicu od 7 tona nosivosti.

Tlačni cjevovodi. Tri tlačna cjevovoda su potpuno nova u varenoj konstrukciji, a jedan je obnovljen od starih dijelova u djelomično zakivnoj i varenoj konstrukciji. Dužina cjevovoda je 168 m, promjer 1600 mm. Trasa cjevovoda je ista, ali u visinskom pogledu kod novih cjevovoda nešto izmijenjena u donjem dijelu zbog ugradnje predturbinskih zatvarača.

Strojarnica. Strojarnica je doživjela temeljitu obnovu. Obnovljeno je odnosno napravljeno novo:

- Temelji za tri nova generatora.
- U čitavoj strojarnici izveden je pod u armirano-betonskoj konstrukciji.
- Podrum ispod strojarnice je nasipan do kote 77,8 m. n. m., tj. iznad kote normalno velikih voda i uređen te služi za smještaj kabela i cijevi rashladnog uređaja.
- U obnovljenoj niskoj prigradnji smještene su pomoćne prostorije.

Rasklopno postrojenje. Zgrada rasklopnog postrojenja smještena je u produženju strojarnice. Projektirana je prema idejnom projektu tvornice Ganz, i izvedena 1949. godine kao prvi objekt obnove (poslije prekida sa Ganzom unutarnje prostorije su projektirane prema novom rješenju). Na slobodnom prostoru iza zgrade rasklopnog postrojenja postavljeni su bloktransformatori.

Produbljenje korita Krke i uređaja izlaza vode. Odvodni kanali su popravljeni, a izvan zgrade osigurani potpornim betonskim zidovima, uz to je korito Krke produbljeno.

2.2. Elektrostrojarski dio obnove HE Manojlovac

Strojarnica. U strojarnicu su smještena četiri horizontalna agregata s dvostrukim Francis turbinama.

Tri agregata su nova, a jedan je stari obnovljen.

Tehnički podaci novih agregata:

Snaga turbina	9150 KS
Broj okretaja	500 o/min
Konstruktivni neto pad	102 m
Instalirani protok	8 m³/s
Snaga generatora	8000 kVA (cofφ = 0,8)
Napon	6300 V ± 5 %, 50 Hz
Broj okretaja	500 o/min
Zamašni moment	$gD^2 = 50$ tm²

Tehnički podaci rekonstruiranog agregata:

Snage turbine	oko 5500 KS
Broj okretaja	500 o/min
Konstruirani neto pad	102 m
Instalirani protok	5,2 m³/s
Snaga generatora	oko 6000 kVA (cosφ = 0,8)

Blok transformatori za sve agregate su jednaki i slijedećih karakteristika:

Snaga transformatora	8000 kVA
Odnos prijenosa	6300/35000 + 5%—10% V
Hlađenje	zrakom
Grupa spoja	Yd5
Napon kratkog spoja	$U_k = 7\%$

U generatorske jame novih agregata smješteni su hladionici zraka, a uz ove jame nalazi se prostor za smještaj opreme nul-točke.

Stara mosna neelektrificirana dizalica zamijenjena je novom nosivosti 35 t.

Nove turbine opremljene su kuglastim zatvaračem na vodni servomotor, a rekonstruirana turbina nema predturbinskog zatvarača.

Uzduž nizvodne fronte strojarnice smještene su radionice, kancelarije, spremište ulja, kućni agregat, garderobe i dr.

2.2.2. Rasklopno postrojenje 30 i 10 kV

U prigrađenu novu zgradu rasklopnog postrojenja također je smještena komanda, akumulatorska baterija i kompresorski uređaj.

U prvom katu zgrade nalazi se rasklopno postrojenje 30 kV i 10 kV te komanda.

2.3. Pomoćni uređaji i pogoni

Kućni agregat je obnovljeni stari snage oko 40 KS.

Od pomoćnih uređaja ugrađeni su:

— uređaj za rashladnu vodu
— uređaj istosmjerne struje
— uređaj komprimiranog zraka
— uljno gospodarstvo
— radionice
— telefonski i telemetarski uređaji
— vodni otpor
— uobičajena električna zaštita.

Dobavljači opreme.

Generatore, jedan od blok-transformatora, mrežne i kućne transformatore, opremu komandne prostorije i jedan dio visokonaponske opreme isporučila je tvornica »Rade Končar«. Rekonstrukciju starog generatora izvela je također ta tvornica.

Turbine s priborom, preturbinske zatvarače i leptiraste zatvarače izradila je tvornica »Litostroj«.

Tri blok-transformatora isporučila je tvornica »ELIN« iz Austrije, a učinske sklopke, mjerne transformatore, releje i dr. isporučile su razne talijanske tvornice (»Magrini«, »C. G. S.« i dr.)

Montažu sve opreme izvršila je »Hidromontaža« iz Maribora.

He Manojlovac je bila potpuno dovršena u jesen 1955. godine.

III. MOGUĆNOSTI DALJNJEG KORIŠTENJA KRKE I ZRMANJE U ENERGETSKE SVRHE

1. Uvod

Poznato je da naša zemlja raspolaže velikim fondom voda i da je u usporedbi s drugim zemljama veoma bogata vodom. Takav fond voda pruža široke mogućnosti korištenja svim našim privrednim granama i drugim društvenim djelatnostima, ali na žalost, prouzrokuje često značajne štete poplavama s obzirom na vrlo različit i vrlo nepovoljan raspored protjecaja u toku godine.

Izgradnjom akumulacijskih bazena u gornjim i srednjim tokovima vodotoka postižu se ove koristi:

— zadržavanjem velikih vodnih valova u akumulacijskim bazenima štite se od poplava i oštećenja nizvodna naselja, poljoprivredne površine, industrijski, prometni i drugi objekti;

— sezonskim, odnosno godišnjim izravnanjem protoka omogućuje se kompleksno i racionalno korištenje u toku godine. Naime, prebacivanjem voda iz mokrog razdoblja u sušno prebacuje se i proizvodnja električne energije, omogućava se navodnjavanje, opskrba vodom naselja i industrije, plovidba, prihvaćanje otpadnih voda i dr.;

— koncentracijom pada na vodotocima, izgradnjom brana i akumulacija, stvaraju se uvjeti za izgradnju hidroelektrana velikih snaga sa zadaćom pokrivanja varijabilnog dijela dijagrama opterećenja, gdje za sada predstavljaju najekonomičnija rješenja.

Unatoč spomenutim očitim koristima koje proizlaze iz izgradnje hidroelektrana, treba istaći da je od 1965. godine usporen tempo korištenja preostalog dijela raspoloživog hidropotencijala iz ovih razloga:

— neadekvatnog financiranja izgradnje. Naime, do 1965. godine izgradnja hidroelektrana financirana je sredstvima Općeg investicionog fonda na 50 godina i 2% kamata, a od 1965. kreditima iz oročenih sredstava privrede na 15 godina i 6,5% kamata ili uz još teže uvjete. U ovom drugom slučaju, hidroelektrane, koje predstavljaju inače investicijski skuplja rješenja od termoelektrana, postaju nepovoljne. Prednost hidroelektrana u dvostruko duljem vijeku trajanja ne valorizira se.

— neadekvatnog udjela u financiranju izgradnje ostalih interesenata u korištenju vodotoka.

— otkupa zemljišta na kojem se proteže objekat po sadašnjem Zakonu o eksproprijaciji, odnosno odredbama ovog Zakona o pravednoj naknadi, što se često zloupotrebljava i znatno poskupljuje svaku hidroelektranu.

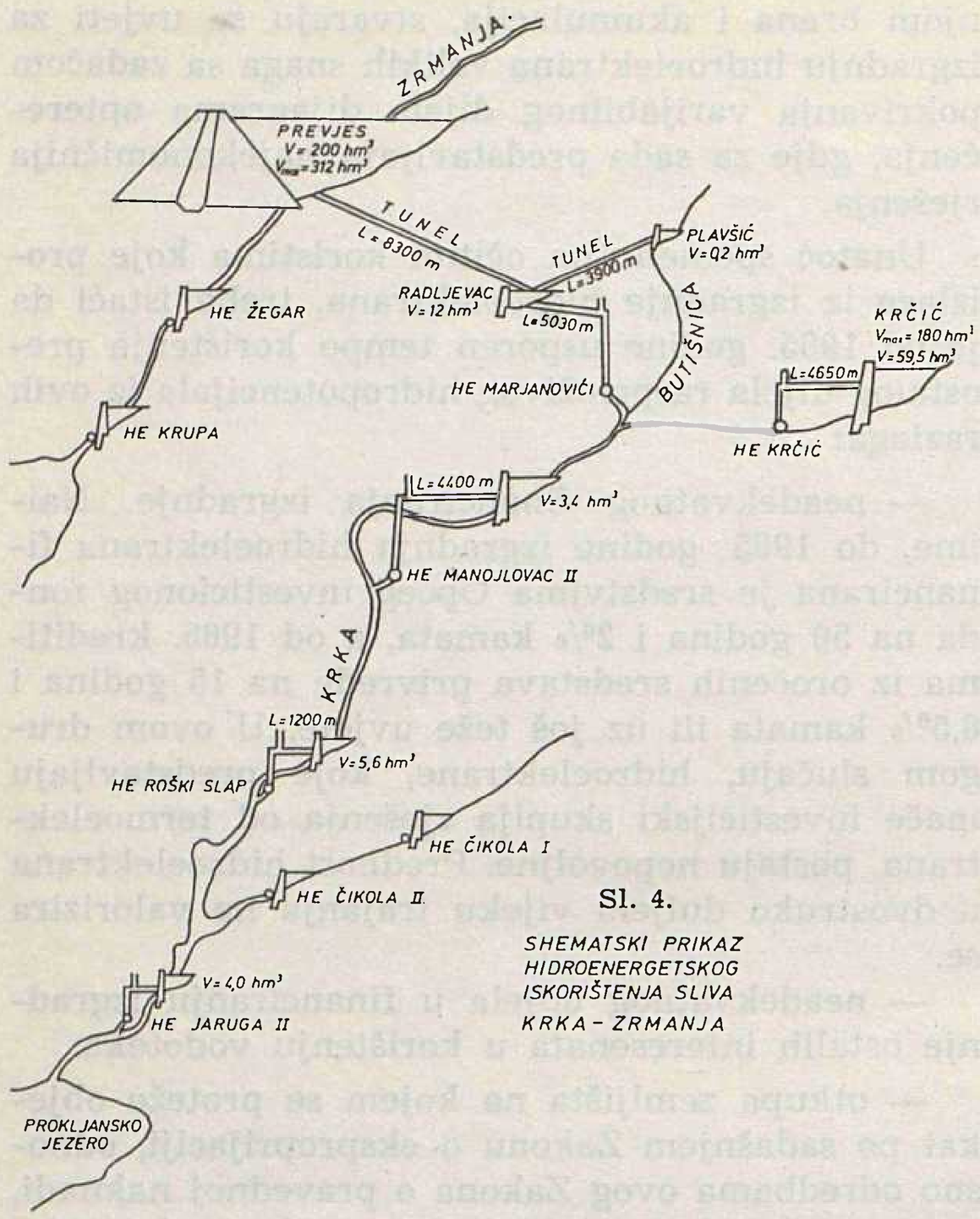
Međutim, i u tako nepovoljnim uvjetima položaj hidroelektrana se mijenja nakon energetske krize, koju karakterizira nagli porast cijena fosilnih goriva. S druge strane, izgaranje fosilnih goriva ima za posljedicu zagađenja zraka i vode. Ograničenja u tom smislu poskupljuju i nadalje će poskupljivati izvedbu klasičnih termoelektrana uz činjenicu da su rezerve fosilnih goriva ograničene.

U tablici 1, gdje su prikazana predviđanja proizvodnje električne energije za cijeli svijet u cjelini (Lit. 1), vidi se da se za kraj ovog stoljeća predviđa rješenje s nuklearnim elektranama, kojeg prati, iako neznatan, ali stalan porast proizvodnje u hidroelektranama.

u TWh — Tablica 1.

Geoekonomsko područje	Godina	HE	NE	Ukupno
Cijeli svijet	1970.	1 176	77	4 923
	1980.	1 730	1 800	9 500
	1985.	2 150	4 000	13 500
	1990.	2 600	7 700	17 300
	2000.	3 400	21 000	31 000

Za prilike u SR Hrvatskoj, u kojoj zapravo osim hidropotencijala i nema (barem za sada) značajnih rezervi primarnih izvora energije za proizvodnju električne energije, očito je da iskorištenje preostalog hidropotencijala, kao jedinog vlastitog izvora predstavlja nepogrešivu orijentaciju, i to



Sl. 4.

SHEMATSKI PRIKAZ HIDROENERGETSKOG ISKORIŠTENJA SLIVA KRKA - ZRMANJA

ubrzanijim tempom nego u posljednjih 10 godina i ne samo iz ovog razloga. Ta orijentacija, naravno do ekonomski iskoristivog, osim što se koristi vlastitim izvorima, omogućuje zapošljavanje građevinarstva i domaće strojogradnje, s obzirom na to da hidroelektrane gradimo 100% vlastitim snagama, znatnije rješava probleme poplava, navodnjavanja, vodoopskrbe i postiže niz drugih sekundarnih efekata.

2. Ukupni, u izgradnji i neiskorišteni hidropotencijal u SR Hrvatskoj

Ukupni hidropotencijal u SR Hrvatskoj ocijenjen je na 12000 GWh. Moguća proizvodnja postojećih hidroelektrana iznosi 5600 GWh s današnjim stanjem izgrađenosti. Programom razvoja 1976—1980. godine predviđena je i već otpočela izgradnja triju hidroelektrana, i to:

— HE Zakučac II (moguće proizvodnje 330 GWh);
— HE Čakovec (moguće proizvodnje 410 GWh) i
— HE Obrovac (moguće proizvodnje 440 GWh,

što predstavlja daljnje iskorištenje od 1180 GWh. Prema tome, neiskorišteni hidropotencijal u SR Hrvatskoj iznosi još 5090 GHh.

Na osnovi današnjeg stanja izvršenih studija i istraživanja i razrađene projektne dokumentacije, a to su uglavnom idejne studije, idejna rješenja (rjeđe idejni projekti) neiskorišteni hidropotencijal, izražen u prosječnim mogućim proizvodnjama, po pojedinim vodotocima, iznosi:

— Drava	1780 GWh
— Sava	1000 GWh
— Krka s Čikolom	765 GWh
— Lika	450 GWh
— Kupa	340 GWh
— Dobra	190 GWh
— Mrežnica	160 GWh
— Korana	140 GWh
— Cetina	140 GWh
— Zrmanja	75 GWh
— Rječina	50 GWh
Ukupno	5090 GWh

Zajednička karakteristika preostalog hidropotencijala je ta da su to postrojenja s nižim padovima, pa, prema tome, manjim snagama i proizvodnjama, odnosno ekonomski nepovoljnija u odnosu prema izgrađenim postrojenjima — što je uostalom i logično — međutim, što ne znači da dobar dio preostalog hidropotencijala, nakon energetske krize, odnosno naglog porasta cijena goriva, nije konkurentan termoelektranama.

Nadalje, ova postrojenja su na vrlo niskom stupnju razrađenosti projektne dokumentacije. Daljnje studije i istraživanja te projektiranje, što bi trebalo ubrzati osiguranjem dovoljno sredstava za ovu svrhu, vjerojatno će izmijeniti neka od rješenja na pojedinim vodotocima.

Preostali neiskorišteni hidropotencijal u Hrvatskoj moguće je iskoristiti na dva načina:

Prvi, koji bi polazio sa stajališta kompleksnog korištenja pojedinog vodotoka, tj. od optimalnog ukupnog interesa svih zainteresiranih — vodoprivrede, poljoprivrede, elektroprivrede i prometa. Ovakav pristup, naravno uz odgovarajuće sudjelovanje (razmjerno interesima) svih zainteresiranih u financiranju projekta, sigurno bi proširio interes elektroprivrede, jer bi se na taj način povećao ekonomski — iskoristivi hidropotencijal.

Drugi, koji bi polazio od izgradnje manjih hidroelektrana korištenjem koncentriranog pada (bez većih derivacija, odnosno bez većih građevnih radova) i prirodnog protoka (bez akumulacijskih jezera). Na taj način ne mijenja se prirodni režim vodotoka, odnosno ne rješavaju se problemi vodoprivrede i poljoprivrede, nego se isključivo polazi od korištenja u energetske svrhe.

3. Hidroenergetski potencijal Krke i Zrmanje

Iako Krka nije velika rijeka ni po duljini ni po protoku, ona spada, zbog stvaranja sedrenih barijera — kaskada u vrlo interesantne rijeke za energetsko korištenje. Otuda jedna od prvih hidroelektrana izgrađenih u našoj zemlji — HE Jaruga snage 300 kVA na Slapovima Krke — 1894. godine. Malo kasnije, 1906. godine, već je druga hidroelektrana u pogonu — HE Manojlovac — ko-

ja je po instaliranoj snazi od 26000 kVA tada spadala u vrlo velike hidroelektrane. Ovaj rani početak korištenja energetskog potencijala rijeke Krke nije i nastavljen, iako se studije o daljnjem korištenju pojavljuju najprije 1952. godine, zatim 1964. i na kraju 1974. godine.

Prema ovom posljednjem idejnom rješenju energetskog korištenja rijeka Krke i Zrmanje, koje uključuje i prevođenje dijela voda Zrmanje u Krku izgradnjom akumulacije Prevjes (idejni projekat), moguće je dobiti 840 GWh u nizu manjih hidroelektrana, što predstavlja oko 17% od preostalog neiskorištenog hidropotencijala u Hrvatskoj, koje su prikazane shematski (sl. 4), odnosno tablično (tablica 2).

Tablica 2

Postrojenje	Hnsr (m)	Q_i (m^3/s)	P_j (MW)	Ukup. god. (GWh)
HE Krčić	187	20	28,3	70
HE Marinovići	84	40	24,7	89
HE Manojlovac II	136	100	102,5	273
HE Roški Slap	30	110	24,2	70
HE Jaruga II	45	160	55,6	190
HE Čikola I	35	8	2,4	10
HE Čikola II	155	10	10,8	64
HE Žegar	62	14	6,6	22
HE Krupa	32	50	12,2	52

Najuzvodnije hidroelektrane — Krčić i Marjanovići — imaju godišnje akumulacije koje im, kao i nizvodna, s tjednim ili dnevnim izravnanjem, omogućavaju instalaciju većih snaga i rad u vršnim opterećenjima dnevnog dijagrama.

Posljednja studija (1974. godine) posebno je obradila, uz stanovita dodatna istraživanja, samo prvih pet hidroelektrana kao ekonomičnija rješenja, tj.:

1. HE Krčić
2. HE Marjanovići
3. HE Manojlovac II
4. HE Roški Slap I
5. HE Jaruga II, pa će se o tih pet hidroelektrana dati kraći opisi i još neki podaci i parametri.

HE Krčić

Izgradnjom brane 4,5 km uzvodno od vodopada Krčić stvara se akumulacija od 59,5 milijuna m^3. Tunelom od brane do vodopada Krčić, gdje je smještena strojarnica hidroelektrane, dovodi se voda do strojarnice, čime se dobiva pad od 187 m, odnosno snaga od 28,0 MW i moguća proizvodnja od 70 milijuna kWh. Ovdje treba napomenuti efekte ove akumulacije. Naime, ova akumulacija omogućuje akumuliranje velikog dijela prirodnog protoka, posebno velikih voda. Na taj način akumuliranjem velikih vodnih valova Krčića, koji su istodobni s velikim vodnim valovima Krke, ovi posljednji ostaju manji upravo za uhvaćeni vodni val Krčića, čime će vjerojatno biti eliminirane svakogodišnje poplave Knina, posebno donjeg dijela grada. O prebacivanju akumulirane vode u vrijeme ljetnih malih voda i na taj način obogaćivanju Krke, kao i o energetskoj vrijednosti ove akumulacije ne treba posebno govoriti.

Potrebne investicije su 561 milijun dinara
Specifične investicije su 8,04 dinara/kWh
19814 dinara/kW

HE Marjanovići

Izgradnjom brane Prevjes stvara se akumulacija od 200 milijuna m^3 u gornjem toku Zrmanje. Manjim branama na Radljevcu, odnosno Butišnici stvaraju se male akumulacije na gornjim tokovima tih dvaju vodotoka. Tunelom Prevjes—Radljevac, odnosno Plavšić—Radljevac dovode se vode iz tih dviju akumulacija u akumulaciju Radljevac, a odatle tunelom do strojarnice Marjanovići. Na padu od 86 m dobiva se snaga od 24,7 MW i proizvodnja od 88 milijuna kWh.

Potrebno je napomenuti da je ovo rješenje samo za sebe skupo. Međutim, zbog utjecaja na svim nizvodnim hidroelektranama postaje interesantno. I ovdje vrijede iste napomene kao i kod Krčića u pogledu smanjivanja velikih vodnih valova, kao i obogaćivanje Krke u vrijeme malih voda. Energetska vrijednost akumulacije Prevjes je značajna, kako za HE Marjanovići, tako i za sve nizvodne hidroelektrane s obzirom na potrebe elektroenergetskog sistema.

Potrebne investicije su 1032 milijuna dinara,
Specifične investicije su 11,60 dinara/kWh
41800 dinara/kW.

HE Manojlovac II

Ova hidroelektrana obuhvaća pad postojeće hidroelektrane Manojlovac I koja je inače nedovoljno instalirana, te pad Bilušić-Buka, što ukupno čini 137,7 m u odnosu na pad Manojlovca I od 100 m.

Zahvatom iznad Bilušić-Buka stvara se akumulacija od 3,4 milijuna m^3. Tunelom do strojarnice, smještene 500 m nizvodno od postojeće, koristi se spomenuti pad od 137,7 m, čime se dobije snaga od 102,5 MW i godišnja proizvodnja od 273,3 milijuna kWh.

Potrebne investicije su 646 milijuna dinara,
Specifične investicije su 2,37 dinara/kWh
5278 dinara/kW.

HE Roški slap

Hidroelektrana Roški slap koristila bi se padom Krke koncentriranim na mjestu istoimenog slapa.

Nešto uzvodnije od slapa, da bi se izbjeglo fundiranje brane u sedri, lociran je zahvat. Pomoću betonske gravitacijske brane stvara se akumulacija od 5,6 hm³, odakle se tlačnim tunelom i cjevovodom dovodi voda do strojarnice.

Potrebne investicije su 306 milijuna dinara
Specifične investicije su 4,47 dinara/kWh
12640 dinara/kW.

HE Jaruga II

Hidroelektrana Jaruga je posljednje postrojenje u toku Krke, a koristilo bi se koncentriranim ukupnim padom, za razliku od postojeće HE Jaruga I koja se koristi 50% padom na Skradinskom buku (slapovi Krke).

Uzvodno od slapova predviđena je izvedba niskog nasutog praga s krunom, čime se postiže 4,3 hm³ korisnog volumena. Uz desnu obalu predviđena je ispusna splavnica radi ispuštanja 5 m³/s voda za održavanje slapova i za pražnjenje akumulacije.

Iz akumulacije, u kojoj se dopušta oscilacija vode od samo 0,50 m, odvodi se voda tlačnim tunelom i cjevovodima do strojarnice na desnoj obali Krke, nizvodno od slapova.

Potrebne investicije su 465 milijuna dinara,
Specifične investicije su 2,46 dinara/kWh
8361 dinara/kW.

Ukupne investicije za svih pet hidroelektrana iznose 3 milijarde dinara, a ukupna proizvodnja oko 700 mln kWh, što uz godišnju troškovnu kvotu od 14% daje prosječnu proizvodnu cijenu električne energije od 60 p/kWh ne računajući sa sufinanciranjem ostalih interesenata i sa sekundarnim efektima.

4. Poteškoće koje usporavaju realizaciju energetskog korištenja Krke

Izostavljajući u uvodu spomenute probleme, koji općenito prate izgradnju hidroelektrana, ovdje će biti spomenuta jedna teškoća koja je specifičnost rijeke Krke. Naime, Krka je zaštićena kategorijom »rezervata prirodnog predjela«, pa za izgradnju hidroelektrana treba pribaviti prethodnu dozvolu Zavoda.

U nizu kontakata sa Zavodom otvorena je mogućnost izgradnje novih elektrana, ali uz nužno ispuštanje određenih količina vode preko postojećih slapova zbog očuvanja sedrenih barijera. Tim zahtjevima o količinama vode koje se ne bi mogle koristiti u energetske svrhe (znatno veće količine od uobičajenih bioloških minimuma) dovodi se u pitanje ekonomičnost elektrana. Može se reći da je to jedan od glavnih razloga zbog čega se pristupilo proučavanju prevođenja dijela voda Zrmanje u Krku.

U posljednje vrijeme postavljen je problem Krke, odnosno položaj i tretman ovog vodotoka i šire, pa treba vjerovati da će akcija koja je u toku riješiti ovaj dugogodišnji problem.

5. Zaključak

Sveobuhvatno korištenje jednog vodotoka je širi društveni interes, pa otuda i interes da se riješi položaj i tretman rijeke Krke u što kraćem roku, uključujući i energetsko korištenje kao sastavni dio obrane od poplava i vodoopskrbe, kako bi se moglo nastaviti s istraživanjem i projektiranjem bilo komplesnih rješenja (prvi način korištenja), bilo parcijalnih rješenja (drugi način energetskog korištenja).

Autori:
dr. Hrvoje Požar — I dio
Mile Previšić — II dio
Nikola Bilčar — III dio

NAGRAĐEN FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE U SPLITU

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) u Splitu nagrađen je ovogodišnjom nagradom grada Splita za naročite uspjehe postignute u znanosti. U ovome je glavnu ulogu odigrala suradnja s privredom. Kako se ta suradnja najvećim dijelom odnosi na suradnju s Elektroprivredom, za čitatelje ovog časopisa je interesantno s kojim elektroprivrednim organizacijama i na kojim područjima FESB surađuje.

Suradnja FESB (prije ETF Split) i elektroprivrede na području nastave datira od osnivanja fakulteta. Dugi niz godina stručni dio studija odjela elektroenergetike na FESB nije imao ni jednog stalnog nastavnika. Doprinos kadrova iz elektroprivrede na odvijanju nastave u tom razdoblju bio je velik, a i danas je znatan.

Drugi oblik suradnje FESB s elektroprivredom jest u naučnom radu. Prije više od 10 godina »Elektroprenos« Split počeo je tu suradnju narudžbom studije iz analize mreže. Tada su (1967. g. i 1968. g.) izrađeni programi za elektroničko računalo Z-23V iz područja kratkog spoja i tokova snaga.

Korak naprijed u zajedničkom naporu u prihvaćanju modernih sredstavava za analizu mreže i njihovu primjenu bio je prijelaz na veći računski sistem, i to IBM 1130. Elektroprivreda Dalmacije financirala je program iz područja dinamičke stabilnosti (1969. g.), a Elektroprenos iz područja kratkog spoja (1972. g.).

Slijedi razdoblje sve intenzivnije suradnje ne samo iz područja analize mreža. Suradnja fakulteta i elektroprivrede postala je obostrana potreba. U suradnju se uključuju i studenti diplomskim zadacima. Prije povezivanja FESB sa SRCEm »Elektroprenos« Split je pokrio troškove električkog računala za diplomske radove koji su se bavili analizom mreže Dalmacije.

Postoje i ostali oblici suradnje. Tako je poduzeće »Dalekovod« — Zagreb prošle godine financiralo ekskurziju studenata sa FESB u blizinu Imotskog, gdje se je u tom momentu vršila montaža užeta na DV 380 kV Mostar — Konjsko.

Glavni oblik suradnje danas jest izrada studija na FESB za potrebe elektroprivrede kojom se jača fond programa iz analize mreža za elektroničko računalo UNIVAC 1110 i popunjavaju praznine u laboratorijskoj opremi.

Vrše se analize prijenosne mreže Dalmacije u bližoj i daljnjoj budućnosti da bi se verificirali planovi razvoja mreže i dobila podloga za utvrđivanje parametara vodova i potsrojenja. Analiziraju se tokovi snaga i naponske prilike, dinamička stabilnost sinhronih strojeva i prilike u režimu kratkog spoja.

Dugoročna suradnja između FESB i Elektroprenosa Split predviđa se na osnivanju i izgradnji regionalnog visokonaponskog laboratorija u Splitu za potrebe fakulteta, elektroprivrede i ostale privrede, polazeći od spoznaje da se tako krupan pothvat može realizirati jedino udruživanjem interesa, kadrova i sredstava.

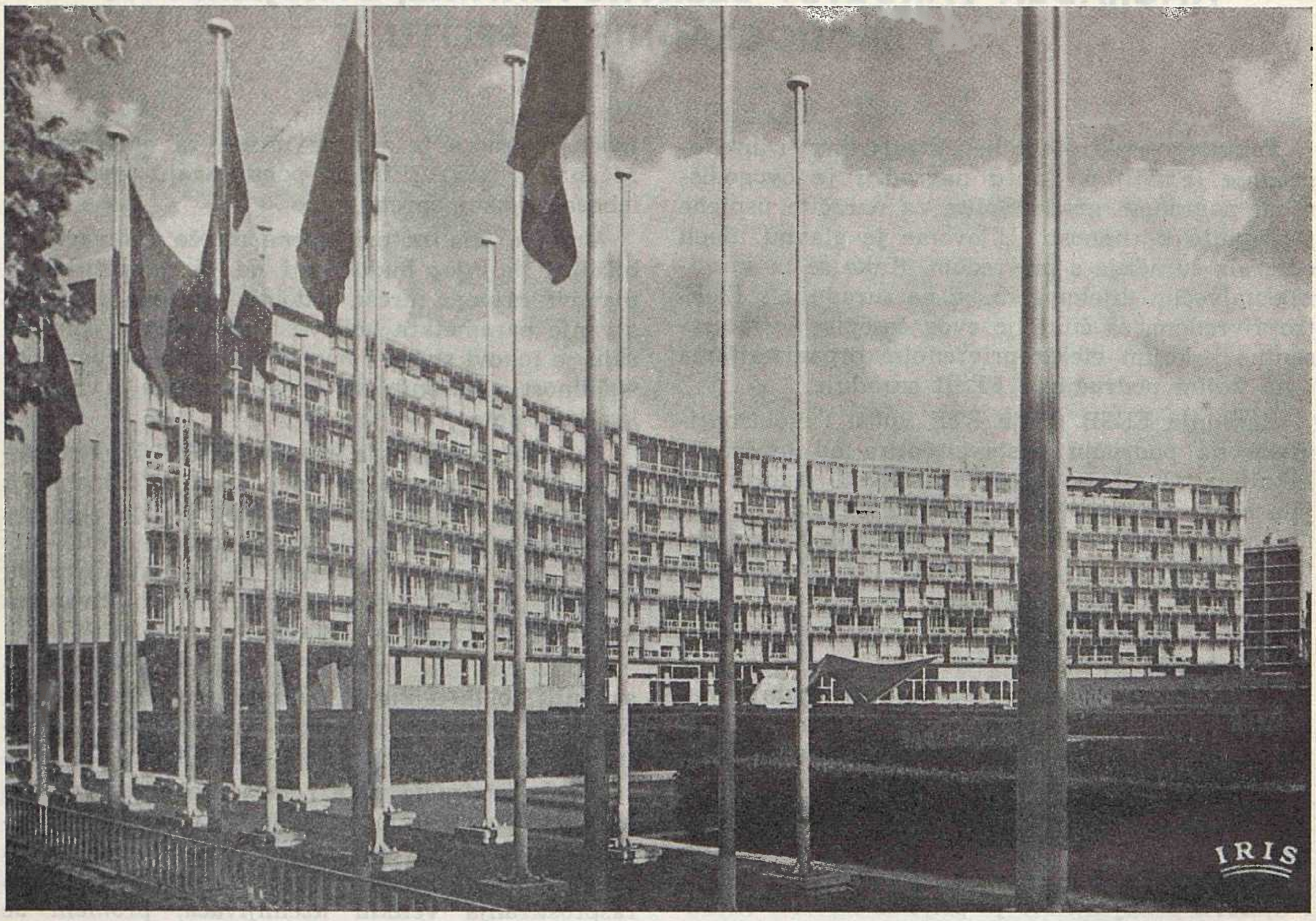
Obavljena su specijalna mjerenja i analize smetnji što ih u mreži Dalmacije izazivaju veliki ispravljači (više harmoničke frekvencije) i elektrolučne peći za taljenje željeza (flickeri).

Široko područje rada i suradnje otvorilo se je na području velikih uzemljivača elektroenergetskih postrojenja, elektrana i transformatorskih stanica. Osim složenog aspekta mjerenja otpora rasprostiranja velikih uzemljivača, problem se proširuje na optimiranje sistema uzemljenja, egzaktno modeliranje kod uzemljivača u nehomogenim sredinama itd.

Na kraju se može reći da je suradnja FESB s elektroprivredom već postala tradicionalna i da se ona samo iznimno ostvaruje u odnosu investitor-obrađivač, a najčešće tijesnom suradnjom svih kadrova koji u određenom pitanju mogu dati svoj doprinos.

Sve šira lepeza problema od interesa za elektroprivredu omogućuje da i sve veći broj tema za diplomske zadatke bude iz tog područja, pa se time i studenti sve više uključuju u stručni i naučni rad na konkretnim pitanjima, što je već bio slučaj i s nekim temama za magistarske radove i teze doktorskih dizertacija. Time se fakultet u cjelini postupno približava ciljevima što ih postavlja reforma obrazovanja kadrova.

M. O.



XXVI ZASJEDANJE CIGRE U PARIZU

Od 25. kolovoza do 2. rujna 1976. održano je u Parizu XXVI zasjedanje CIGRÉ (Conférence Internationale des grande Réseaux Électriques a haute Tension), Međunarodne konferencije za velike električne mreže visokog napona. Zasjedanja ove organizacije održavaju se svake dvije godine u Parizu. 1968. godine cijela se aktivnost odvija u vrlo lijepim, konfornim i klimatiziranim dvoranama palače UNESCO.

Broj sudionika prema broju prijava dosegao je 2156, no računajući da neki od prijavljenih nisu stigli, broj stvarno prisutnih može se procijeniti na oko 2100. Iz Jugoslavije je bilo oko 40 stručnjaka.

Svečano otvaranje bilo je 25. kolovoza poslije podne, a zatim se tokom slijedećih 7 dana odvijao rad po grupama simultano u dvije najveće dvorane palače UNESCO.

Za ovo je savjetovanje zaključeno da se u svakoj grupi vode diskusije vezane na tri prioritetne teme, koje je dao odnosni Studijski komitet, a o ostalim temama interesantnim za grupu, da se raspravlja na kraju u tzv. generalnoj diskusiji.

Govornici su podijeljeni u dvije vrste: oni s pripremljenom diskusijom, koju su prije pismeno predali Tehničkom sekretarijatu s pravom govora od 6 min, i spontani govornici za čije su izlaganje predviđene samo 3 minute. Neki predsjednici grupa su vrlo rigorozno provodili te zaključke.

Radne grupe su bile slijedeće:

11. Rotacioni strojevi
12. Transformatori
13. Sklopni aparati
14. Istosmjerni prijenos
15. Izolacioni materijali
21. Kabeli visokog napona
22. Nadzemni vodovi
23. Transformatorske stanice
31. Prijenosne mreže
32. Planiranje i pogon mreže
33. Prenaponi i koordinacija izolacije
34. Zaštita
35. Telekomunikacije
36. Perturbacije

Treba primijetiti da se o problematici mreža posljednji put diskutiralo u navedenim grupama. Ubuduće će se izvršiti promjene u grupama 31. i 32, a uvest će se nova grupa 41, kako slijedi:

31 : Planiranje mreža

32 : Pogon i upravljanje sistema

41 : Budući razvoj prijenosnih mreža i elektroenergetskih sistema.

Prvog rujna održana je generalna skupština CIGRE. Dan je izvještaj o radu i izabrani su novi članovi upravnog odbora.

Za vrijeme zasjedanja održan je niz tehničkih i turističkih ekskurzija. Osim toga, održana su dva službena prijema za sve sudionike i nekoliko posebnih koje su priredili nacionalni komiteti CIGRE pojedinih zemalja i neke velike elektroindustrijske firme.

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

Grupa 11. Generatori

Diskutiralo se ukupno o 10 referata, koji su bili svrstani u tri skupine prema prioritetnim temama.

Nova tehnika i pogonska iskustva s velikim generatorima

U vezi s novom tehnikom diskutirani su turbogeneratori bez utora i kriogeni generatori, tj. generatori čiji su rotorski namoti supravodljivi i rade pod temperaturom 4,5 — 5 K. Na primjeru četiriju hidrogeneratora potpuno hlađenih vodom, od kojih su dva u pogonu od 1966, iznesena su bogata pogonska iskustva. Također je referirano o velikim hidrogeneratorima 615 MVA za HE Grand Coulle i 310 MVA pumpne HE Rodund II.

Abnormalni pogonski uvjeti i njihov utjecaj na konstrukciju i pogon generatora u sistemu

Osnova za diskusiju o ovoj temi bio je referat Studijskog komiteta 11. Bitni su problemi bili ovi: rad generatora u poduzbudi, nesimetrično opterećenje velikih generatora, udarni kratki spoj, rad stroja prilikom kvara u krugu hlađenja i zaštita generatora.

Sistem uzbude velikih sinhronih strojeva

Raspravljalo se o nestabilnosti opaženoj u pumpnim elektranama pri motornom radu stroja i utjecaju regulatora. Zatim je dan prikaz sistema uzbude turbo i hidro generatora u SSSR-u. Raspravljalo se o samouzbudi i ulozi sistema brzog razbuđivanja generatora.

Grupa 12. Transformatori

U grupi je razmatrano 10 referata svrstanih u tri skupine:

Uvjeti izolacije transformatora u pogonu: metode kontrole i kriteriji potrebni za besprijekorno funkcioniranje

Raspravljalo se o dopuštenoj količini vlage u ulju i izolaciskom papiru, prilikom ispitavanja novog transformatora u tvornici i u trajnom pogonu. Razmatran je i problem parcijalnog pražnjenja u izolaciji.

Posebna je pažnja posvećena plinovima u ulju, njihovoj analizi, te procjeni stanja izolacije transformatora.

Regulacijske sklopke, novi razvoj zbog povećane pouzdanosti

Govorilo se o tehničkim poboljšanjima uređaja za regulaciju pod naponom i izneseni su statistički podaci o postignutom povećanju pouzdanosti.

Transformatori i reaktori za prijenosne uređaje istosmjerne struje visokog napona

Budući da su takvi transformatori i reaktori izloženi visokim naponima istosmjerne i izmjenične struje, i sklopnim i atmosferskim prenaponima, potrebno je primijeniti specifični način ispitivanja visokim ispitnim naponima. Metode takvih ispitivanja bile su predmetom ove diskusije.

Grupa 13. Sklopni aparati

Ova je grupa diskutirala o 9 referata čija je tematika svrstana u tri skupine prema prioritetnim temama. Diskutiralo se o:

Međusobnom utjecaju mreže i sklopke. Procjeni teškoće prekidanja uzimajući u obzir uvjete mreže i karakteristike sklopke, uključujući efekt serijski vezanih prekidnih komora. O mogućim smjernicama za izbor najpogodnijeg načina ispitivanja s obzirom na karakteristike sklopke i uvjete primjene.

Govorilo se o naponskim pojavama prilikom prekidanja mogućnosti i načinu ispitivanja sklopaka u laboratoriju, tj. o krugovima kojima se simulirajbu brze prijelazne pojave.

O prekidanju slabih induktivnih struja, laboratorijskim krugovima za usporedbu osobina različitih sklopaka, mogućnosti upotrebe rezultata ovakvih laboratorijskih ispitivanja radi utvrđivanja upotrebe takvih sklopaka za isključenje neopterećenih transformatora, transformatorima opterećenim reaktorima, reaktorima, motorima i slično.

O prekidanju istosmjernih krugova visokog napona, o uvjetima prekidanja u različitim istosmjernim sistemima, praktičkim rješenjima uređaja za isklapanje takvih krugova, ispitivanju sklopnih uređaja, mogućnosti primjene sklopnih uređaja istosmjerne struje visokog napona na principu uređaja izmjenične struje, tj. sklopkama sposobnim da prekidaju prije nego što struja padne na nulu.

Premda su do danas izvedeni istosmjerni prijenosni sistemi samo s dvije krajnje točke, u budućnosti će se sigurno izvoditi mreže s više od dva čvorišta, pa razvoj istosmjernih visokonaponskih sklopaka postaje interesantan.

Grupa 14. Istosmjerni prijenos

U ovoj grupi pretreseno re 8 ferata. Referati su podijeljeni u 4 grupe od kojih su prve tri u okviru prioritetnih tema, a četvrta je od općeg interesa i za one koji nisu specijalisti:

Opće informacije o pogonskim iskustvima postojećih istosmjernih visokonaponskih uređaja

Ovdje su za pojedina istosmjerna prijenosna postrojenja detaljno utvrđeni uzroci ispada. Konstatirano je da je pogonska raspoloživost ovakvih prijenosa iz godine u godinu sve veća. Srednja raspoloživost od 79% u 1970. popela se u 1974. na 86%.

Isosmjertni prijenosi u gradnji ili planu

Diskutirana je koncepcija istosmjernog prijenosnog postrojenja za otok Vanconver (370 MW), metode ispitivanja tiristora za proširenje istosmjernog prijenosa Nelson River i tiristora za budući ruski istosmjerni prijenos ± 700 kV. Također je govoreno o mogućnosti upotrebe istosmjernog visokonaponskog postrojenja za napajanje velikih gradova, kao konkurentno rješenje izmjeničnom kabelu.

Primjena i konstrukcija istosmjernih prijenosa i njihovi kontrolni uređaji

Razmatran je sistem upravljanja i kontrola istosmjernog postrojenja Cabora Bassa, Eel River i Nelson River te upotreba kompjutora u ispitivanju karakteristika istosmjernog prijenosa. U ovoj se grupi raspravljalo i o istosmjernim sklopkama visokon napona, što je bila tema i u grupi 13 (sklopni aparati).

Budućnost istosmjernog prijenosa

Diskusija u ovoj, četvrtoj grupi, obuhvatila je sve u vezi s istosmjernim prijenosom što nije obuhvaćeno u prve tri grupe. Tu spadaju npr. tehničko-ekonomske usporedbe izmjeničnog i istosmjernog prijenosa, sniženje troškova, djelovanje na okolinu i slično.

Grupa 15. Izolacioni materijali

Diskusija o izolacionim materijalima vodila se u 5 skupina u koje je svrstano 11 referata.

Utjecaj temperature na izolaciju velikih rotacijskih strojeva

Naponi statorskih namota razmjerno su visoki, a uz to su u pogonu pod povišenim temperaturama. Budući da je takva izolacija izložena kombiniranim naprezanjima neophodno je ispitati njenu pouzdanost. Izneseni su laboratorijski postupci pomoću kojih se pokušalo ustanoviti starenje izolacija. U diskusijama su iznesena mišljenja o ovakvim metodama, njihovoj vrijednosti i primjenljivosti.

Visokonaponska poliolefinska izolacija

Ovdje se govorilo o problemu nehomogenosti i mikrošupljina u poliolefinskim izolacijama i metodama ispitivanja pouzdanosti takvih izolacija u duljem razdoblju.

Tekuće izolacije

Raspravljalo se o različitim vrstama ulja i srodnim izolacijskim tekućinama, osobito o njihovoj upaljivosti i eksplozivnosti. Također je bilo riječi o stvaranju plinova pri električnim izbijanjima i odgovarajućim laboratorijskim ispitivanjima, gdje su tekući izolacijski materijali bili izvrgnuti istosmjernim i izmjeničnim električnim probojima.

Preskoci u komprimiranim plinovima

Veliki broj referata u ovoj skupini pokazuje koliki interes vlada u svijetu za ta pitanja. Svi se ovi referati bave problemom preskoka u plinu SF_6, bilo da je pri tome mišljena primjena u plinskom kabelu, blindiranom postrojenju ili prekidaču. Iznesena su ispitivanja preskoka u koaksijalnim cilindrima, te pri različitim oblicima elektroda, električnim naprezanjima, tlaku plina i čistoći elektroda.

Opća pitanja za diskusiju

Ovdje je bilo riječi o općim pitanjima u vezi s izolacijom kao što su npr. statističke analize električnih preskoka, problemi parcijalnih izbijanja, i slično.

Grupa 21. Kabeli

Ova je grupa primila ukupno 11 referata, pa su raspoređeni prema prioritetnim temama u tri skupine:

Istosmjerni i podmorski kabeli

To je bila prva tema, ali o istosmjernim kabelima nije bilo ni jednog referata, već je diskusija bila usmjerena na zaštitu podmorskih kabela od vanjskih oštećenja, naročito od oštećenja sidrima brodova. Kao efikasna mjera preporučeno je duboko ukapanje kabela.

Kabeli sa sintetičnom izolacijom

Od pet primljenih referata svi osim jednoga bavili su se poliolefinskom izolacijom, a samo jedan izolacijom stabiliziranog polietilena.

Rasprava se vodila o mogućnosti upotrebe, tj. o naponskim granicama za umreženi i neumreženi polietilen. Konstatirano je da Weibullove statističke distribucije predstavljaju dobru metodu za utvrđivanje pogonskih osobina kabela s umjetnom izolacijom. Iznesene su dvije poteškoće: potreba poznavanja fizikalnog ponašanja izolacije pod vrlo različitim parametrima i potreba velikog broja ispitivanja da bi se smanjila neizvjesnost u očekivanom ponašanju.

Kabeli velike snage i nove tehnologije

Broj od 7 referata (djelomično i osmi) najbolje pokazuje interes u svijetu za ovu temu. Najprije su diskutirani kabeli s papirno-uljnom izolacijom. To su utvrđeni gradijenti potencijala koji dolaze u obzir pri određenim naponskim nivoima, kao i tlak ulja koji bi bio najpovoljniji. Raspravljalo se također o maksimalno dopuštenim temperaturama vodiča. Konstatirano je da se primjenom prisilnog hlađenja mogu kabelom prenositi vrlo velike snage. Npr. pri 400 kV integralnim hlađenjem snage do 3 GVA. Još se znatno veće snage mogu prenijeti hlađenim plinskim kabelima.

Grupa 22. Nadzemni vodovi

U ovoj je grupi izneseno ukupno 15 referata. Složeni su prema prioritetnim temama kako slijedi:

Mehanički i termički efekt visokih struja kratkog spoja

Diskutiran je problem velikih struja koje se pojavljuju na nadzemnim vodovima. Promotrene su termičke i mehaničke posljedice na nekim elementima nadzemnog voda i mjere za njihovo uklanjanje.

Sigurnost voda. Meteorološki podaci i podaci o kvarovima

Glavna se rasprava vodila oko istovremene pojave leda i vjetra na vodovima. Ta je pojava statistički obrađena iznesena u referatu iz Norveške i Čehoslovačke. Ovisnost zaleđenja dana je u odnosu na različite parametre, od kojih dobar dio može unaprijed najaviti meteorološka služba. U ovoj je grupi problema govoreno o ispadima uslijed atmosferskih pražnjenja i tzv. kaskadnog rušenja voda, tj. kad se npr. iz nekog razloga slomi zatezni stup, pa se zatim u kaskadi sruši nekoliko kilometara voda (Cascade collapse). U pogledu galopiranja vodiča konstatirano je da su toj pojavi skloniji snopovi nego pojedinačni vodiči.

Upotreba novih materijala u konstrukciji vodova

Predmet diskusije bili su novi načini fundiranja stupova i upotreba različitih materijala i konstrukcija vodiča. Dosta vremena je utrošeno na diskusiju o novim materijalima za izolaciju i načinu njihovog ispitivanja, naročito o ponašanju kroz duže razdoblje.

Grupa 23. Stanice

Ukupno je primljeno 12 referata. Pitanja za diskusiju podijeljena su u 4 grupe.

Kontrolni uređaji stanica

Raspravljano je o ulozi nove tehnike u kontroli i automatizaciji transformatorskih stanica, prvenstveno s gledišta pouzdanosti postrojenja. Moderna elektronika igra ovdje posebnu ulogu. Općenito je prodiskutiran efekt nove sekundarne opreme na koncepciju i pogon stanice.

Parcijalni problemi vezani na konstrukciju stanica vrlo visokog napona, osobito u vezi velikih struja

Dinamički udarci uslijed velikih struja, bili su od velikog interesa. Diskutirane su metode i rezultati proračuna, te koncepcija konstrukcije sabirnica za nazivne struje reda veličine 4 do 12 kV i struja kratkog spoja od oko 100 kV. Da bi se utvrdile dinamičke karakteristike odgovarajućih sabirnica korišteni su matematički modeli. U posebnom su referatu iznesene usporedbe rezultata računskih metoda i mjerenja ponašanja krutih sabirnica prilikom kratkog spoja.

Stanice za vrlo visoke napone

Iznesene su koncepcije i rezultati ispitivanja eksperimentalne stanice 1150 kV »Beli rast« u SSSR-u. Kao osnovno bilo je pitanje utjecaja takve stanice na okolinu.

Problem okoline

Ovdje je u prvome redu iznesen problem neugodno velike koncentracije nadzemnih vodova u blizini stanice. Dane su nove i deje i preporuke da bi se ovaj problem ublažio, ali na žalost sve su takve mjere povezane s velikim troškovima.

Grupa 31. Prijenosne mreže

Ova je grupa primila 10 referata i o njima se diskutiralo u tri skupine:

Novi rezultati kontinuiranih pogonskih i laboratorijskih ispitivanja

Opisane su ispitne stanice za najviše napona (UHV-projekt 1500 kV, ASEA-AEP-projekt 2000 kV, Apple Grove-projekt 800 kV) i rezultati ispitivanja u tim stanicama, prvenstveno korone i njenih smetnji. SSSR je dao prikaz svog prvog prijenosnog voda 1150 kV, prijenosne snage 5000 MW. Govoreno je o načinu i efikasnosti kompenzacije na vodovima najvišeg napona, kao i o njihovom doprinosu povećanju stabilnosti prijenosa. U pogledu problema subsinhronih rezonantnih pojava kod uređaja serijskih kondenzatora, iznesene su mjere za njihovo prigušenje.

Potencijalni utjecaj uskladištenja i prijenosa energije na strukturu prijenosnih sistema

Raspravljano je o načinima akumuliranja energije, njihovim tehničkim i ekonomskim prednostima. Posebno je govoreno o pumpnim elektranama i baterijskim uređajima u elektroenergetskom sistemu s nuklearnim elektranama. O utjecaju akumuliranja energije na prijenos nije se diskutiralo, iako je predsjedavajući to pitanje postavio.

Socijalni utjecaj i utjecaj okoline na razvoj elektroenergetskog sistema, prvenstveno u vezi sa zadovoljenjem i sigurnosti stanovništva

Ovdje su bila obuhvaćena pitanja opasnih električnih polja na tlu kao i čujne smetnje u okolini.

Grupa 32. Planiranje i pogon mreže

Grupa je primila najviše referata, ukupno 20. Diskusija se odvijala u tri skupine prema prioritetnim temama i u četvrtoj skupini, gdje su obuhvaćene opće teme.

Utjecaj novih uvjeta proizvodnje energije i uvjeta okoline na razvoj strukture prijenosne i interkonektivne mreže

U okviru ove grupe raspravljalo se o odlučujućim faktorima za uvođenje novih naponskih nivoa, o utjecaju tehnike i okoline na razvoj prijenosnih mreža, nesigurnost podataka potrebnih za planiranje i njihov utjecaj na računski model.

Problem dinamičkog ponašanja sistema (dinamička i statička stabilnost, dinamičke oscilacije). Njihovo uzimanje u račun pri pogonu i planiranju mreže

Problemima ove teme bavi se u većoj ili manjoj mjeri 10 referata ove grupe.

Razmatrane su metode računanja dinamičkog ponašanja mreže za kraća i duža razdoblja, mogućnost pojednostavljenog modeliranja strojeva za potrebe računanja stabilnosti pri usporedbi mreža različitih parametara, odnosno u svrhe planiranja kad su polazni podaci nesigurni. Nadalje je govoreno o problemu regulacije napona i regulacije brzine prvenstveno u vezi s dinamičkom stabilnosti, te o procjeni rizika dinamičkih oscilacija i mjerama za njihovo suzbijanje.

Upravljanje sistemom, procjena stanja (state estimation) — stečena iskustva

Raspravljane su dvije alternative: centralizirana ili necentralizirana procjena stanja, te tip algoritma, njegova točnost i brzina.

Opće teme

U ovoj se skupini raspravljalo prvenstveno o:
— utjecaju financijskih ograničenja na izbor investicija
— stečenim iskustvima u studiju regulatora napona.

Grupa 33. Prenaponi i koordinacija izolacije

Primljeno je 10 referata a diskutirano u okviru triju preferencijskih tema i rasprava ,o općim problemima.

Odvodnici prenapona za visoke i ultra visoke napone

Govorilo se o klasifikaciji povremenih prenapona i utjecaju dužine voda i njegove karakteristične impedancije na struju u odvodniku za vrijeme povremenih prenapona.

Strujni krugovi za ispitivanje odvodnika prenapona u laboratoriju bili su u ovoj skupini daljnji predmet diskusije. Nadalje je raspravljano o utjecaju zagađenja na proradu odvodnika i laboratorijskom simuliranju takvog zagađenja, kao i o potrebi teoretskog poznavanja mehanizma preskoka i raspodjele napona duž odvodnika. Konstatirano je da je posljednjih godina učinjen veliki napredak u konstrukciji odvodnika.

Izolacija između faza i longitudinalna izolacija

Problem potrebe izolacije između faza za konfiguraciju uređaja s više elektroda, kao i problem potreba izolacija prema zemlji bio je predmet diskusije. Konstatirano je da je potrebno utvrditi korelaciju prenaponskih pojava između faza i između zemlje i faze. Detaljno su analizirani rizici različitih kvarova uslijed prenapona kod longitudinalnih izolacija.

Posebni problemi koordinacije izolacije

Jedno od posebnih problema bilo je pitanje ponašanja i karakteristika iskrišta u plinu SF_6 koji dolazi putem voda pri udarnim vodovima. Taj je problem naročito važan za oklopljena SF_6 postrojenja.

Općenito je govoreno o zaštiti SF_6 postrojenja od različitih udarnih prenaponskih vodova iskrištima i odvodnicima prenapona.

Opća pitanja

Među općim pitanjima diskutirano je o točnosti računanja prenapona, primjeni rezultata ispitivanja dielektrika i poznavanju fenomena izbijanja zbog izrade praktične konstrukcije izolatora. Nadalje, o primjeni statističkih metoda pri ispitivanju i ponašanju izolacije.

Grupa 34. Zaštita

Ova je grupa zastupljena s 9 referata. Oni su svrstani u 3 skupine prema temama i u općoj diskusiji.

Iskustva eksploatacije statičkih uređaja za kontrolu i zaštitu, budući razvoj i tendencije principa mjerenja, primjene digitalne tehnike i veza između uređaja

Za statičke releje istaknute su njihove karakteristike: brzina funkcioniranja, mala potrošnja, ponašanje u prijelaznom režimu, održavanje, itd.

O upotrebi brojčanih komponenata u radu zaštite, kao i o dovoljnoj pouzdanosti te tehnike diskutanti nisu bili suglasni. Govoreno je također o korištenju digitalne tehnike pri mjerenju napona, aktivne i reaktivne snage i slično.

Kriteriji za određivanje pouzdanosti, za statičke uređaje za kontrolu i zaštitu i metode za analizu kvarova u pogonu, postupci za poboljšanje pouzdanosti

Iznesen je problem osiguranja korektnog rada uređaja udvostručenjem osjetljivih elemenata, i potreba autokontrole i automatskog nadzora zbog povećanja pouzdanosti. Istaknuta je važnost upotrebe modela, kompjutora i laboratorijskih ispitivanja za unapređenje razvoja nekog sistema zaštite.

Praktična mjerenja za sprečavanje opasnih stanja pogona kod termo i nuklearnih elektrana

Ovdje se općenito govorilo o uređajima za ubrzanje vremena iskapčanja generatora, održavanju stabilnosti i održanju u pogonu pomoćnih uređaja u elektrani. U vezi s različitim tipovima zaštite diskutiran je utjecaj kvarova u mreži na velike generatore, kao i sistemi za zaštitu od preopterećenja.

U općoj diskusiji iznesena je:

— *potreba pojačane koordinacije zaštite i ostalih uređaja,*
— *neophodnost suradnje zaštite i planiranja,*
— *centralizacija izvjesne zaštite.*

Grupa 35. Telekomunikacije

Grupa je primila ukupno 6 referata, o kojima se diskutiralo ovim redom:

Vođenje telekomunikacijskih linija preko vodova visokog napona

Diskutirano je o telekomunikacijskom kabelu upletenom u fazni vodič visokog napona, o parazitskim smetnjama i vezama preko visokonaponskih vodova s dvije trojke.

Veze mikrovalovima

Osnova za diskusiju bio je referat predstavnika iz Brazila, u kojemu je prikazana velika mreža sa 960 kanala. Budući da u Brazilu još nemaju iskustva sa smetnjama, naročito pod utjecajem jake kiše, vodila se diskusija o mogućnostima mjerenja smetnji i njihovu nastajanju.

Pouzdanost prijenosa na prijenosnim putovima

Iznesen je problem pouzdanosti prijenosa signala u ovisnosti o važnosti podataka, npr. da li se radi o podacima daljinske kontrole ili zaštite. Nadalje je govoreno o pouzdanosti različitih sistema prijenosa i o njihovoj ekonomičnosti.

Opća diskusija

Općenito uzevši problemi o kojima se diskutiralo mogu se svrstati u skupine:

— telekomunikacijski kanali,
— prijenos podataka,
— cijene telekomunikacijskih sistema,
— kriteriji za planiranje telekomunikacijske mreže.

Grupa 36. Peturbacije

Primljeno je ukupno 9 referata. Svrstani su u skupine:

Električno polje u blizini instalacija visokog napona. Metode mjerenja. Konzekvencije postojanja takvog polja i mogućnost njegovog smanjenja

Konstatirano je da metode računanja koje se upotrebljavaju u različitim zemljama dobro odgovoraju mjerenjima. Poteškoća nema kod vodova, ali zbog kompliciranе geometrije postrojenja u stanicama proračuni su nepouzdani.

Što se tiče djelovanja električnog polja na čovjeka govoreno je o dva efekta: kapacitivnom pražnjenju posredstvom čovječjeg tijela i toku indukcijskih struja kroz tijelo.

Smetnje na pomoćnim strujnim krugovima u stanicama

Ovaj je problem naročito zaoštren razvojem uređaja s poluvodičima. Najveći se problemi pojavljuju kod starih stanica, dok se u novima mogu odmah predvidjeti uređaji za zaštitu, kao što su odgovarajuća uzemljenja, ekrani, zaštitni kabeli i optički kabeli.

Raspravljalo se također o smetnjama koje uzrokuju viši harmonici i o mjerama za njihovo prigušenje.

Problem korozije koja nastaje utjecajem elektroenergetskih vodova na druge metalne sisteme

Ova tema nije izazvala veći interes stručnjaka ali je zaključeno da problem korozije ne treba podcijeniti, već ga treba nastaviti studirati.

Na kraju je govoreno o problemu smetnji od zagađenih izolatora, što prvenstveno ovisi o atmosferskim prilikama.

BORIS MARKOVČIĆ, dipl. ing.

MJERE PODUZETE U RAZNIM ZEMLJAMA PREMA PREPORUCI SAVJETA DIREKCIJE OD 30. SIJEĆNJA 1975. O NAPONU 230 V ± 10%

Podaci UNIPEDE, travanj 1976.

Austrija

Za sada još nije ništa poduzeto jer se ne zna što su poduzele ostale članice UNIPEDE.

U Publikaciji IEC-a br. 38/1975. u tablici I nalazi se i napon od 230 V. Austrijski komitet (OVE) se s time slaže. Distribucija Austrije se također slaže. Misle da je u sadašnjem trenutku nemoguć trenutni prijelaz na 230 V ± 10% i da će za to biti potrebno 10 — 15 godina.

Potrebno je reći da smanjenje kolebanja s —10% na —6% ne odgovara Austriji.

Da se održi napon u granicama 230 V ± 10%, potrebno je u seoskom području interpolirati veći broj trafostanica, mijenjati pozicije preklopki i nabaviti veći broj novih transformatora. Nove transformatore bi trebalo nabaviti i radi smanjenja gubitaka u Fe, radi povišenja napona, a i radi buke.

Tehnički poteškoće su već navedene. Ekonomske poteškoće diktiraju rok prijelaza 10 — 15. godina.

Sigurno će se morati izmijeniti stanovit broj kućanskih aparata (na račun distribucije), što je također poteškoća.

SR Njemačka

Grupa stručnjaka u VDEW-u predlaže da se ne prihvati dokument IEC; da naponi 220/380 V i 240/415 V ne budu nominalni naponi i da se pojavljuju samo pod opaskom na dnu stranice.

Grupa stručnjaka obavijestit će o tome VDE. Ako se njemački prijedlog prihvati, predviđaju se ove mjere:

- obavijestiti o izmjeni IEC norme predstavnike industrije i distribucije
- dogovorom u CENELEC-u varijacije napona smanjiti tako da napon bude uvijek viši od 230 V — 10% (207 V)
- da se izbjegnu bitna odstupanja napona, predvidjeti ugradnju većih transformatora.

Glavne poteškoće su pomanjkanje vodova, troškovi, veći broj kvarova florescentnih cijevi i ostalih aparata.

Konačno, SR Njemačka je spremna prihvatiti napon 230 V uz uvjet da ga sve zemlje, uključujući i Veliku Britaniju prihvate.

Belgija

Distribucija Belgije se složila da se teži jedinstvenom naponu 400/231 V u anketi koju je prije dvije godine proveo Komitet za tehnička istraživanja i Komitet za upravljanje električnih poduzeća.

U desetak godina veći dio transformatora u pogonu SN/nn je tipiziran (na nn imaju 5 stezaljki za regulaciju: 231 V + 2,5 + 5%). Većina transformatora je regulirana tako da je napon u praznom hodu između 230 — 235 V. Prema tome, pretežni dio belgijske distribucije već sada radi pod naponom u granici 230 V ± 10%. Tako je naročito u gradskim mrežama, gdje su padovi napona rijetko ispod 5%. U seoskim mrežama, na kraju dugih strujnih krugova još je napon povremeno ispod 207 V.

Čak i u slijedećem razdoblju, kad će odstupanja napona biti ograničena recimo na 230 V ± 6%, uporabivi su transformatori koji su sada u pogonu s regulacijom 2,5%. U budućnosti, za 5 — 10 godina, kao definitivno rješenje predviđa se regulacija napona (u praznom hodu) u granicama: 231 V + 2,5% + 5% — 240 V + 2,5% + 5%.

Sadašnji distributivni napon ne prelazi 235 V, što ne stvara poteškoće da se proizvedu aparati koji dobro rade u mreži.

Mogu se očekivati ozbiljne poteškoće u radu pojedinih trošila u garantiranom području 207—253 V. Ne vide se mogućnosti proizvodnje aparata jedinstvenog napona za čitavi svijet uz tolerancije napona ± 10%. To će biti moguće tek kod tolerancije od recimo —6% + 10%.

Danska

Stav Danske za uvođenje tipizacije zajedničkog niskog napona 230 V ± 10% je pozitivan. Mjere za povećanje napona su zastale radi neodlučnosti ostalih zemalja (primjerice na zadnjem sastanku tehničke komisije br. 8. IEC-a) ili čak mogućnosti da se prijedlog IEC-a ne prihvati.

Udruženje distributera Danske predlaže da se radi prilagođavanja međunarodnom jedinstvenom naponu 230 V ± ± 10%, s postojećih 220 V + 10% u roku od pet godina prijeđe na 220 V — 6%. Gornju granicu 220 V + 10% ne treba do daljnjega mijenjati.

U anketi su odgovori pretežno bili povoljni, ali su neka poduzeća dala primjedbe s obzirom na ograničenja u varijacijama naponskih nivoa, kao i o još neriješenom pitanju u krugu IEC-a.

Španjolska

Prijelaz na 230 V nije neki problem što se tiče distribucije. Dobar dio distributera ima transformatore za taj napon.

Kako ne postoji udruženje proizvođača električne opreme, nije se moglo stupiti službeno u kontakt s industrijom. Na temelju službenih razgovora s nekoliko najvećih proizvođača, može se zaključiti da s njihove strane većih problema neće biti.

Španjolska elektroindustrija radi po licencama evropskih poduzeća, a svoje proizvode izvozi. Prema tome, ako čitava Evropa prihvati taj napon, neće biti poteškoća ni sa Španjolskom.

Institut za normalizaciju priprema normu 230 ± 10%, o čemu odlučuje ministar industrije.

Potrebno je do dvije godine da izađe nova tablica napona, a tada postoji opasnost da se broj napona poveća čim se pokuša mijenjati postojeći.

Finska

Publikacija br. 38 (5. izdanje) IEC-a je u Finskoj prihvaćena kao norma. Formirana je radna grupa da studira primjenu 230/400 V

Čini se da nema tehničkih poteškoća za prijelaz na nov napona, a pri tome se vide i ekonomske prednosti. Sada su u pogonu naponi nešto viši od normiranih, što bi olakšalo prijelaz na 230 V.

Francuska

EDF predviđa prijelaz na 230 ± 10%. Računa se da će potrebno vrijeme prijelaza iznositi 10 — 15 godina. Kao prva etapa predviđa se povišenje napona na 225 V kod transformatora za napajanje sela. Slijedeći korak bio bi povišenje napona u izvorima (TS 110/20 kV).

EDF je spreman da kod mjerodavnih poduzme korake da se promijeni sadašnja tipizacija u dogovoru s konstruktorima, ako se većina zemalja za to odluči.

Prvi aparat koji bi radio na 230 V mogao bi se pojaviti na tržištu, u najboljem slučaju, za pet godina.

Velika Britanija

Sada je u Velikoj Britaniji normaliziran napon 240 V ± ± 6% (226—254 V), što se za 1 V razlikuje do novopredloženog napona. Elektroprivreda Velike Britanije za sada ne misli ništa poduzeti.

Ako bi više zemalja prihvatilo napon 230 V ± 10%, poduzele bi se mjere da napon ne prijeđe 250 V, dakle da se u Britaniji mogu upotrebljavati aparati građeni za 230 V + 10%, što bi bio povod za izmjenu norme.

Mađarska

Normalizirani napon u Mađarskoj je 220/380 V. Dopuštena odstupanja na distributivnim transformatorima su ± 3%.

Norma je donesena prije tri godine pa je za naponska odstupanja ± 3% u pogonu oko jedna trećina transformatora. Preostale dvije trećine su građene za odstupanja ± 5%. Dopuštena naponska odstupanja na izvorima su ± 7,5%.

Za sada mađarska elektroprivreda, osim informiranja i razmišnjanja, ne kani ništa poduzeti radi eventualne pro-

mjene normaliziranog napona. MVMT bi prihvatila kao normu napon 230/400 V kada bi to prihvatile sve zemlje prema preporuci IEC-a.

Ako elektroindustrija započne s proizvodnjom aparata za napon 230/400 V, moralo bi se započeti s povećanjem napona mreže. Prijelaz na nov napon bio bi, dakle, spor. Kao prvo bi se za 2% povisio napon na nivou SN, nakon toga bi se postupno zamjenjivali distributivni transformatori transformatorima za viši sekundarni napon. Prijelaz sa 220 V na 230 V trajao bi 10 — 15 godina.

Irska

U Irskoj je normaliziran distributivni napon 220 V ± 6%, a u seoskoj distribuciji ± 9%. Troškovi prijelaza na 230 V koče svaku želju za promjenom.

Imajući u vidu maleno domaće tržište, Irska će se morati prilagoditi drugima.

Italija

Italija je upravo prešla na nakon 220 V. Razumljivo je da nema volje da sada prelazi na neki drugi napon.

Ako se donese gneralna odluka, Italija je obavezna da je prihvati.

Nizozemska

Distribucija je prijedlog da se prihvati nov napon 230 V ± 10% primila pozitivno. Sigurno je da treba poduzeti neke korake koji su slični kao da se prihvati 220 V ± 6%. Prednosti novoga napona, kako ih navodi UNIPEDE, nastale bi tek u dalekoj budućnosti, uključujući i normalizaciju produkcije. Treba istaći da su odstupanja napona +10% u protivnosti sa smjernicama sigurnosti na radu.

Nizozemska je voljna prihvatiti napon 230 V ± 10% uz uvjet da se takav prihvati na međunarodnom nivou. U međuvremenu je IEC u rujnu 1975. godine predložio (po pravilu od 6 mjeseci) još tri naponska nivoa 220—230—240 V, uz napomenu da bi 230/400 V trebao biti jedini standardni napon u budućnosti. Ostali naponi se moraju naći unutar 230/400 ± 10%.

Za nizozemsko stajalište je potrebna suglasnost vlade, proizvođača i distributera. Kako nije moguće dati uvjetni glas, Nizozemska je protiv novog napona. Isključivi razlog tome je stav susjednih zemalja. Čim se većina zemalja područja 50 Hz, odluči za novi napon, odlučit će se za njega i Nizozemska.

Prijelaz na 230 V ± 10% traži prijevremene investicije, posebno u poljoprivrednim područjima (interpolacije trafostanica i pojačavanja mreže).

Kod distribucije to znači zamjenu tipiziranih transformatora koja je u Nizozemskoj, korak po korak, postepeno provedena. Postojeći transformatori imali bi veće gubitke u željezu. Kontinuirani način prijelaza, kako ga predlaže UNIPEDE, nije svuda izvediv.

Na svaki način treba izbjegavati da napon bude viši od 240 V radi sigurnosti na radu i trajanja postojećih aparata i motora.

Što se tiče aparata, moglo bi se dokazati da su skuplji ako se grade veće naponske tolerancije. Teško je dokazati tehničke i ekonomske prednosti aparata za naponsko područje 207 — 253 V (230 V ± 10%) umjesto dva tipa aparata: jedan za područje 207 — 233 V (220 V ± 6%) drugi 225 — 255 V (240 V ± 6%). Što se tiče standardizacije, konstruktorima je veći problem priključnica i utikači od normaliziranog napona. Tu bi bila potrebna međunarodna koordinacija.

Poljska

Normalizirani napon je u Poljskoj 220 V s odstupanjima ± 5% u gradskim područjima, a + 5% — 10% u seoskoj elektrifikaciji.

Prihvaćanje napona 230 ± 10% značilo bi da se distributivni napon kreće u području 207 — 253 V. U tom području se već sada napajaju gradske mreže (209 — 231 V) za 8 — 10 godina bit će to i na selu.

Prijelaz na 230 V ± 10% bit će moguć tek pošto industrija počne proizvoditi aparate za taj naponski nivo, uključivši i transformatore.

U Poljskoj je u toku diskusija o prihvaćanju novog normaliziranog napona, pa će se o tome moći zauzeti stav do slijedećeg zasjedanja IEC-a.

U slučaju da se prihvati napon 230 V, za postepeni prijelaz bit će potrebno 10 — 15 godina.

Švicarska

Od anketiranih 26 distributivnih poduzeća većina već ima kao normalni napon 230 V ± 10%.

Portugal

Sa službene strane Portugal je voljan slijediti međunarodnu odluku. U praksi će sigurno biti poteškoća da se mnoštvo sitnih distributivnih poduzeća prilagodi novom normaliziranom naponu.

Što se tiče proizvođača aparata, tu problema nema, jer gotovo da i nema proizvođača u zemlji.

Švedska

Briga je Švedske distribucije da podigne daljnju naponsku granicu sa 198 V (220 V — 10%) na 205 V. Inače Švedska očekuje rezultate.

B. MRAKOVČIĆ

---

* Vidi članak inž. Markovčića u broju 11-12/76.

SAVJETOVANJE O PLANIRANJU, IZGRADNJI I EKSPLOATACIJI ELEKTRODISTRIBUTIVNIH MREŽA U JUGOSLAVIJI

U okviru programa rada Zajednice jugoslavenske elektroprivrede održat će se *Savjetovanje o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža u Jugoslaviji* u prvoj polovini listopada 1977. godine u Herceg-Novom.

Nosilac Savjetovanja je Zajednica jugoslovenske elektroprivrede.

Svrha ovog Savjetovanja je da se izmijene do sada stečena iskustva u suvremenom načinu planiranja, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža, koristeći najnovija dostignuća nauke i tehnike u ovoj oblasti.

Savjetovanje koje će se održati treba pridonjeti bržem i efikasnijem rješavanju ovog problema.

Na prijedlog Organizacionog odbora usvojene su osnovne grupe prioritetnih tema u okviru kojih će se razrađivati referati za Savjetovanje i to:

1. Planiranje elektrodistributivnih mreža

1. Osnovni tehničko-ekonomski kriteriji za oblikovanje distributivnih mreža s obzirom na ekonomičnost i sigurnost napajanja.

2. Problematika držanja rezervne snage (u transformaciji ili vodovima) s obzirom na odabranu koncepciju oblikovanja mreže određenog naponskog nivoa.

3. Izrada dugoročnih programa razvoja potrošnje distributivnih konzuma, posebno: planiranje široke potrošnje.

4. Korištenje elektroničkih računala pri izradi programa razvoja distributivnih konzuma.

5. Utjecaj površine gustoće opterećenja na izbor optimalnih naponskih nivoa.

6. Tehničko-ekonomski kriteriji pri optimizaciji naponskih nivoa: relativno uspoređenje varijantnih rješenja, izbor najpovoljnije varijante, mogućnosti usvajanja jedinstvenih podataka i metodologije u procesu računa optimalizacije.

7. Određivanje ukupnih godišnjih traškova pri optimalizaciji i izboru određenog sistema transformacije.

8. Izrada i usklađivanje planova automatizacije mreža elektrodistribucije i proizvodno-prijenosnih organizacija.

9. Dinamika »odumiranja« mreže 35 kV u uvjetima primjene direktne transformacije.

10. Usporedba mreže 110 kV koja radi kao prstenasta s mrežom koja radi kao otvorena s mogućnošću dvostranog napajanja.

11. Problematika oblikovanja razgranatih kabelskih mreža 10 kV i 20 kV, usporedba prednosti i nedostataka pri oblikovanju u obliku prstena, pramena, vretena, pomoću dvostrukih odvojaka, i sl.

2. Izgradnja elektrodistributivnih mreža

1. Nova tehnološka rješenja u izgradnji vodova i postrojenja: SF_6 postrojenja, srednjonaponska postrojenja s ćelijama na izvlačenje, suvremene konstrukcije stupova, itd.

2. Odabiranje osnovnih parametara nadzemnih i kabelskih vodova 110 kV, 20 kV, 10 kV i 0,4 kV: presjeci vodova i prijenosne mogućnosti, tipovi vodova, dinamička i termička izdržljivost, itd.

3. Utjecaj odabrane koncepcije mreže i odabranog presjeka vodiča na izbor sheme razvodnog postrojenja 110/10/20 kV: broj ćelija 10 (20) kV i 110 kV broj radnih i rezervnih izvoda, broj sabirnica, itd.

4. Problematika ograničenja struja kratkih spojeva, posebno način ograničenja struja dozemnih kratkih spojeva s obzirom na dimenzioniranje uzemljivača postrojenja i iznošenja potencijala.

5. Relejna zaštita i automatika: izbor zemljospojne zaštite u mrežama 10 kV i 20 kV, problem sekcioniranja kvarova u razgranatim mrežama 10 kV i 20 kV, izbor optimalnog odnosa primjene lokalne automatike i telemehanike, problem registriranja i obrade podataka o događajima na mreži, itd.

6. Korištenje mrežnih dijagrama pri izgradnji distributivnih objekata.

7. Polaganje kabela 110 kV.

8. Mogućnosti korištenja niskonaponske mreže napona 1 kV.

3. Eksploatacija elektrodistributivnih mreža

1. Održavanje kvalitete električne energije u distributivnim mrežama 110 kV do 0,4 kV: gubici snage i energije, kompenzacija reaktivne energije i prekompenzacija, regulacija napona (posebno kod tronamotajnih transformatora).

2. Naša dosadašnja iskustva u primjeni napona 20 kV, mrežne tonfrekventne komande, uzemljenja neutralne točke 10 (20) kV preko niskoomskog otpora, samonosivih kabelskih snopova, itd.

3. Problematika rada pod naponom i zaštita na radu.

4. Realne mogućnosti tipizacije pojedinih tehničkih rješenja i elemenata distributivnih mreža, kao: stupova, transformatorskih stanica 10 (20) / 0,4 kV, jednopolnih shema transformatorskih stanica 110/X kV, karakteristika transformatora snage, itd.

5. Iskustva u ograničenju buke koja potječe od transformatora snage.

6. Iskustva u vezi s pojavom prenapona u izoliranim mrežama 10 kV, vjerojatnost pojave dvostrukog zemljospoja.

Prijave referata s kratkim sadržajem trebaju zainteresirane organizacije i pojedini stručnjaci dostaviti do 30. siječnja 1977. godine na adresu:

Zajednica Jugoslovenske elektroprivrede — savjet za distribuciju električne energije — organizacioni odbor savjetovanja o planiranju, izgradnji i eksploataciji elektrodistributivnih mreža u Jugoslaviji

11000 BEOGRAD
Balkanska 13—15

ORGANIZACIONI ODBOR SAVJETOVANJA

Hidroelektra GRAĐEVNO PODUZEĆE

41000 **ZAGREB, LESKOVAČKA 10**
TELEFON: 041 — 512-122, TELEX: 21-603 YU HIDREL PP 247

ALEJA BORISA KIDRIČA U ZAGREBU

IZVODI SVE VRSTE OBJEKATA:

HIDROELEKTRANE
NUKLEARNE ELEKTRANE
TERMOELEKTRANE
AUTOPUTEVE
CESTE
MOSTOVE
VIJADUKTE
KANALE
INDUSTRIJSKE OBJEKTE
HOTELE
I OSTALO.

HE ZAKUČAC — IZGRADNJA II ETAPE I 15-GODIŠNJICA PUŠTANJA U POGON HE SPLIT

Nakon oslobođenja naše zemlje i Prvim petogodišnjim planom privrednog razvoja SFRJ i SR Hrvatske za razdoblje 1946 — 1950. u Splitu je osnovana radna grupa pod nazivom Izgradnja hidroelektrana na rijeci Cetini«.

U početku se ova grupa bavila uglavnom studijskim i istraživačkim radovima.

Veliki poticaj za projektiranje hidroelektrana jadranskog pojasa dalo je zanimanje nekih evropskih zemalja za hidroenergiju iz Jugoslavije. U okviru Komiteta za električnu energiju Ekonomske komisije za Evropu Ujedinjenih naroda, na sastanku u prosincu 1952 g., predstavnici zainteresiranih država osnovali su međuvladinu organizaciju »*Yougelexport*«. Četiri stručna komiteta u toj organizaciji sastavljena od eksperata iz naše zemlje, Zapadne Njemačke, Austrije i Italije izradila su tehnički, ekonomski, financijski i pravni izvještaj. Radilo se oko dvije godine, a konačni izvještaji su bile studije izdane u tri knjige, na 4 svjetska jezika.

Naročito je opsežan bio tehnički izvještaj. Obuhvaćao je hidrološke i geološke karte u bojama uz osnovne projekte hidroelektrana na Cetini, Trebišnjici, vodama Like (HE Senj), te još neke rijeke u Crnoj Gori i Sloveniji. Bila je razrađena i osnovna mreža 220 i 380 kV zapadne Jugoslavije i veze sa zemljama potencijalnim izvoznicima električne energije iz Jugoslavije.

Ekonomski proračuni bili su izvedeni na temelju međunarodnog financiranja bloka Jadranskih hidroelektrana uz izvoz 800 MW u zemlje Evrope, kao i financiranja odgovarajuće prijenosne mreže. Ukupni investicioni iznos od oko 400 milijuna USA $ otplaćivao bi se izvozom zimske hidroenergije u trajanju od 3000 sati godišnje.

Cijena ove energije na jugoslavenskoj granici bila je oko 0.90 cta USA $. Ekonomičnost prijenosa do potrošnih centara opravdavala se cijenama proizvodnje u modernim termoelektranama od 0.82 do 1.62 cta/kWh. Iako ovi računi nisu bili dokraja provedeni u studiji »*Yougelexport*«, jer još nisu bili poznati neki elementi, kao što su uvjeti kredita, zatim preuzimanja energije u zemljama uvoznicama, ipak je studija pokazala tehničku i ekonomsku opravdanost izgradnje hidroelektrana u jadranskom području i rentabilnost prijenosa na udaljenost čak do tisuću km.

To je bilo presudno i odlučujuće za mišljenja u našoj zemlji o vrijednosti ovih postrojenja, pa se vrlo brzo pristupilo njihovom projektiranju i izgradnji za vlastite potrebe.

Prva je bila izgrađena HE Split, a zatim su slijedile i druge elektrane. Sada je u izgradnji II etapa HE Zakučac.

Nešto kasnije, formiranjem poduzeća Dalmatinske hidroelektrane kao investitora izgradnje HE Split, na rukovodeća mjesta su došli pravi i sposobni ljudi: Miro Šegvić, kao direktor, Ante Buzato, kao tehnički direktor i Ivo Bulić, pomoćnik direktora i savjetnik. Može se bez pretjerivanja reći da je dolaskom ovih drugova, gigantskim koracima počela izgradnja HE Split, dovršena prije roka i puštena u pogon 6. svibnja 1962. godine.

Svečano puštanje u pogon obavio je drug TITO, i na velikom mitingu u Splitu, između ostalog, rekao:

»Mi smo se sada vratili iz Omiša, gdje smo danas pustili u pogon jedan nov veliki objekt, novo djelo stvaralačkih ruku naših radnika, tehničara i inženjera.

Moram kazati, da smo svi mi koji smo tamo prisustvovali otvaranju rada hidroelektrane bili veoma impresionirani ovim zaista velikim i tehnički savršeno opremljenim objektom. S ovoga mjesta najtoplije zahvaljujem, u ime Vlade Federativne Narodne Republike Jugoslavije, u ime naroda Jugoslavije, u ime svih nas, svim radnicima, tehničarima i inženjerima, svim graditeljima te hidroelektrane na njihovom radu, blagodareći, kome su uspjeli da taj veliki objekt, tako važan za našu zajednicu izgrade skoro godinu dana prije roka.

Ova hidroelektrana ima ogroman značaj za narod ovoga kraja ali isto tako ima veliki značaj i za čitavu našu socijalističku Zajednicu, za sve naše narode. Naša zajednica je ovim mnogo dobila, jer hidroelektrana je po svojim dimenzijama, po proizvodnji elektroenergije veća nego što je bila proizvodnja cjelokupne elektroenergije u staroj Jugoslaviji. Veća za oko 600 milijuna kWh.«

Puštanje u pogon HE Split, značajne i tada najveće hidroelektrane u Jugoslaviji i Balkanu mnogo je pridonijelo ubrzanom razvoju industrije i svih aktivnosti društva Dalmacije, SR Hrvatske i SFR Jugoslavije.

Ove godine je 15 godina od puštanja u pogon, što će se svečano proslaviti.

Hidroelektrana SPLIT je kasnije promijenila ime u HE Zakučac, pa izgradnja II etape HE Zakučac predstavlja nastavak izgradnje HE Split.

Hidroelektrana (Split) — Zakučac I i II etapa, projektirana je odmah kao elektrana na posljednjoj stepenici toka rijeke Cetine u kojoj će se iskorištavati sve vode šireg sliva ove rijeke.

Druga etapa ostavljena je za izgradnju nakon završetka izgradnje HE Orlovac, u kojoj se koriste vode zahvaćene u višim poljima i privode u tok rijeke Cetine, pa se na taj način stvaraju dovoljne količine vode za rad ovog postrojenja.

Već kod izgradnje I etape izgrađeni su svi zajednički objekti, što je bilo nužno, da bi se za vrijeme II Etape omogućio nesmetan rad ranije izgrađenog dijela postrojenja.

Osnovna vrijednost hidroelektrane Zakučac nakon njene izgradnje očituje se u tome što se povećanjem instalirane snage omogućuje povoljnije iskorištenje vodnog potencijala rijeke Cetine na ovoj stepenici, a istovremeno se omogućuje i racionalniji rad drugih proizvodnih elektroenergetskih objekata uzvodno slivu i sistemu u cjelini.

Radovi na izgradnji ove elektrane počeli su u 1974. godini a intenzivnije su nastavljeni u 1976. Osnovne karakteristike su:

Instalirani protok	115 m³/s
Pad	225,4 m
Instalirana snaga	260 MW
Godišnja proizvodnja	330 GWh
Sadržaj akumulacije, postojeća	hm³
Energetska vrijednost akumulacije, postojeća	GWh

Vrijedno je istaknuti i proizvodnost rada radnika.

Proizvodnost rada radnika HE Zakučac pridonijela je skraćenju remonta i otklona težih kvarova kao više sile u 1974. i 1975. godini. Kao rezultat toga je 100 milijuna kW sati više proizvedene električne energije.

Organizacija HE Zakučac

Organizacijski se elektrana sastoji od opće službe, tehničke službe i računovodstva.

Broj zaposlenih radnika je 64, što je daleko manje nego u sličnim elektranama u Jugoslaviji. Osiguranje svoga objekta je elektrana prepustila specijaliziranoj radnoj organizaciji »Sigurnost«.

HE Zakučac-Omiš čini sastavni dio poduzeća *Elektroprivreda Dalmacije - Split,* više od 10 godina. Integrirana je djelatnost proizvodnje i prijenosa električne energije i druge zajedničke funkcije, kao što su: izgradnja elektroenergetskih objekata, projektiranje i drugi zajednička poslovi.

Sa svojom pravnom osobnosti, sa svojim žiro-računom i svojim računovodstvom, HE Zakučac djeluje kao OUR u sastavu OOUR, *Elektroprivreda Dalmacije - Split.*

HE Zakučac—Omiš, slovi ne samo u Hrvatskoj, već i u okvirima jugoslavenske elektroprivrede kao najakumulativnija hidroelektrana. Radni kolektiv je bio svijestan činjenice, da akumulativnost nije isključivo rezultat rada radnika elektrane, već da proizlazi i iz uvjeta kreditiranja izgradnje (krediti na 50 godina i 2% kamata) i posebnih prirodnih uvjeta privređivanja.

Shvaćanja, da ono što nije rezultat rada (dio akumulacije) treba da se dade drugim organizacijama za pokriće troškova jednostavne reprodukcije, kako bi uspostavili sistem približno jednakih uvjeta privređivanja elektroprivrede, postali su praksa poduzeća. Na taj način se prelijevao ostvareni dio dohotka HE Zakučac za pokriće troškova jednostavne reprodukcije HE Orlovac Sinj, koja se izgradila pod vrlo lošim uvjetima kreditiranja. Takva politika vodila se i prije novog Zakona o elektroprivredi SR Hrvatske.

Doprinos elektrane kreiranju razvoja elektroprivrede u sprezi s razvojem ostale privrede i društveno političkih zajednica

U skladu s općom politikom SR Hrvatske o razvoju aluminija u našoj republici, inicijativama, politikom i konkretnošću, dala je HE Zakučac veliki doprinos planu razvoja finalizacije oplemenjenog aluminija u SR Hrvatskoj.

Može se reći da bez akcija rukovodstva i radnog kolektiva HE Zakučac od izgradnje poduzeća za oplemenjivanje aluminijskih traka »OMIAL« u Omišu, ne bi bilo ništa. Cilj je politike elektrana da se izgradnjom ove tvornice potiskuje uvoz bijelog lima i opravdaju investicijska ulaganja u bazičnu aluminijsku industriju, jer je finalizacija krajnji cilj za stjecanje dohotka i zapošljavanje. Pomoć radnog kolektiva HE Zakučac je u davanju znatnih financijskih sredstava.

Domicilna renta

Predstavnik HE Zakučac-OMIŠ, direktor Milan Kuvačić, na VI savjetovanju ekonomista elektroprivrede SFRJ održane u 1967 g. u Brelima, po prvi put se suglasio i dao punu podršku i argumente za reguliraje takozvane »domicilne rente« u općinama na čijim područjima su izgrađene hidroelektrane. Na tom savjetovanju bio je usvojen zahtjev da se reguliraju ta pitanja. Od tada kontinuiranim istupanjima, referatima i drugim akcijama, provodeći politiku elektrane, njeni predstavnici su bili glavni nosioci te akcije u elektroprivredi Hrvatske i u Saboru SR Hrvatske gdje ih je zastupao Milan Kuvačić, dipl. pravnik.

U starom Zakonu elektroprivrede SR Hrvatske čl. 67 Zakona je djelo politike HE Zakučac, kojim je uveden institut rente općinama, a posebnim propisom je trebalo regulirati visinu izdvajanja.

Potrebno je još istaknuti, da je radni kolektiv HE Zakučac u cjelini bio i jest na liniji Centralnog Komiteta SKJ naročito za vrijeme euforije nacionalizma 1970/1971. godine. Takav je bio i odnos radnika elektrane prema događajima iz 1972. godine prilikom ubacivanja diverzanata u našu zemlju. U elektrani su tada poduzete svestrane mjere dodatnog osiguranja, jer su se očekivale diverzije i na hidroelektrane i na obalno područje.

Kontinuitet dogradnje u razvoju funkciji samoupravljanja

Može se reći, da se ni jedno značajnije pitanje, naročito iz područja jednostavne reprodukcije ne rješava mimo Zborova radnika i sjednica Radničkog savjeta. Analize Općinskog Komiteta SK-a Omiš o stupnju razvijenosti samoupravljanja utvrdile su da je on najdalje išao upravo u elektrani HE Zakučac.

Sjednice zborova radnika održavaju se najmanje jedan put mjesečno, a sjednice Radničkog savjeta i češće.

Neki članovi radnog kolektiva uključuni su i u forume društvenog upravljanja i izvan kolektiva. Od Općine Omiš do vijeća udruženog rada Sabora SR Hrvatske.

Na dužnosti direktora HE Zakučac nalazi se Milan Kuvačić, dipl. pravnik., a predsjednik Radničkog savjeta je radnik Mate Jerčić.

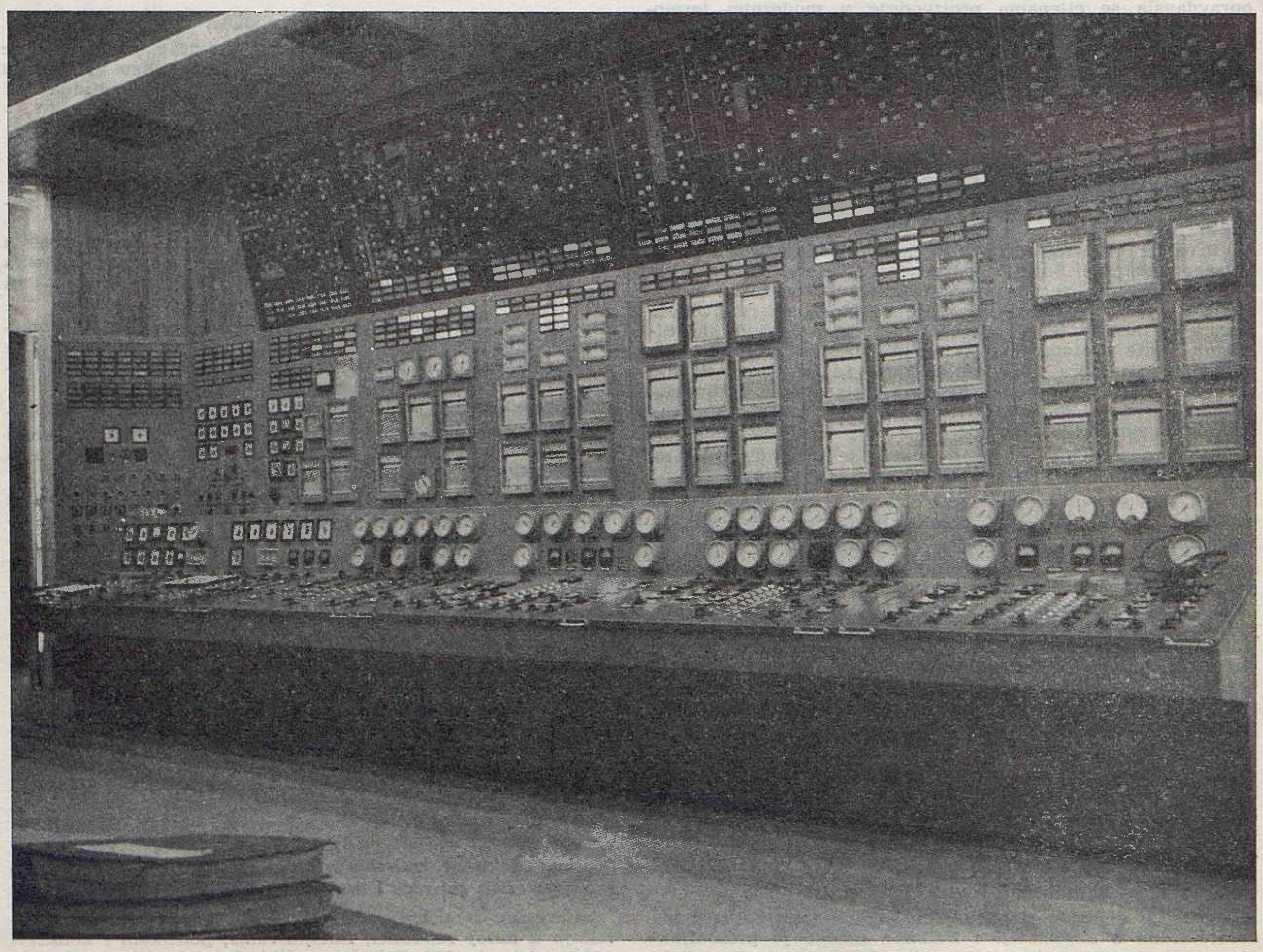
A. Marušić

TE »SISAK II« U POGONU

Početkom 1974. godine počela je izgradnja druge etape TE Sisak, koja je završena u srpnju 1976. g. Nakon mjesec dana probnog rada, 10. kolovoza uključen je u redovnu proizvodnju drugi blok 210 MW TE »Sisak II«. Zalaganjem i upornim radom izvođači radova završili su postrojenje četiri i pol mjeseca prije planiranog roka.

Prijevremenim završetkom bloka 2 znatno će se poboljšati obskrba elektroenergetskog sistema Hrvatske, što omogućuje smanjenje planiranog uvoza iz inozemstva i drugih republika za oko 430 GWh električne energije.

U izgradnji TE »Sisak II« sudjelovalo je više inozemnih i domaćih proizvođača opreme i graditelja.



TE »SISAK II«

Glavni projektant je *»Lotop«* iz Lenjingrada u kooperaciji sa zagrebačkim projektantima *»Industroprojekta«*. U isporuci glavne opreme sudjelovali su *»Technopromexport«* iz Moskve i domaći proizvođači *»Rade Končar«*, *»Jugoturbina«*, *Tvornica parnih kotlova*, te poduzeće *»Klima«* i dr. Montažne radove su izvodili poduzeća *»Braća Kavurić«* u suradnji s *ATM-om*, *»Dalekovod«*, *»Monter«* i *INA* iz Zagreba.

Građevne radove su izvodila zagrebačka građevna poduzeća — *»Industrogradnja«*, *»Geotehnika«*, *»Hidroelektra«*, te *»Hidrotehna«*, *»Vlado Četković«* i *»Radijator«*.

Kontrolu građevnih radova vršili su stručnjaci Instituta građevinarstva SR Hrvatske.

Osnovnom koncepcijom predviđeno je da se TE Sisak gradi u etapama, tri jedinice po 210 MW, s ukupnom instaliranom snagom 630 MW. Prvi blok je u radu od 1970. godine, a nedavno je i drugi pušten u pogon.

Početak izgradnje bloka 3 još nije definiran. No treba napomenuti da su u sklopu bloka 2 izvedeni neki objekti koji će se koristiti kod postavljanja bloka 3.

Investitor objekata TE Sisak je *Elektroprivreda Zagreb* i *TE Sisak*. Za izgradnju druge etape sisačke termoelektrane koristili su se inozemni krediti, te krediti Privredne banke iz Zagreba i SIZ-a potrošača električne energije.

I. R.

NOVE HIDROELEKTRANE NA TREBIŠNJICI

Usvojen je osnovni projekt da se na gornjem dijelu rijeke Trebišnjice sagrade tri hidroelektrane: HE Bileće, HE Dabar i HE Nevesinje. Za te energetske objekte podići će se brana »Rilje« kojom će se stvoriti akumulacija Zalomka s kapacitetom oko 200 milijuna m³ vode. Kapacitet proizvodnje triju hidroelektrana iznosit će 1 milijardu i 100 milijuna kWh električne energije godišnje. Tako bi cijeli hidrosistem Trebišnjice proizvodio 4 milijarde kWh godišnje. Istražni radovi za navedene objekte već su u toku, a planiran je početak radova potkraj 1977. godine.

I. R.

POČETAK IZGRADNJE NAFTOVODA

Sredinom 1976. godine na terminalu našeg naftovoda u Omišlju na otoku Krku službeno su započeli glavni građevni radovi. Programirano je da prva faza naftovoda bude dovršena u drugoj polovini 1978. godine, kad će početi i eksploatacija kapaciteta do 20 milijuna tona sirove nafte. Konačni kapaciteti iznosit će 34 milijuna tona, od čega će se 10 milijuna tona transportirati naftnim rafinerijama u ČSSR i Mađarsku.

Investitor je građevne radove povjerio poduzeću »Hidroelektra« iz Zagreba u kooperaciji s »Konstrukturom« iz Rijeke. Na gradilištu terminala u Omišlju izgrađene su dosad prilazne ceste, nastambe za radnike, izvedena električna i vodovodna mreža. Planirano je da se do kraja 1976. nivelira teren za gradnju 12 rezervoara, kapaciteta 550 m³ i dva veća za prihvat tankera do 400.000 tona nosivosti.

Osim glavnih radova na terminalu u Omišlju, uzduž trase se već raspoređuju cijevi.

Cijevi za jugoslavenski naftovod od Omišlja na Krku do Siska, Bosanskog Broda, Pančeva i mažarske granice dobavljaju se iz Kuvajta. Radi se o isporuci na osnovu kuvajtskog kredita za izgradnju naftovoda. Cijevi će biti isporučene do kraja ove godine.

I. R.

GRADNJA DRUGE ETAPE ĐERDAPA

Između Jugoslavije i Rumunjske postignut je sporazum o gradnji druge etape hidroelektrane Đerdap. Na Dunavu, 80 km nizvodno od sadašnje đerdapske hidroelektrane, planirana je izgradnja nove hidroelektrane Đerdap II. Izgradnja novog postrojenja trajat će sedam godina. Njezinom izgradnjom stvorit će se uvjeti i za bolje korištenje HE Đerdap I.

Osim proizvodnje energije, HE Đerdap II imat će veliku vrijednost i za razvoj naselja, prometa, industrije, poljoprivrede i turizma.

Na jugoslavenskoj i rumunjskoj strani brane Đerdap II bit će podignuta po jedna elektrana i po jedna prijevodnica. Na brani će biti most na kojem će se doći izgraditi željeznička pruga, što je također planirano.

Jezero između dvije brane, koje će omogućiti da se razina Dunava ujednači, poslužit će da se na jugoslavenskoj obali izgradi pristanište i da se osigura brža plovidba.

Izgradnjom nove hidroelektrane na Dunavu dobiva se mnogo. Kad za pet godina prorade prvi agregati dunavske vode — koje se sada za vrijeme visokog vodostaja prelijevaju preko brane HE Đerdap I — iskoristit će se za dobivanje nove energije. Povećanom proizvodnjom đerdapskih hidroelektrana naš jedinstveni energetski sistem dobiva sigurne i kvalitetne količine električne energije.

I. R.

TE OBRENOVAC III — U POGONU

Nakon probnog rada TE Obrenovac III, snage 305 MW, uključena je sredinom rujna u redovnu proizvodnju. Nova energetska jedinica od 305 MW, sa dvije od po 210 MW koje već rade punim kapacitetom ima veliko značenje za redovnu kvalitetnu opskrbu jugoslavenskog elektroenergetskog sistema. TE Obrenovac III kao pogonsko gorivo koristit će se kolubarskim lignitom.

Puštanjem u rad trećeg agregata TE Obrenovac završena je samo prva faza tog postrojenja.

U drugoj fazi predviđa se gradnja još triju energetskih jedinica od po 305 MW, a završetak ovih radova planiran je u toku 1979. godine. Tada će TE Obrenovac raspolagati snagom 1 650 MW.

U izgradnji druge faze TE Obrenovac sudjeluje i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, koja će u TE Obrenovac III investirati oko 1 130 milijuna novih dinara. Po ugovoru Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske preuzima od TE Obrenovac III snagu od 280 MW.

I. R.

RADOVI NA HE ZAKUČAC II

Izgradnja HE Zakučac II druga je faza u izgradnji hidroelektrane Zakučac. Prema izrađenom projektu, u drugoj fazi izgradnje predviđa se montaža dvaju agregata ukupne instalirane snage 260 MW. Neto-pad iznosi 255,4 m, a godišnja proizvodnja u prosječnim hidrološkim prilikama 310 GWh.

Nakon izvršenih priprema glavni radovi na izvedbi pojedinih objekata počeli su u rujnu 1974. godine.

Do danas dobar dio radova na planiranim objektima ulazi u završnu fazu. To su tuneli, vodna komora i gradnja pomoćnih objekata. Najopsežniji su zahvati na iskopu dovodnog i odvodnog tunela, tlačnog cjevovoda i elektropostrojenja. Dovodni i odvodni tunel iskapa se najsuvremenijim bušilicama i drugom mehanizacijom. Započeta je gradnja radionica i skladišta, a već prije je izgrađeno naselje za smještaj radnika. Istovremeno se obavlja montaža opreme koju su isporučili domaći proizvođači: »Rade Končar«, »Litostroj«, »Metalna« iz Maribora i dr.

Investicije za gradnju HE Zakučac II osiguravaju Zajednica elektroprivrede SR Hrvatske, potrošači i druge privredne organizacije te banke svojim kreditima.

I. R.

PITANJE GRADNJE TE PLOMIN II

Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske razmatra pitanje izgradnje TE Plomin II s mogućom godišnjom proizvodnjom do 900 GWh električne energije. Ta elektrana za sada je uvrštena uvjetno u plan izgradnje energetskih postrojenja.

Prije donošenja konačne odluke moraju se potpuno raščistiti sva pitanja u vezi s osiguranjem stalnih količina goriva, kao i njegova cijena. Kao pogonsko gorivo TE Plomin II koristila bi se ugljenom iz bazena Istarskih ugljenokopa. Sa svoje pak strane Istarski ugljenokopi razrađuju planove proširenja proizvodnih kapaciteta. Za proširenje rudnika Raša predviđena su ulaganja elektroprivrede Hrvatske. Kao zainteresirani i gotovo isključivi potrošač, ona bi u investiranju rudnika Raša sudjelovala sa 30% od ukupnih sredstava.

I. R.

TS 110/35 kV U LUDBREGU

Plan investicija »Elektra« Koprivnice za 1976. godinu obuhvaća kao glavni objekt izgradnju TS 110/35 kV u Ludbregu. Glavni građevni i montažni radovi na izgradnji ovog postrojenja su završeni.

Puštanjem u pogon TS 110/35 kV Ludbreg, konzum toga dijela sjeverne Hrvatske dobiva sigurnu i kvalitetnu elek-

tričnu energiju. To je od velike koristi za veće potrošače, jer je na tom području u zadnje vrijeme izgrađeno više industrijskih pogona. Prošireni su kapaciteti građevnog materijala (ciglane), tvornica industrijske opreme, pogon konfekcije »Varteks«, PIK »Bednja«, tvornica lijekova »Belupo« i dr.

Od TS 110/35 kV do TS 35/10 kV Ludbreg izgrađen je dalekovod 35 kV. Kompletnu izgradnju ovog voda izvele su stručne ekipe »Dalekovoda« iz Zagreba.

I. R.

OBJEKTI 110 kV DISTRIBUTIVNE MREŽE

Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Samoupravna interesna zajednica potrošača električne energije razradili su razvojni program distribucije električne energije u SRH za razdoblje od 1976. do 1980. godine.

U djelatnosti distribucije planirana ulaganja u nove investicije, studije i istraživanja te zamjene i rekonstrukcije utvrđene su u visini od 9 040 milijuna dinara. Osim tih ulaganja, u distribuciji se planira iznos od oko 603 mil. dinara za nabavu pogonskog i poslovnog inventara, sredstava transporta, mjernih uređaja, sredstava zaštite i dr.

Za zaostale investicije iz ranijih godina uložit će se oko 1 436 mil. dinara.

Izvor sredstava za ostvarenje zacrtanog programa osigurava se iz:

- sredstava amortizacije
- sredstava doprinosa na potrošnju
- sredstava naknada za priključak novih trošila
- sredstava obaveznog udruživanja (4% na privredne investicije, 25% na potrošnju električne energije i ugovorene obaveze).

Plan izgradnje objekata 110 kV distributivne mreže u razdoblju 1976. do 1980. godine

Elektroistra — Pula: DV 110 kV Pazin — Buzet, Alč. 240/40, 21 km, DV 110 kV Poreč — Rovinj, Alč. 240/40, oko 23 km i TS 110/20 kV Rovinj, 2×40 MVA.

Elektroprimorje — Rijeka: TS 110/35 kV Delnice, TS 110/20 kV Lovran i TE 110/35 kV Kostrena, te rasplet 110 kV za TS Lovran, Delnice i Kostrenu. Od planiranih investicija jedan dio će se utrošiti za nabavu transformatora za TS 110/20 kV, projekte, otkupe i odštete.

Elektrodalmacija — Split planira graditi DV 110 kV Kaštela — Jadranska željezara, izvesti rasplete za transformatorske stanice Split 3 i rasplet 10 kV za TS 110 kV Sućidar. Transformatorske stanice predviđene su 110/35 kV u Vrgorcu i 110/35 kV Šibenik II i TS 110/10 kV Split 3 (Ražine).

Elektra — Karlovac: tri transformatorske stanice snage 110/35 kV Karlovac II, Vojnić I etapa i Zdenčina.

Elektra — Sisak također će pristupiti gradnji triju transformatorskih stanica 110/20 (10) kV Glina, 110/35/6 kV Rafinerija i 110/10 kV Sisak - centar. U izgradnji navedenih objekata na području Elektre Karlovac i Sisak u investicionim ulaganjima sudjelovat će i Elektroprivreda iz Zagreba.

Elektra - Zagreb: u opsežnom programu težište je dano izgradnji većeg broja transformatorskih stanica, i to: TS 110/35 (20,10) kV Zagreb zapad, TS 110/35 (20,10) kV Zagreb sjever, TS 110/20 kV Samobor, TS 110/30 kV Dugo Selo, zatim TS 110/10 kV J. Zagreb II, TS 110/35 kV (20,10) kV Zaprešić, TS 110/35 kV Nova Gradiška, te TS 110/35 kV Varaždin I i TS 110/35 kV Ivanec. U TS 110/35 kV Daruvar izvest će se rasplet, Alč. 240/40, oko 12 km.

U mreži vodova planirano je dovršenje DV 110 kV Nedeljanec — Varaždin, kao i nabava transformatora za transformatorsku stanicu Varaždin 2 × 40 MVA. Za izradu projekta, otkupa i odštete za navedene objekte na području Elektre Zagreb investirat će se oko 28,8 milijuna novih dinara.

I. R.

PROŠIRENJE PLINOVODNE MREŽE

Plan razvoja plinofikacije do 1980. godine u SR Hrvatskoj temelji se na proširenju postojećeg transportno-distributivnog sistema i njegova uključenja u međunarodnu plinovodnu mrežu. U razdoblju od 1976. do 1980. god. predviđena je izgradnja plinovovodova u dužini od oko 437 km.

Planirano je da će se u petogodišnjem planu potrošnja prirodnog plina povećati za oko 2,5 puta u usporedbi s današnjom potrošnjom.

Ta potrošnja prirodnog plina znatno premašuje naše mogućnosti proizvodnje. Manjak ćemo nadoknaditi uvozom koji će do 1980. godine dostići količinu od 600 milijuna Nm³.

Radi preuzimanja plina s domaćih nalazišta i uvoza, potrebno je što prije pristupiti realizaciji programa izgradnje plinovodne mreže.

Izgradnja magistralnog plinskog transportnog sistema u republici do 1980. planira ove objekte:

— treba dovršiti magistralni tehnološki plinovod Legrad — Budrovec — Ivanić-Grad i tehnološki plinovod Lipovljani — Popovača,

— u 1977. g. dovrit će se magistralni vod Ludbreg — Konjščina — Zabok,

— u 1978. dovršio bi se distributivni vod Zagreb (zapad) — Zagreb (istok), te plinovod Osijek — Sl. Brod — Kutina i druga linija Zaprešić — Karlovac. Izgradnja navedenih plinovoda ovisi o osiguranju dodatnih količina plina iz domaćih izvora ili uvoza.

U 1978. godini počet će izgradnja i magistralnog plinovoda Šentilj — Maribor — Rogatec — Krapina — Zabok — Zaprešić — Zagreb. Investiciona ulaganja za taj plinovod osigurava SR Hrvatska.

I. R.

SVEČANOSTI POVODOM PUŠTANJA U POGON TE SISAK II

U okviru proslave Dana Republike svečano je 20. studenog 1976. puštena u redovnu proizvodnju nova termoelektrana Sisak II.

Svečanosti je prisustvovao pokojni predsjednih SIV-a Džemal Bijedić, a sudjelovali su i potpredsjednik Skupštine SFRJ Marijan Cvetković, predsjednik sindikata Jugoslavije Mika Špiljak, predsjednik Izvršnog vijeća Sabora SR Hrvatske dr Jakov Sirotković, zatim predstavnici društveno-političkih organizacija i privrednog života SR Hrvatske, Zajednica općina Sisak, sovjetske ambasade, radnih organizacija koje su sudjelovale u izgradnji postrojenja i isporuci opreme, te elektroprivredna poduzeća i organizacije iz svih naših republika, kao i istaknuti narodni heroji i prvoborci ovoga kraja.

Na svečanoj akademiji goste je pozdravio predsjednik Radničkog savjeta OOUR TE Sisak Rudolf Mekle.

Glavni inženjer izgradnje TE Sisak II dipl. ing. Slavko Tomić u iscrpnom referatu detaljno se osvrnuo na sve faze radova u izgradnji termoelektrane Sisak II.

Kompletno postrojenja je sagrađeno u rekordnom roku od 30 mjeseci, što je pet mjeseci prije planiranog roka. U izgradnju TE Sisak II investirano je oko 810 milijuna novih dinara. Zahvaljujući rekordno brzoj izgradnji, nova termoelektrana je već do kraja 1976. god. isporučila elektroenergetskom sistemu Hrvatske 400 milijuna kWh električne energije.

U referatu je istaknuto da su izgradnjom TE Sisaki I i TE Sisak II stvoreni uvjeti za početak radova izgradnje trećeg bloka TE Sisak III, snage 210 MW, koja treba da bude završena do 1982. godine.

O značenju i vrijednosti TE Sisak II za elektroenergetski sistem Hrvatske prisutne je upoznao direktor OOUR TE Sisak dipl. ing. Emilijan Zeman i generalni direktor Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske dipl. ing. Hakija Hasanbegović.

U ime sovjetskih stručnjaka učesnike svečanosti pozdravio je Mihalj Zaluckij, koji je pozitivno ocijenio dosadašnju suradnju SSSR-a i Jugoslavije u izgradnji elektroenergetskih objekata.

Sa svečanosti je upućen pozdravni brzojav predsjedniku Republike drugu Titu.

Novi blok TE Sisak II na simboličan način je pustio u pogon radnik i istaknuti monter poduzeća »Braće Kavurić« Zaim Hadžiosmanagić.

I. R.

INVESTICIJE FRANCUSKE ELEKTROPRIVREDE

Investicije Francuske elektroprivrede (EDF: Électricité De France) iznosile su 1975. godine 36,8 milijardi dinara (9,95 milijardi FFr). To je za 18,3% više od investicija u 1974. godini, računajući s konstantnim frankom (uzimajući u obzir inflaciju), a za 32,8% više gledajući na investirane iznose.

Investicije u velike objekte su za 36% veće od onih u 1974. godini, a investicije u NTE veće su za 69%. Investicije u klasične TE bile su za 6% manje, a i slijedećih će se godina znatno smanjivati radi dovršavanja četiri agregata od po 700 MW. Investicije u HE isto su kao i prošle godine, što je mnogo manje od investicija u prethodnim trima godinama.

Učešće troškova u distributivna postrojenja znatno se smanjilo; od 31% u 1974. godini, investicije u distribuciju 1975. smanjile su se na samo 25% ukupnih investicija EDF-a.

A. Nuklearne termoelektrane

1. *Postrojenja koja su ušla u pogon 1975. godine.*

	Objekti igrađeni 1975. god.			Postojeća osnovna sredstva sa 1. I. 1975.
	jed.		%	
Vodovi i kabeli 63 i 45 kV	km	470	+ 1,8%	26 323
Transformatori 63 i 45 kV	MVA	599	+ 5%	32 239
Vodovi 20 kV	km	12 987	+ 3,3%	392 989
N. N. mreže	km	11 025	+ 2%	551 451
Trafostanice 20/kV	kom	11 478	+ 5,8%	320 027
Transformatori 20/kV	MVA	2 584	+ 8,8%	29 267

NTE Tihange (Belgija). Centrala je na desnoj obali Meuse, 25 km zapadno od Liègea, a zajednički su je izgradila francuska i belgijska elektroprivredna poduzeća. Francuski dio NTE je u pogonu. Radi se o reaktoru po licenci Westinghouse, s dva turboagregata od po 468 MW, 1 500 okr/min; do kraja 1975. godine proizvela je preko 3 TWh.

2. *Postrojenja u gradnji.*

Iz tablice se vidi da je u gradnji 17 nuklearnih turboagregata od po 900 MW; ukupna instalirana snaga iznosi 15 555 MW; sistem reaktora je obogaćeni uran — voda pod tlakom.

Od reaktora s kipućom vodom u NTE Saint-Laurent učina 900 MW odustalo se u 1975. godini. Planira se izgradnja dvaju turboagregata od po 900 MW u 1976. godini, obogaćenih uran-voda pod tlakom.

U 1976. godini započelo se s izgradnjom 5 nuklearnih turboagregata od po 900 MW. To su NTE Gravelines B4, Dampierre 4, Saint-Laurant B1 i B2 i Chinon B1. Isto će se tako započeti s izgradnjom NTE Paluel s prvim turboagregatom od 1 300 MW. Konačno, predviđena izgradnja NTE s reaktorom s brzim elektronima i s turboagregatom od 1 200 MW, koju je trebalo započeti graditi 1975. godine, gradit će se također u 1976. godini. Tu elektranu gradi poduzeće NERSA s učešćem EDF-a od 51%.

B. Klasične termoelektrane

1. *Postrojenja koja su počela raditi 1975. godine.*

U TE Porcheville B na Seini, 45 km udaljenoj od Parisa, nizvodno od TE Porcheville A, stavljen je u pogon posljednji, četvrti agregat od 600 MW.

U TE Bouchain, uz postojeća dva turboagregata od po 250 MW već prije u pogonu, stavljena je u pogon plinska turbina od 78/89 MW. Radi se o vršnom agregatu koji se može za 20 minuta potpuno opteretiti. Postrojenje je priključeno izravno na 220 kV mrežu i daljinski je upravljano. Inače, takva je elektrana skuplja od klasičnih termičkih i nuklearnih.

EDF je do sada pokusno montirao dvije plinske turbine od po 24 MW.

DE Luciania — Korzika montirana su dva dizel-agregata od 11,0 MW svaki.

2. *Postrojenja u gradnji.*

KLASIČNE TERMOELEKTRANE U MONTAŽI

Elektrana	Grupa		Do sada instalirana snaga (MW)	Gorivo	Predvidivi rok kada će biti u pogonu
	broj	jedinična snaga (MW)			
Cardemais A2 it A3	2	700	1 370	mazut	1976.
Aramon 1 it 2	2	700	1 370	mazut	1977.
Luciana A5 it A6	2	11	22	nafta	1976/1977.
Ukupno:	6		2 762		

Iz tablice (dolje) vidi se da su u gradnji još četiri turbo-grupe od po 700 MW svaka u termoelektranama na mazut i dva dizel-agregata od po 11,0 MW. Ukupna instalirana snaga TE u gradnji iznosi 2 762 MW.

NUKLEARNE TERMOELEKTRANE U GRADNJI

Centrala	Vrsta reaktora			Grupa		Do sada instalirana snaga (MW)	Predviđena izgradnja
	gorivo	moderator	rashladni medij	broj	učin jedinice (MW)		
Fessenheim I it II	Obogaćeni uran	Voda	Voda pod tlakom	2	930	1 780	1976.
Bugey II it III	Obogaćeni uran	Voda	Voda pod tlakom	2	957	1 850	1977.
Bugey IV it V	Obogaćeni uran	Voda	Voda pod tlakom	2	940	1 810	1978.
Tricastin I-II-III-IV	Obogaćeni uran	Voda	Voda pod tlakom	4	935	3 700	1979/1980.
Gravelines B I-II-III	Obogaćeni uran	Voda	Voda pod tlakom	3	957	2 775	1979. 1980/1981.
Dampierre I-II-III	Obogaćeni uran	Voda	Voda pod tlakom	3	935	2 715	1979. 1980/1981.
Le Blayais I	Obogaćeni uran	Voda	Voda pod tlakom	1	957	925	1981.
Ukupno:				17		15 555	

HIDROELEKTRANE U GRADNJI

Elektrana	Rijeka	Grupa			Ukupna snaga (MW)	Srednja proizvodnja (GWh)	Predviđena izgradnja
		broj	tip	jedinična snaga (MW)			
Revin	Meuse	2	Reverzibilna	180	360	—	1976.
Iffezheim (franco-allemand)	Rajna	4	Bulbe	24,5	49(1)	342(1)	1977.
Arc-Isere	Arc	2	Reverzibilna	240	480	606(2)	1978.
La Coche	Pritoci	4	Reverzibilna	80	320	414(2)	1976. 1977.
Sainte-Croix	Verdon	1	Reverzibilna	54	54	—	1976.
Sisteron	Durance	1	Francis	118	118	160	1976.
Salignac	Durance	2	Kaplan	40	80	218	1976.
Ukupno:		16			1 461	1 740	

(1) Zajednička HE odnosi se na francuski dio — 50% ukupne izgradnje.
(2) Odnosi se samo na priliv (nije i prepumpavanje).

C. Hidroelektrane

1. *Postrojenja koja su ušla u pogon u toku 1975. godine.*

HE Brommat II. U nizu hidroelektrana na rijeci Truyère izgrađena je i HE Couesque na protoku od 134 m³/s i s padom od 57 m. Slijedeća elektrana u nizu je HE Brommat I s protokom od 95 m³/s uz pad od 260 m. Imajući na umu da je srednji protok 45 m³/s, a maksimalan 1 750 m³/s (1868. godine), očito je da je na HE Brommat I dolazilo do preljeva. Nizom građevinskih radova (nova akumulacija, brana) povećan je kapacitet HE Brommat I za protok od 200 m³/s (od prijašnjih 95 m³/s). U neposrednoj blizini izgrađena je i nova HE Brommat II s protokom od 103 m³/s i padom od 245 m. Elektrana ima jedan agregat 240 MVA koji preko transformatora 15,5/380 kV daje energiju u 380 kV mrežu.

Na takav način su se iskoristili dosadašnji preljevi u iznosu od oko 100 GWh. Ukupna godišnja proizvodnja obaju elektrana iznosi 765 GWh.

HE Combe d'Avrieux, vršna elektrana s jednom Pelton-turbinom od 121,5 MW uz protok od 17,25 m³/s i s padom od 807 m. Rotor ima 21 lopaticu iz nekorodirajućeg čelika, a težak je 9,0 tona.

Izgradnjom HE Villarodin u Savoji i njezine akumulacije na Mont-Cenisu, koja je predimenzionirana, postoji, po principu spojenih posuda, mogućnost prepumpavanja vode iz poddimenzionirane akumulacije HE Aussois koja je na susjednom brijegu.

Kako se u postojećoj HE Villarodin nije mogla ugraditi još jedna turbina, to se je na tlačnom vodu za tu elektranu izgradila nova HE Combe d'Avrieux.

HE Sisteron s 2 vertikalne Francis-turbine 1870 okr./min ima protok od 122 m³/s i pad od 113 m te odgovarajuće generatore 128 MVA, 15,5 kV i transformatore u kaverni od po 128 MVA, 15,5/225 kV. Godišnja proizvodnja je 650 GWh.

To je predzadnja elektrana u nizu na rijeci Durance. Brana duga 80 m izgrađena je u koritu rijeke; akumulacijsko jezero ima površinu 62,5 ha i zapreminu 1,8 milijuna m³. Derivacijski kanal je dug 32,036 km. Radovi su započeli 1971. godine, a elektrana je puštena u pogon krajem 1975. godine.

PHE Révin (Ardeni) u podzemnoj elektrani ugrađene su 4 reverzibilne turbine generatora. Učin turbina je 180 MW kod pada 230 m i protoka od 12 m³/s. Kao pumpe su učina 164 MW kod iste visinske razlike. Generatori motori su od 200 MVA kod 13 kV. Grupa 1 i 2 ima za pokretanje 13 kV motore s mogućnošću dva pokretanja u 15 min. Grupa 3 i 4 pokreće se kao asinhroni motor. Garantirani jalovi učin, kada radi kao sinhroni kompenzator, iznosi 120 MVAR.

Radi se o pumpnom postrojenju velike snage u Ardenima, koji obiluju dubokim kotlinama. Donji bazen, obujma 6,9 milijuna m³, nalazi se na potoku Fau; gornji bazen je istog obujma, viši je 230 m, a udaljen je oko 2 km. Postrojenje je dnevno i moguća je proizvodnja 4,45 GWh/dan. Akumulacija nije tjedna.

Upravljanje je daljinsko iz dispečerskog centra u Nancyju. Moguće je i upravljanje u samoj elektrani. Odvodi su izvedeni u vertikalnim oknima, s blindiranim koaksijalnim sabirnicama do transformatora 13/400 kV; u trafostanici, uz generatorska trafo-polja, ima još i 3 vodna polja.

2. *Hidroelektrane u izgradnji.*

Iz tablice se vidi da je u gradnji HE sa 1 461 MW s ukupnom proizvodnjom od 1 740 GWh; 9 grupa je reverzibilno, ukupne snage 1 214 MW.

D. Prijenos

Smanjeni obujam radova na postrojenjima prijenosa u 1974. godini nastavio se i u 1975. Ukupno je izgrađeno:

295 km vodova 400 kV
263 km vodova 225 kV
24 km kabela 225 kV
93 km vodova 90 kV
450 km vodova 63 kV.

U transformatorskim stanicama izgrađeno je:

13 kom klijetki 400 kV
51 kom klijetki 225 kV
23 kom klijetki 90 kV
92 kom klijetki 63 kV.

Instalirana snaga ugrađenih transformatora iznosila je 5 255 MVA.

E. Distribucija

U 1975. godini distribucija je prodala 101,7 milijardi kWh ili 66% ukupne prodaje EDF-a.

Osim toga, obnovljeno je 6 300 km 20 kV vodova, 270 km 20 kV kabela, a 620 km n. n. mreže radi povećanja presjeka vodiča ili promjene napona.

Izvedeno je 619 088 priključaka za nove potrošače, od toga 439 641 jednofazni, a 179 447 trofazna; 256 343 postojeća priključka su zamijenjena; 359 500 potrošača prešlo je na napon 220/380 V.

Za poboljšanje radio-veza nabavljena je 181 stalna radio-stanica i 1 456 prijenosnih.

Prema Revue Générale De L'Électricité 9/1976.

B. Mr.

NESREĆE NA BRANAMA U SAD

Petoga lipnja 1976. došlo je do proboja zemljane brane Teton u istočnom dijelu savezne države Idaho (SAD). U trenutku nesreće bila je brana završena sa 97%, a akumulirano je bilo 80% (308×10^6 m³) ukupnog kapaciteta. Dva dana prije nesreće izmjereni su gubici od 75 l/s, a na dan udesa gubici su odjednom narasli na 1 300 l/s. Mjerodavni su odlučili da iz ugroženog područja evakuiraju 30 000 ljudi. Da su to uradili samo 1,5 sat kasnije, posljedice bi bile tragičnije. Ovako je poginulo 5 osoba, a popravljeno je 6 500 ha zemljišta. Za popravljeno područje objavljeno je izvanredno stanje. Inače je brana trebala imati obujam na kruni od 929 m, visinu 93 m, zapremninu 850 ha, a odgovarajuća HE 310 MW.

Razlog slične nesreće na brani Bouldin, u saveznoj državi Alabama, 10. veljače 1975., je ispiranje na istočnoj strani brane kod ulaznog postrojenja.

Velika je poteškoća nastala gubicima na brani Logan-Martin. Razlog gubitaka je propusnost vapnenjačko-dolomitnih stijena na kojima brana stoji.

Prema Elektrizitätswirtschaft 21/1976.

80% POTREBA ENERGIJE U 2000. GODINI ZADOVOLJAVAT ĆE SUNČANA ENERGIJA

Prema izvještaju komisije Akademije znanosti u Canberri (Australija), 80% australskih potreba za energijom u 2000. godini trebalo bi da zadovoljava sunčana energija.

Australija je značajan svjetski konstruktor i korisnih uređaja za korištenje sunčane energije. Takvi uređaji izvoze se u 9 zemalja (među njima Japan i SAD), a preko 30 000 domaćinstava u Australiji koristi se sunčanom energijom za zagrijavanje vode.

Nove konstrukcije omogućuju zagrijavanje vode na +95 °C, što je za 40° više od dosadašnjih. Na sveučilištu u Sidneyju konstruiran je nov kolektor sunčane energije s većim stupnjem apsorpcije i manjim gubicima isijavanja nego kod dosadašnjih kolektora.

Električnim pražnjenjem u plinu metaliziraju se metalni i stakleni predmeti; tako se dobiva trajnija presvlaka otporna do 600 °C. Uz još neka poboljšanja, takav kolektor će imati stupanj djelovanja oko 50% kod 200 °C, što će proširiti korištenje sunčane energije, tako da će u Australiji uskoro biti moguće industrijsko zagrijavanje i klimatizacija uz pomoć sunčane energije.

STANDARD U SR NJEMAČKOJ

Jedan statistički zavod u SR Njemačkoj daje postotak kućanskih aparata i ostalih strojeva po kućanstvu, iz čega se može zaključiti porast standarda u zemlji.

Aparat	Godina (%)	
	1964.	1975.
hladnjak	83,4	98,7
foto-aparat	80,2	95,6
automobil	30,0	74,3
stroj za pranje rublja	18,7	57,6
sanduk za duboko smrzavanje	0,9	52,2
telefon	8,7	46,8
električni gramofon	35,6	75,8
električno kuhalo za kavu	0,0	42,2
stroj za pranje suđa	0,0	9,5
televizor u boji	0,0	29,3

IZDVAJANJE VANADIJA IZ PLINOVA I PEPELA TE

U Švedskoj je u probnom pogonu nov postupak za izdvajanje vanadija iz plinova i pepela termoelektrana. Poznato je da termoelektrane s derivatima nafte kao gorivom imaju u plinu i pepelu stanovitu količinu neizgorenog ugljika; taj ugljik sadrži stanovitu količinu rijetkog i skupog vanadija.

Nije poznato kako ga izdvajaju. Čini se da se radi o zatvorenom krugu i da se na taj način bitno smanjuje i zagađivanje zraka.

Predviđa se izgradnja tvornice za izdvajanje vanadija uz jednu švedsku termoelektranu; na takav način bi se godišnje dobilo nekoliko stotina tona vanadija.

TE KOSTROMA (SSSR) — ISPITIVANJE TURBOAGREGATA OD 1 200 MW

Tvornica »Elektrosila« u Lenjingradu ispituje prvi sovjetski turboagregat od 1 200 MW. Do sada je bio i više od 100 sati pod punim opterećenjem.

Dužina turbo-grupe je 70 m, a njezina težina prelazi 6 000 t; generator je dvopolni, hlađen vodikom.

Sovjetski konstruktori, kao i njihovi kolege u svijetu, nastoje povećati instaliranu snagu agregata i tako dobiti ekonomičnije agregate s manjim specifičnim potroškom goriva.

Ugradnjom novog turboagregata u TE Kostroma na Volgi, instalirane snage 2 400 MW, povećat će se instalirana snaga elektrane za 50%.

ENERGETSKA DANAŠNJICA I BUDUĆNOST ITALIJE

Prvu nagradu »Nacionalnog komiteta za rad« (Federazione Nazionale dei Cavalieri del Lavoro) u Italiji dobila je monografija »Energetski trenutak Italije i njezina budućnost — uloga nuklearne energije« od Publija Fedija. Kako je ta tema i za nas zanimljiva, opisat ćemo u najkraćim crtama što obrađuje ta monografija.

Ovisnost Italije od uvoza energetskih sirovina je velika, tako da je 1973. godine uvezeno 80% energetskih potreba zemlje. Ne očekuje se da se može bitno promijeniti postotak uvoza energetskih sirovina s obzirom na velike količine i uz mogući nalazak nafte i plina i smanjeni potrošak energije (bolje korištenje neće bitno utjecati na uvozni postotak).

Najvažnija domaća energetska sirovina je zemni plin, koji se primarno upotrebljava. Derivati nafte i ugljena služe za proizvodnju sekundarne energije.

U 1971. godini glavni potrošači energije bili su:

28,4% domaćinstva, trgovina i obrt
16,2% cestovni promet
10,1% kemijska industrija.

Nakon velikog porasta cijena nafte u 1974. godini predviđa se gotovo potpuno usmjerenje kod proizvodnje električne energije na nuklearne izvore. Tako bi se u 2000. godini energetske potrebe zemlje osiguravale sa 31,6+37,0 iz nuklearnih elektrana.

U budućnosti (do 2000. godine) predviđa se usporen prirast potreba energije: 5,0+5,5% (prema 8,4% u razdoblju 1953—1972. god.). Razlog takvom usporenju su racionalizacije u korištenju energije.

Kao zamjenu za derivate nafte predviđa se nuklearna energija. Ugljen, uza sva velika nalazišta na svijetu, neće imati većeg udjela radi poteškoća pri vađenju i nemogućnosti pravovremenog otvaranja potrebnih kapaciteta. Nuklearna energija bi se u početku pretvarala u električnu energiju; potkraj analiziranog roka moguća je i pretvorba u vodik.

Da se poveća potrošnja nuklearne energije u bliskoj budućnosti, potrebno je povećati potrošnju električne energije, a kao mogući potrošači bila bi kućanstva, trgovina i obrt. Značajne količine električne energije bit će potrebne za zagrijavanje prostorija, danas još praktički u povojima. Pri tome se ne smije zaboraviti na korištenje sunčane energije i toplinskih pumpi (koje će u najskorije vrijeme, uz neka poboljšanja, davati preko 3 400 kcal za svaki preuzeti kWh).

Mogući potrošač električne energije mogao bi biti i električni automobil, ako se pronađu i usavrše pogodni akumulatori.

Nuklearnu energiju moguće je upotrijebiti i za potrošače topline. Potrebno je istaknuti da se to može odnositi samo na jako velike potrošače (ljevaonice), što za sada još nije moguće.

Nuklearnu energiju je moguće upotrijebiti i za proizvodnju vodika, bilo da se radi o proizvodnji za vrijeme minimuma potražnje ili kontinuirane proizvodnje. Tako proizvedeni vodik mogao bi se upotrijebiti umjesto plina (prirodnog i proizvedenog), kada ga više ne bude ili postane preskup; moglo bi ga se distribuirati putem postojeće plinske mreže. Konačno, u dalekoj budućnosti moguće je zamijeniti vodikom gotovo sve potrebe za gorivom, osim nuklearnim.

Ekonomična proizvodnja vodika još je u povojima. Elektroliza vode, zbog male iskoristivosti, ne dolazi u obzir. Sa stavljanjem u pogon brzih reaktora, što se očekuje negnje oko 2000. godine, koji trebaju malene količine urana za proizvedeni kWh, možda i takav postupak ima neke izglede. Svakako, veću budućnost ima dobivanje vodika toplinskim razdvajanjem vode pri temperaturi do 650 °C.

Primjena i budućnost nuklearne energije ovisi o stavljanju u pogon brzih reaktora. Očekuje se veća primjena takvih reaktora oko 1990. godine. Broj brzih reaktora ovisi o raspoloživom gorivu — plutoniju, a taj opet o politici koja će se voditi pri izgradnji reaktora; plutonij se, naime, dobiva iz reaktora u pogonu, a ne dobivaju se iste količine iz termičkih reaktora i brzih reaktora.

Energetska kriza može se ublažiti racionalnijom potrošnjom energije ili primjenom novih izvora energije.

Toplinska pumpa je sigurno sredstvo kojim se može već sada ekonomično zagrijavati voda za potrebe kućanstva i za zagrijavanje prostorija. Stupanj iskoristivosti sada iznosi 2,5, a dade se u kratkom roku i bez velikih napora povisiti na 4+5 (3 440+4 300 kcal za svaki kWh). Toplinu je moguće uzimati okolnom zraku ili vodi, ako je u blizini; pri tome je drugi način mnogo povoljniji. Toplinska pumpa mogla bi se upotrijebiti za potpuno iskorištenje toplih voda, otpadnih za industriju ili termoelektrane.

Može se upotrijebiti i sunčana energija. Kombinacija sunčanih kolektora i toplinskih pumpi već bi sada mogla smanjiti za 60% potrebe kućanstava za električnom energijom; nije daleko dan kada bi taj postotak mogao iznositi 75—80%.

Velike bi se uštede postigle boljom toplinskom izolacijom zgrada. Taj je problem u zadnje vrijeme potpuno zanemaren. Sigurno da se to prvenstveno može primijeniti prilikom projektiranja novih zgrada, ali se mogu postići značajni rezultati i kod postojećih zgrada.

Bojler i hladnjak danas se nalaze u gotovo svakom domaćinstvu; boljom termičkom izolacijom obaju aparata smanjili bi se gubici. Konačno, moguće je i upotrijebiti otpadnu toplinu hladnjaka, koja se sada predaje okolini, za zagrijavanje tople vode.

Boljim korištenjem gradskog otpada također se mogu postići uštede na energiji. Čini se da ih je bolje pretvarati u gnojivo (kao što to rade u Velikoj Britaniji i SR Njemačkoj), nego ih spaljivati, pa i u TE.

Konačno, moguće je štedjeti naftne derivate i prebacivanjem prijevoza roba i ljudi s cesta na tračnice. Sadašnje zaostale i zastarjele željeznice ne bi mogle brzo i bez investicija preuzeti takav teret.

Prema L'Energia Elettrica 6/1976.

B. Mr.

IZOLIRANJE NAFTOVODA NA ALJASCI POLIURETANSKOM PJENOM

Tvrtka General Electric Company riješila je neobičan problem poliuretanskom tvrdom pjenom proizvođača Mobay Chemical Company, američke posestrime firme Bayer AG, Leverkusen. Trebalo je izolirati cjevovode od 150 do 950 mm NP (nazivnog promjera), kojima teče vruća nafta od 90°, od oštre klime u cijeloj Sjevernoj Americi uz vanjske temperature do ispod —50°C. Također je trebalo uzeti u obzir i brzine vjetra do 160 km/h, kao i zahtjev da vijek trajanja izolacije mora iznositi 20 godina.

U Prudhoe Bay na Aljasci izgrađena je cjevovodna mre ža koja povezuje unaokolo razasute bušotine s naftovodom Aljaske. Trebalo je izgraditi i one plinovode koji odvode izdvajajući plin natrag do bušotina. Smatra se da će se s naftnog polja, nakon faze uhodavanja, dnevno eksploatirati do 900 000 barela sirove nafte (oko 45 milijuna tona godišnje).

Vodovi od 150 mm NP povezuju pojedine bušotine s naftovodom Aljaske, koji svojom dužinom od 798 milja (oko 1.300 km) dijeli zemlju u dva dijela. U takozvanim sabirnim stanicama odvaja se od nafte, koja je do njih došla s temperaturom od 90°C, plin i voda, te se tako otplinjena nafta ohlađuje na 60°C. Njezin se put dalje nastavlja naftovodom Aljaske do nezaleđenih utovarnih luka na jugu Aljaske (Valdez). Plin koji se odvojio u sabirnim stanicama odvodi se plinovodima od 600, odnosno 950 mm NP natrag do bušotina, a služi kao jeftin izvor energije za zagrijavanje sirove nafte.

Tvrtka GE najprije je logički odbacila ideju da postavlja podzemni naftovod u zemlji vječnog snijega i leda, a izolacija sa šljunkom, koji bi bio dovoljan, bila bi preskupocjena. Stoga se odlučilo da se naftovodni sistem montira podzemno samo za raskršća putova i granične prijelaze, a da se poliuretanska tvrda pjena upotrijebi za toplinsku izolaciju.

Kako su cjevovodi povezani u snopove na tri načina (okruglo, ovalno i trokutno), a zbog ekstremno niskih temperatura mogu se vršiti samo kratkotrajni i jednostavni montažni radovi, to su kompletna izoliranja obavljena u prethodnim radovima, a montaža i brtvljenje izvršila na terenu jednnostavnim alatima. Sistem koji je tvrtka GE pronašla u suradnji s tvrtkom Mobay sastoji se od čelične cijevi, izolacijske jezgre od poliuretanske pjene te brtvila na bazi asfalta. I priključni elementi, prirubnice, izolacijski ventili itd. montirani su u prethodnim radovima.

Poliuretanska pjena je takvog sastava da može u području spomenutih temperatura (temperatura nafte 90°C, vanjska temperatura —50°C) garantirati dovoljnu homogenost i fleksibilnost. U potražnji za prikladnim izolacijskim materijalom tvrtka GE ispitivala je devet različitih materijala prije nego što se odlučila za poliuretansku pjenu zatvorenih ćelija kao najbolji kemijski konstrukcijski materijal.

TEŠKO ZAPALJIVE ELEKTROIZOLIRAJUĆE FOLIJE OD POLIKARBONATA

Konstruktivne mjere opreza za uklanjanje izvora zapaljivosti te primjena kemijskih konstrukcijskih materijala s pojačanim osiguranjem protiv gorenja smanjuju rizik zapaljivosti kod građevnih elemenata i sprava u elektroindustriji. Na električne se instalacije postavljaju sve veći zahtjevi u pogledu sigurnosti od zapaljivosti, koje uspješno riješavaju (R) Makrofol S elektroizolirajuće folije tvrtke Bayer. Te se folije proizvode od (R)Makrolona, polikarbonata, modificiranog tetrabrombisfenolom. Novi tipovi Makrofol SN, SG i SKG adekvatni su po svojim mehaničkim, termičkim i električnim svojstvima Makrofol polikarbonatnim folijama koje su se već u praksi pokazale kao dobre, no iskazuju se još većom sigurnošću u pogledu protuzapaljivosti.

Makrofol SN — normalna lijevana folija, amorfna i nepojačana — očituje se dobrom čvrstoćom na duboko izvlačenje i u kombinaciji s poliesterskom i epoksidnom smolom daje vrlo čvrstu vezu.

Svojstva skupljanja Marofola SG mogu se osobito iskoristiti za proizvodnju skupljenih navoja i steznih kondenzatora, kao i za pritezanje cilindričnih građevnih elemenata.

Makrofol SKG je osobito pogodan za proizvodnju kondenzatora, kako za folije, pri izradi folija, tako i za samoregenerirajuće kondenzatore s metaliziranom folijom. To je vrlo važno za kondenzatore koji nemaju specijalne obloge — kao oblaganje i zalijevanje — a na koje se postavljaju osobito veliki zahtjevi u pogledu sigurnosti protiv zapaljivosti.

Nove knjige

Ing. WERNER BERTIES: UBUNGSBEISPIELE AUS DER WÄRMELEHRE

Izdavač: VEB Fachbuchverlag Leipzig 1976, narudžbeni broj 545 153 Jedanaesto prerađeno izdanje, format 16.5 × 23 cm, 308 stranica, 74 slike s prilogom popisa jednadžbi te Mollierovim dijagramima za vodenu paru i amonijak. Cijena 7,8 DM.

U knjizi su obrađena 234 zadatka iz područja nauke o toplini podijeljena u ova osnovna područja:

1. Osnove
2. Opće jednadžbe energije, promjena stanja
3. Kružni procesi, eutropija
4. Vodena para
5. Parni strojevi
6. Rashladni procesi
7. Izgaranje
8. Ogrjevna vrijednost
9. Vlažni zrak
10. Prijenos topline
11. Istrujavanje plinova i para
12. Tablični prikaz svojstava važnijih krutih, kapljevitih i plinovitih tvari.

Na početku svakog poglavlja sažeto su prikazane teorijske osnove za rješavanje zadataka. Sve jedinice su dane po novom SI-sistemu.

Ova zbirka zadataka dobro će poslužiti studentima tehničkih fakulteta, ali i inženjerima i tehničarima iz prakse kao podsjetnik i priručnik.

H. B.

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.

APARATI ZA ZAVARIVANJE »RADE KONČAR«

PRENOSIVI TRANSFORMATORI ZA ZAVARIVANJE:

A1	90 A	— pogodni su za početnike u zavarivanju
A2	135 A	— sastavni dio kompleta »Uradi sam«
A3	160 A	— mala potrošnja električne energije
A4	180 A	— pogodni su za kućanstvo, zanatstvo,
A6	125/170 A	— za montažne i servisne radove u građevinarstvu.

ISPRAVLJAČI ZA ZAVARIVANJE:

2B1	250 A	— za ručno i gravitaciono zavarivanje
2B2	350 A	kiselim i rutilnim elektrodama u svim
2B4	600 A	pozicijama.
2B7	1400 A	

ISRPAVLJAČI ZA ZAVARIVANJE:

C21	200 A	— za sve vrste elektroda
C3	350 A	— u svim položajima
C4	400 A	— mogućnost daljinskog upravljanja sa ili bez trećeg kabela
C52	500 A	— lako se prilagođuju svim aparatima
C6	1000 A	za automatsko zavarivanje.
C7	1500 A	

POLUAUTOMATI ZA ZAVARIVANJE:

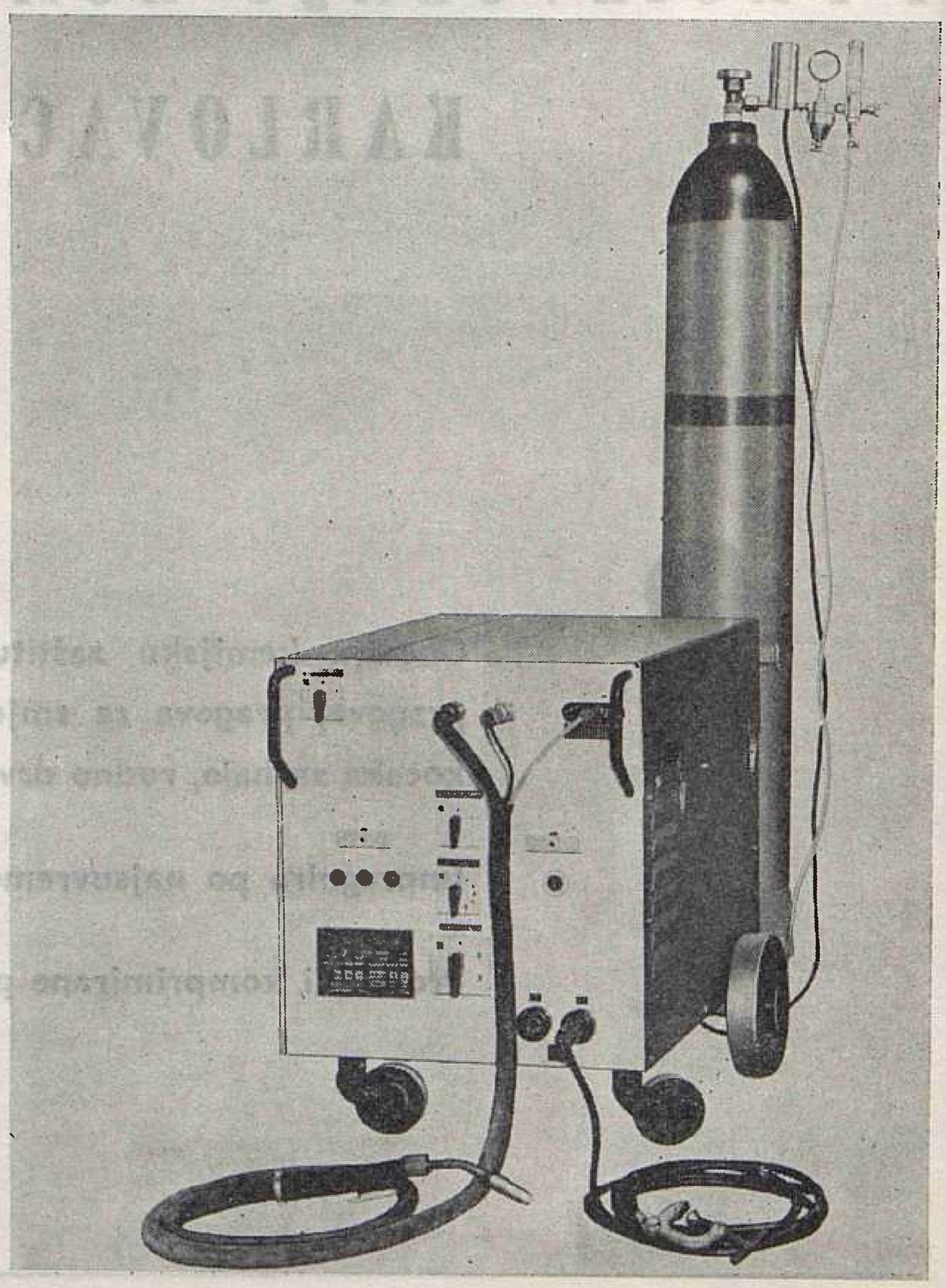
D1 200 A	— za elektrolučno zavarivanje taljivim elektrodnim žicama u zaštitnoj atmosferi plinova CO_2, argon i mješavina
D3 350 A	
D4 450 A	
D5 600 A	— kvalitetno zavarivanje tankih, srednjih i debelih limova
	— najekonomičniji postupak zavarivanja.

UNIVERZALNI UREĐAJ ZA ZAVARIVANJE TIG POSTUPKOM:

BC1
- — za zavarivanje istosmjernom i izmjeničnom strujom u zaštitnoj atmosferi plinova — TIG postupkom
- — za zavarivanje aluminija, magnezija i njihovih legura, bakra i bakrenih legura, svih vrsta čelika.

RUČNA KLIJEŠTA ZA TOČKASTO ZAVARIVANJE:

E1
- — s vremenskim regulatorom T1
- — za točkasto zavarivanje ugljičnih limova.

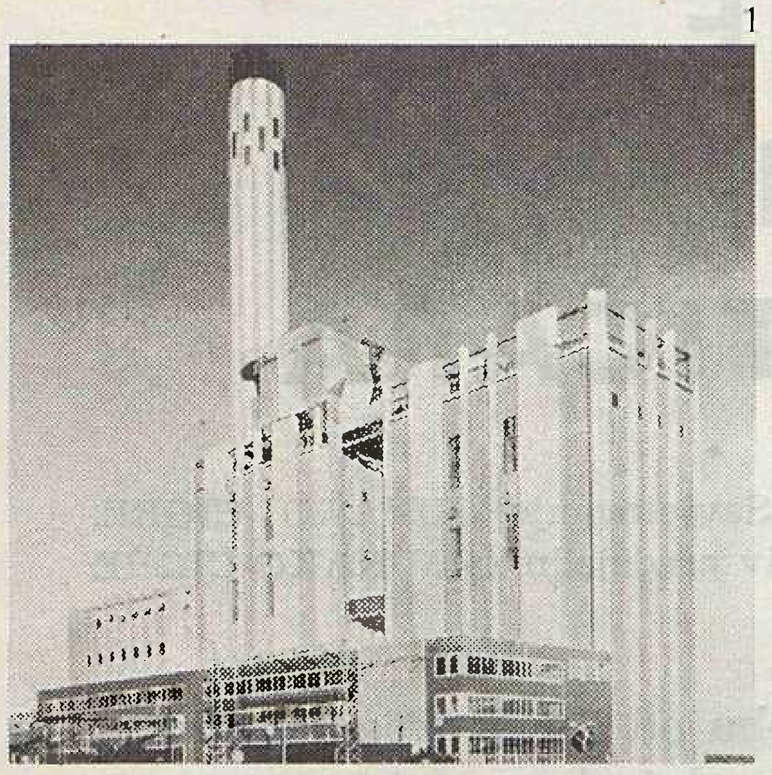


SULZER

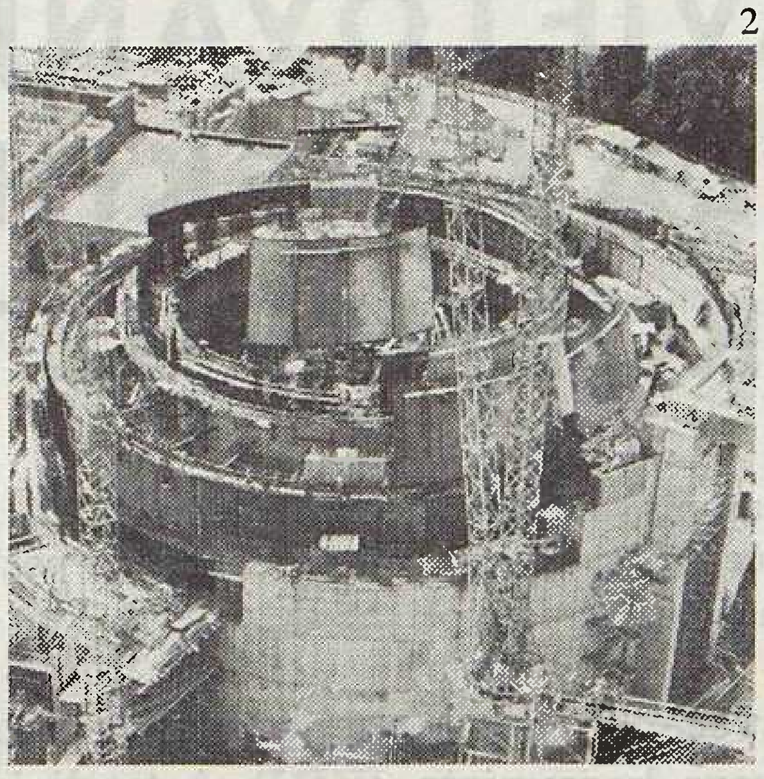
Gdje odlučuje sigurnost:

Komponente i cijeli sistemi za konvencionalnu i nuklearnu proizvodnju energije

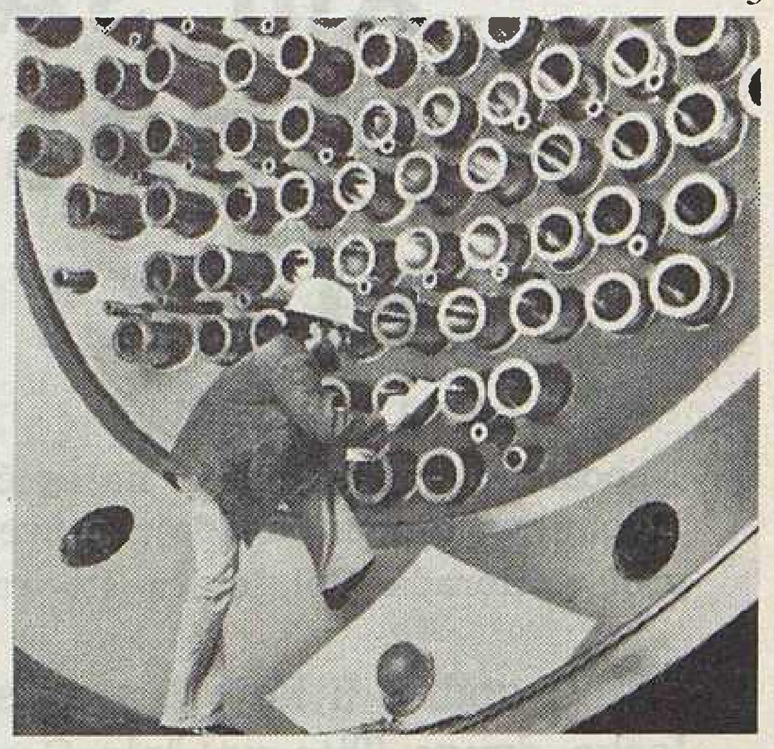
1

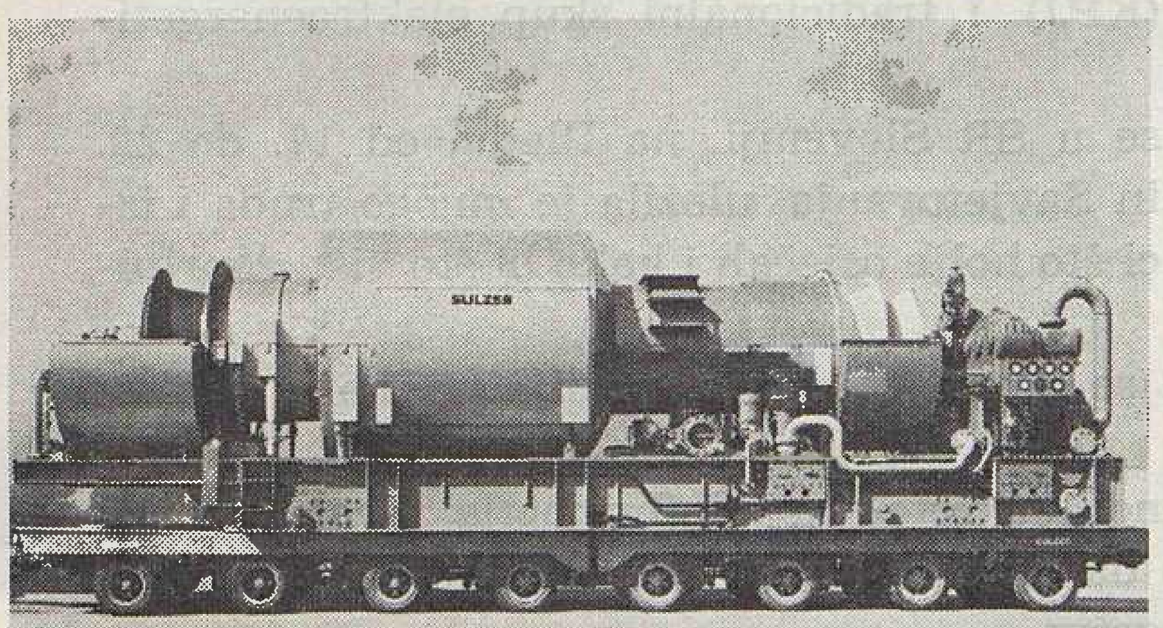


2

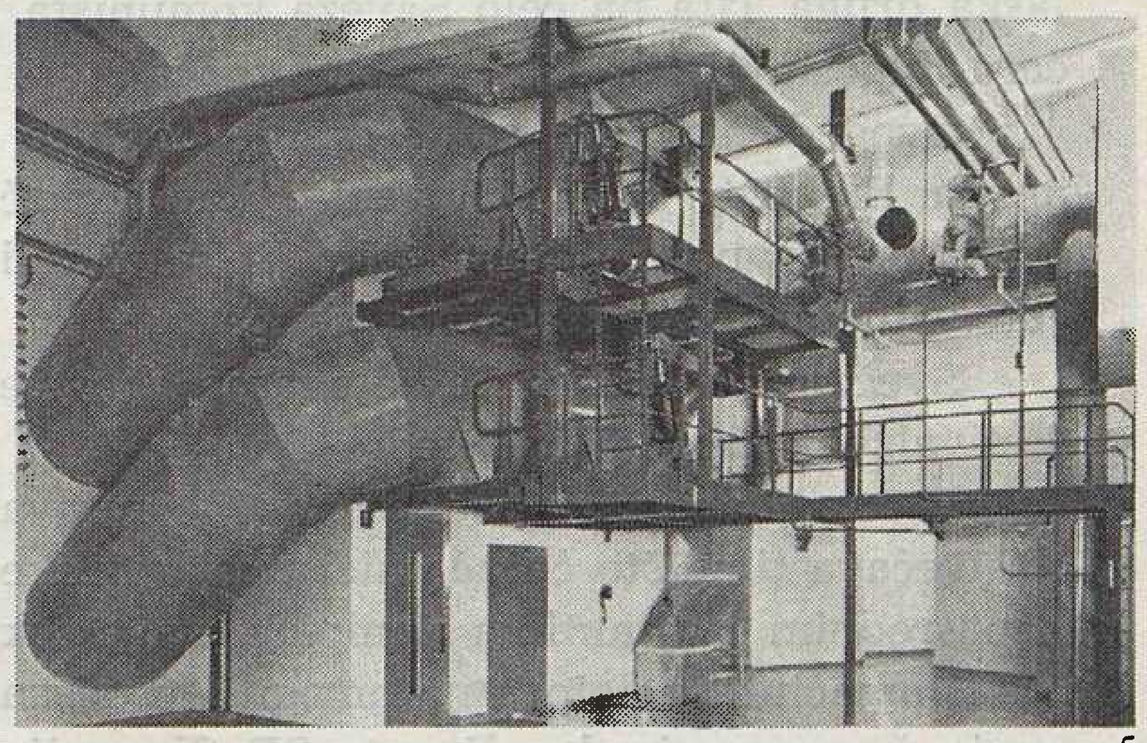


3





4



5

Bez obzira kako ćete riješiti energetski problem – SULZER-ova postrojenja i komponente čine Vašu proizvodnju energije sigurnom, pouzdanom i ekonomičnom.

Nekoliko specijaliteta iz našeg programa:

– Planiranje i gradnja parnih postrojenja za javnu opskrbu električnom energijom i vodom kao i za industrijske svrhe
– Komponente za nuklearne elektrane, kao na pr. tlačne posude, elementi za ugradnju jezgre, parni kotlovi, sigurnosni plaštevi
– Armature i regulacijski sistemi za konvencionalne i nuklearne elektrane
– Zračna i klimatska postrojenja za nuklearne elektrane
– Pojne, kondenzatorske i rashladne pumpe
– Plinske turbine za transport sirovog ulja i zemnog plina, kao i za pogon plinskih i zračnih kompresora, pumpi i generatora
– Komponente za hidroelektrane, kao na pr. vodne turbine, akumulacione pumpe, pumpe-turbine i t.d.
– Električni kotlovi za iskorištavanje viška energije.

1 Toplana Västerås, Aroskraft AB u Švedskoj opremljena s dva jednocijevna parna kotla, svaki od 890 t/h, 189 bar-a kod 540/540 °C.
Parni kotlovi zavarene izvedbe načinjeni su u obliku tornja i ovješeni u kotlovnici. Pogon kotla moguć je i kod malog opterećenja. Snaga turbogeneratorske grupe iznosi 250 MW po bloku.

2 Montaža sigurnosnog plašta kod nuklearnog reaktora hladjenog tlačnom vodom snage 920 MW. Postavljanje zavarenog četverodjelnog kuglinog segmenta na provizornom montažnom mjestu. Promjer kugle 52 m, debljina stijenke 32 mm.

3 Donji dio reaktorske tlačne posude s napravom za upravljanje štapova i mjernim nastavcima jezgrinog toka kod nuklearnog reaktora hladjenog vrelom vodom snage 770 MW.

4 Plinska turbina, tipa S 7, pripremljena za transport za Irak.

5 Opskrba zrakom u zgradi reaktora nuklearne elektrane Mühleberg (Švicarska) kroz dovodne i odvodne zračne cijevi, nazivnog promjera 1500, na čijim krajevima su učvršćene pneumatske zaklopke koje se automatski zatvaraju.

SULZER®

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft, CH-8401 Winterthur, Švicarska, Telex 76165, Tel. 052 81 11 22

21 W. 120 sk

XIII SAVJETOVANJE JUGOSLAVENSKIH ELEKTROENERGETIČARA

Neposredno prije izlaska našeg časopisa održano je na Bledu XIII Savjetovanje JUNAKO CIGRE. Ovom značajnom događaju posvećen je ovaj dvobroj, pa donosimo poziv predsjednika JUNAKO CIGRE prof. Milorada Velaševića što ga je napisao uoči Savjetovanja.

U godini u kojoj na najsvečaniji način obilježavamo epohu od četiri decenije od dolaska druga Tita na čelo Saveza komunista (KPJ), i tradicionalni skup elektroenergetičara Jugoslavije dobija poseban značaj.

Ovogodišnje XIII savjetovanje održaće se u SR Sloveniji, na Bledu, od 17. do 22. aprila. Elektroprivreda Slovenije, kao domaćin Savjetovanja, uložila je mnogo truda i izvršila svestrane pripreme kako bi se učesnici što bolje osjećali i kako bi što više doprinijeli uspjehu ovog značajnog skupa.

Svečano otvaranje Savjetovanja obaviće se dana 17. aprila, poslije podne u velikoj festivalskoj dvorani na Bledu.

U toku dana biće podnešeno i diskutovano 180 referata i informacija. Značaj skupa se uvećava time što će učesnici imati prilike da prošire krug značajnih poznanstava i u neposrednim kontaktima izmijene svoja iskustva.

Domaćini Savjetovanja omogućiće učesnicima da, posredstvom ekskuzija — upoznaju čuvene prirodne ljepote SR Slovenije i njenja značajna tehnička dostignuća.

Trinaesto savjetovanje Jugoslovenskog nacionalnog komiteta CIGRE održava se u jubilarnoj godini jugoslovenske elektroprivrede, koja slavi 20-godišnjicu tehnički jedinstvenog elektroenergetskog sistema.

Od spajanja sistema 110 kV, krajem 1957. godine, do današnjeg sistema 400 kV, u intenzivnoj izgradnji — pređen je dug i naporan put. Razvoju elektroprivrede u ovom periodu , naša organizacija dala je značajan doprinos.

Na redovnim dvogodišnjim savjetovanjima, na specijalizovanim simpozijima i sastancima studijskih komiteta, razmatrani su mnogi aktuelni problemi i vršena razmjena iskustva koja su poslužila rješavanju brojnih problema elektroenergetike u našoj zemlji i mnogo doprinijela usavršavanju stručnjaka ove oblasti.

Pozivamo sve one koji su stvaralački zainteresirani za probleme rada i razvoja elektroenergetike da prisustvuju Savjetovanju i putem referata i diskusija doprinesu ugledu skupa i bržem rastu nauke i tehnike.

Pozivamo privredne i radne organizacije da za ovo značajno Savjetovanje prijave i upute svoje stručnjake. Od posebnog je značaja ukazivanje povjerenja i pružanje mogućnosti da na Savjetovanju brojnije učestvuju mladi stručnjaci koji će novim idejama unaprijediti našu naučno-tehničku misao i unijeti svježinu u naše organizacije.

U povodu ove velike manifestacije stručnjaka elektroprivrede i elektroindustrije ovaj dvobroj našeg lista donosi nekoliko zapaženijih referata za koje smo smatrali da su od šireg interesa.

GOD. 26 (1977) energija BROJ 3—4

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

USPOREDBA TIPOVA ELEKTRANA ZA POKRIVANJE VRŠNIH OPTEREĆENJA

Hrvoje Požar — Zlatko Frajman, Zagreb

Uklapanjem u promatrani elektoenergetski sistem različitih tipova vršnih elektrana može se odrediti njihov utjecaj na odnose u sistemu, pa tako i doći do zaključka o ekonomičnosti njihove izgradnje, te o prednostima tipova vršnih elektrana. Rezultati jedne takve analize prikazani su u ovom referatu.

DK 621.311.2.004

1. UVOD

Ovaj je referat kratak prikaz studije »Usporedba utjecaja izgradnje različitih tipova vršnih elektrana na elektroenergetski sistem Hrvatske«, koja je izrađena u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu. Svrha je studije da ukaže na osnovnu orijentaciju za izbor tipova vršnih elektrana kakve bi trebalo graditi u promatranom sistemu.

Studija je izrađena primjenom metoda razvijenih u Institutu za elektroprivredu.

Razmatran je široki raspon različitih utjecaja i parametara (povećanje troškova za gorivo, povećanje specifičnih investicija vršnih i nuklearnih elektrana, povećanje cijena nuklearnog goriva, utjecaj tipa dopunskih termoelektrana), kako bi se moglo doći do zaključka o opravdanosti detaljnijeg studija pojedinih tipova vršnih elektrana i tako eliminirati onakva postrojenja koja nemaju izgleda za izgradnju.

2. RAZMATRANI TIPOVI VRŠNIH ELEKTRANA

U svim slučajevima računato je s polaznim vrijednostima za investicije, godišnje troškove i specifične troškove za gorivo, kako bi se dobila baza za usporedbu. Te su polazne vrijednosti naknadno varirane.

Analizirano je pet tipova vršnih elektrana: termoelektrana s plinskim turbinama, vršnih konvencionalnih termoelektrana loženih ugljenom, vršnih konvencionalnih termoelektrana loženih tekućim gorivima, pumpno-akumulacijskih postrojenja i već izgrađenih hidroelektrana s povećanjem instaliranih snaga.

Polazne karakteristike vršnih elektrana jesu:

a) termoelektrane s plinskim turbinama. Jedinična snaga elektrane 100 MW, pri tome je — s obzirom na način korištenja — svejedno radi li se o 4 agregata snage po 25 MW, tri agregata po 33,3 MW ili 2 agregata po 50 MW. Specifične investicije: $3{,}40 \cdot 10^6$ d/MW na generatoru. Specifični troškovi za gorivo: 1,090 d/kWh. U svim razmatranim slučajevima računato je s dvije varijante investicija: 1,0 PL (osnovne investicije) i 1,2 PL (investicije povećane za 20 %).

b) vršne konvencionalne termoelektrane ložene ugljenom. Jedinična snaga 200 MW. Specifične investicije: $5{,}568 \cdot 10^6$ d/MW na generatoru. Specifični troškovi za gorivo: 0,310 d/kWh. Razmatrane su dvije varijante investicija: 1,0 VK (osnovne investicije) i 1,1 VK (investicije povećane za 10 %).

c) vršne konvencionalne termoelektrane ložene loživim uljem. Specifične investicije: $4{,}950 \cdot 10^6$ d/MW na generatoru. Specifični troškovi za gorivo: 0,395 d/kWh. Jedinična snaga 200 MW. Razmatrane su dvije varijante investicija: 1,0 VT (osnovne investicije) i 1,1 VT (investicije povećane za 10 %).

d) pumpno-akumulacijska postrojenja. Jedinična snaga 100 MW. Specifične investicije $3{,}40 \cdot 10^6$ d/MW. Razmatrane su tri varijante investicija: 1,0 PAP (osnovne investicije), 1,5 PAP (investicije povećane za 50%) i 2,0 PAP (investicije povećane za 100%).

e) povećanje instalirane snage HE A. Ta hidroelektrana ima instaliranu snagu od 232,7 MW i prosječnu godišnju proizvodnju od 745,1 GWh, te akumulacijski bazen za višegodišnju regulaciju. S povećanjem instalirane snage vrlo se malo povećava mogućnost proizvodnje. Za promatrana povećanja snage povećanje moguće proizvodnje iznosi:

100 MW	6,2 GWh
200 MW	8,0 GWh
300 MW	9,3 GWh

a dalje povećanje snage ne pridonosi povećanju proizvodnje. Računato je s tri varijante investicija: 1,0 HE A, 1,5 HE A i 2,0 HE A. Iznos specifičnih investicija za pojedine varijante jednak je onomu za pumpno-akumulacijska postrojenja.

f) povećanje instlirane snage HE B. Hidroelektrana B ima instaliranu snagu 432,0 MW, prosječnu godišnju proizvodnju od 1837,3 GWh i bazen za godišnju regulaciju, ali sa znatnim nereguliranim međudotokom. S povećanjem snage postiže se ovo povećanje mogućnosti proizvodnje:

100 MW	30,9 GWh
200 MW	40,3 GWh
300 MW	42,1 GWh
400 MW	42,5 GWh

Dalje povećanje snage ne utječe na povećanje proizvodnje. Analizirane su varijante investicija: 1,0 HE B, 1,5 HE B i 2,0 HE B. Varijante odgovaraju onima pumpno-akumulacijskih postrojenja.

g) povećanje instalirane snage HE C. Hidroelektrana C ima instaliranu snagu od 216,0 MW, prosjećnu godišnju proizvodnju od 1164,6 MW, i akumulacijski bazen za sezonsku regulaciju. S povećanjem snage postiže se ovo povećanje proizvodnje:

100 MW	152,3 GWh
200 MW	225,1 GWh
300 MW	257,6 GWh
400 MW	273,9 GWh
500 MW	280,9 GWh
600 MW	283,5 GWh
700 MW	283,7 GWh

Dalje povećanje snage ne utječe na proizvodju HE C. Razmatrane su slijedeće varijante investicija: 1,0 HE C, 1,5 HE C i 2,0 HE C. Specifične investicije za pojedine varijante odgovaraju onima za pumpno-akumulacijska postrojenja.

Sve su analize provedene uz dvije pretpostavke o elektranama koje se grade kao dopunske termoelektrane, i to:

a) kao dopunske termoelektrane grade se konvencionalne termoelektrane ložene ugljenom s agregatima snage 300 MW, tehničkog minimuma 40 % od maksimalne snage. Specifične investicije: $6{,}75 \cdot 10^6$ d/MW na generatoru. Specifični troškovi za gorivo: 0,200 d/kWh;

b) kao dopunske termoelektrane grade se nuklearne elektrane s agregatima snage 800 MW, tehničkog minimuma 50 % od maksimalne snage. Specifične investicije: $10{,}00 \cdot 10^6$ d/MW na generatoru. Specifični troškovi za gorivo: 0,040 d/kWh.

U ovom referatu prikazat će se rezultati analize za sistem s maksimalnim opterećenjem od 7 785 MW i godišnjim konzumom od 45 661 GWh, te s hidroelektranama koje imaju maksimalnu snagu 2 900 MW i moguću godišnju proizvodnju od 11 364 GWh. Treba naglasiti da su u spomenutom elaboratu analizirane i prilike za dva manja nivoa konzuma.

Analiza je provedena i s obzirom na godišnje troškove i s obzirom na zbroj aktualiziranih troškova i investicija.

Kad je računato s godišnjim troškovima, pretpostavljeno je da su kvote godišnjih troškova: 20 % za termoelektrane, a 18 % za hidroelektrane.

Aktualizirane investicije i troškovi izračunati su uz ove pretpostavke:

a) životni vijek je termoelektrana svih tipova 25 godina, a hidroelektrana i pumpno-akumulacijskih postrojenja 50 godina. Prema tome, za vrijeme životnog vijeka hidroelektrane potrebno je zamijeniti dotrajalu termoelektranu, što se uzima u obzir prilikom određivanja aktualiziranih investicija za termoelektrane.

b) stalni pogonski troškovi iznose: u konvencionalnim termoelektranama uključujući i termoelektrane s plinskim turbinama 4,8 % u nuklearnim elektranama 4,2 %, a u hidroelektranama, uključujući i pumpno-akumulacijska postrojenja, 2,4 %. Svi navedeni postoci odnose se na investicije.

c) stopa aktualizacije iznosi 8 %.

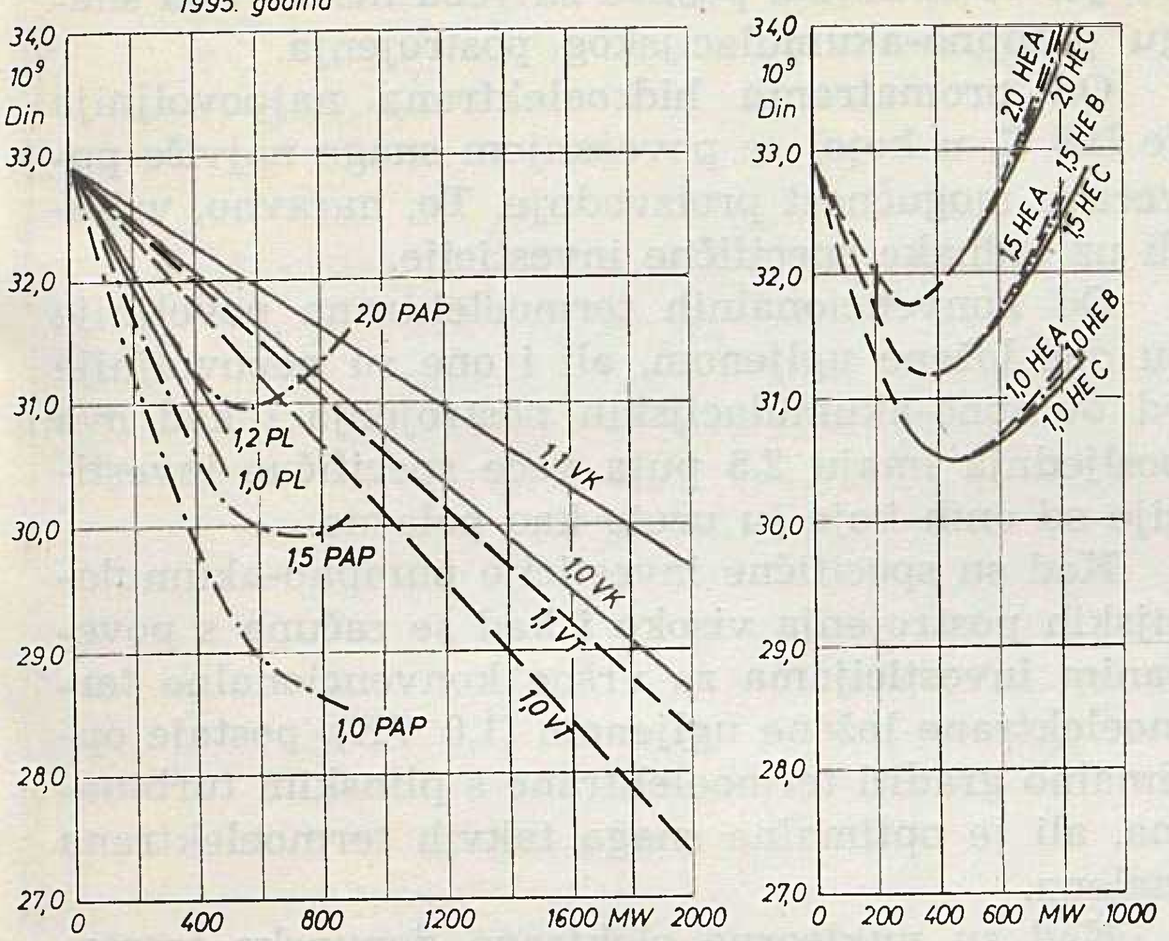
Stalni troškovi i troškovi za gorivo izračunati su za razdoblje od 50 godina i aktualizirani su na početak promatrane godine.

3. USPOREDBA INVESTICIJA

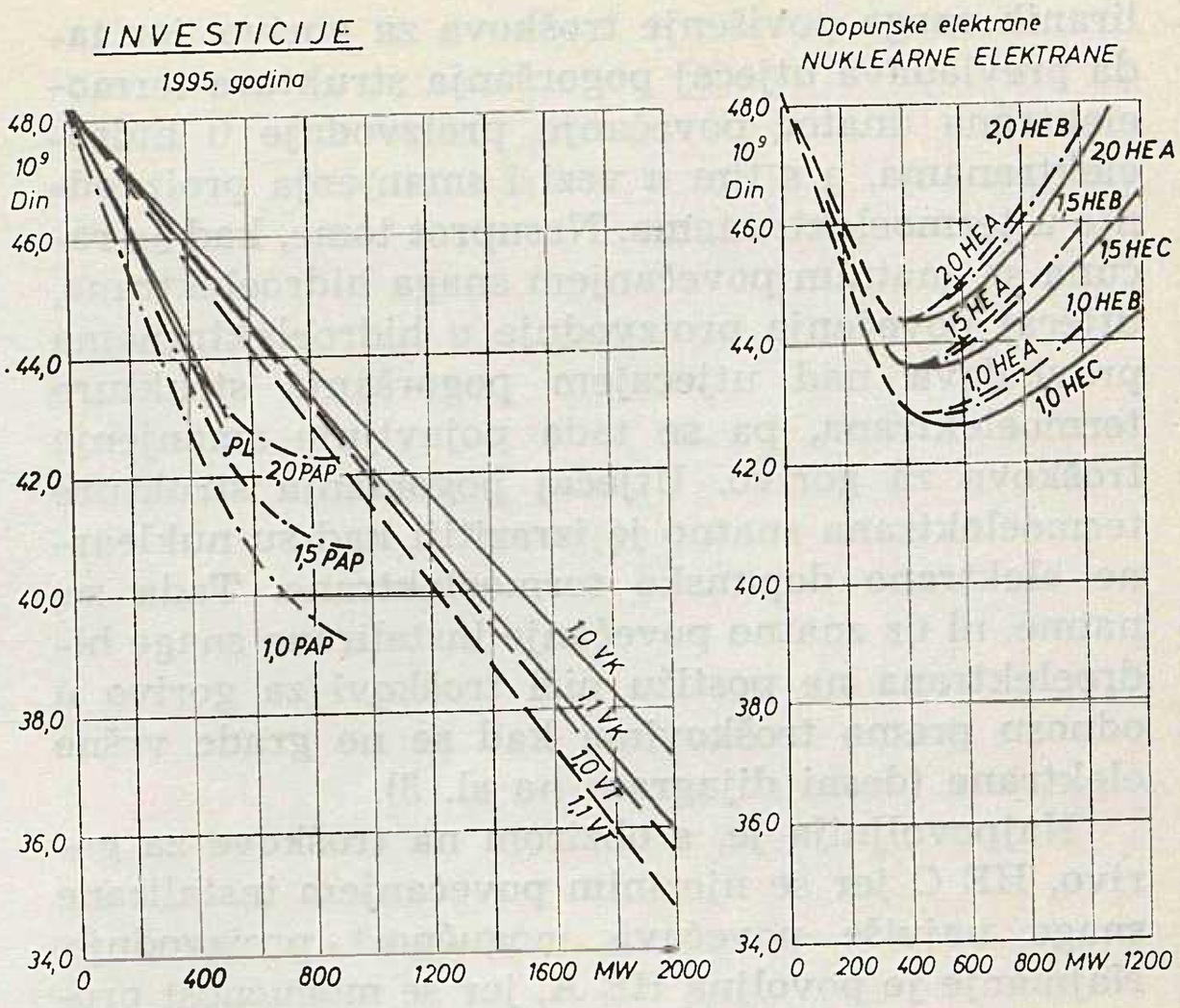
Ovisnost potrebnih investicija o snazi pojedinih tipova vršnih elektrana vidi se na sl. 1. za slučaj kad se računa s konvencionalnim kao dopunskim termoelektranama, a na sl. 2. kad su nuklearne elektrane dopunske termoelektrane.

Investicije u sistemu, koje obuhvaćaju investicije za vršne elektrane, sa snagom koja je označena na apsicisi dijagrama na sl. 1. i 2, i investicije za potrebne dopunske termoelektrane opadaju s povećanjem instalirane snage vršnih termoelektrana. To vrijedi za sve tipove vršnih termoelektrana (termoelektrane s plinskim turbinama, konvencionalne vršne termoelektrane). Naravno da bi se konzum zadovoljio uz najmanje investicije kad bi se gradile termoelektrane s plinskim turbinama, što slijedi iz dijagrama (za veće snage takvih termoelektrana trebalo bi pravce samo produljiti).

Kad se grade pumpno-akumulacijka postrojenja ili povećava snaga hidroelektrana, investicije za male snage takvih vršnih postrojenja opadaju s povećanjem snage. Za veće snage vršnih postrojenja, međutim, nakon što je postignut minimum investicija, one rastu s povećanjem snage. Tada, naime, povećana snaga vršnih elektrana sve manje smanjuje potrebnu izgradnju dopunskih termoelektrana, pa se praktički bez koristi povećavaju investicije za vršna postrojenja. S obzirom na visinu investicija povoljnija su pumpno-akumulacijska postrojenja od povećanja snage u hidroelektranama, jer se izgradnjom pumpno-akumulacijskih postrojenja više smanjuje potrebna izgradnja dopunskih termoelektrana. Takva postrojenja mogu, na-



Sl. 1.



Sl. 2.

ime, i u najnepovoljnijim hidrološkim prilikama proizvesti dovoljno energije za pokrivanje vršnog dijela dijagrama opterećenja, jer proizvodnja ovisi samo o trajanju pumpanja. Nasuprot tome, u hidroelektranama mogućnost proizvodnje ovisi o hidrološkim prilikama. Ta prednost pumpno-akumulacijiskih postrojenja naročito dolazi do izražaja kad su nuklearne elektrane dopunske termoelektrane (sl. 2), jer se tada smanjenjem potrebne snage dopunskih termoelektrana postižu veće uštede investicija. U tom slučaju — s obzirom na investicije — povoljnija je izgradnja pumpno-akumulacijskih postrojenja s dvostruko većim specifičnim investicijama (2,0 PAP) od specifičnih investicija za povećanje instalirane snage najpovoljnije promatrane hidroelektrane (1,0 HE C, sl. 2).

4. USPOREDBA TROŠKOVA ZA GORIVO

Ovisnost troškova za gorivo o tipu i snazi vršnih hidroelektrana vidi se na sl. 3, i to za obje varijante dopunskih termoelektrana.

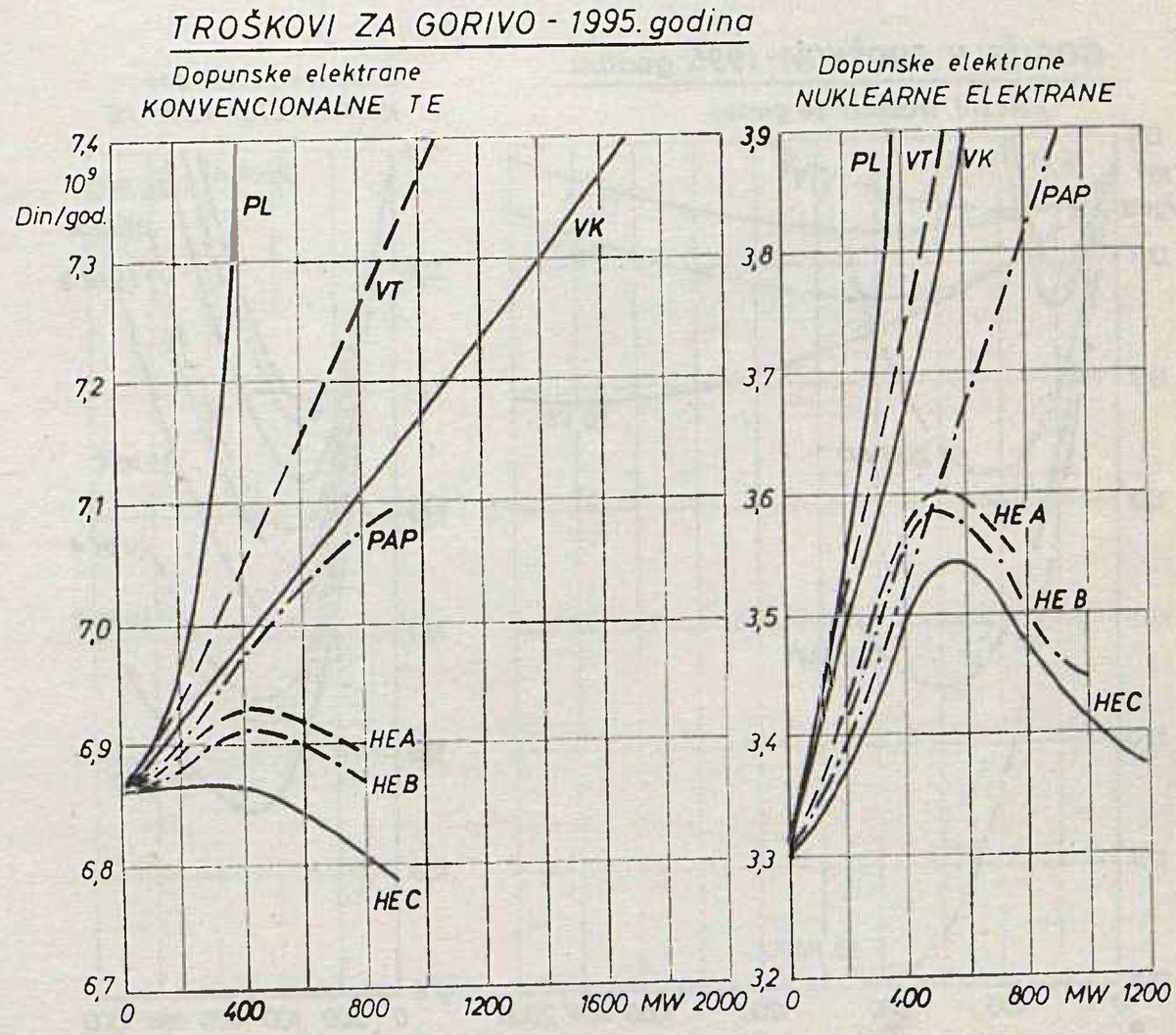
Izgradnjom termoelektrana s plinskim turbinama najviše se povećavaju troškovi za gorivo s povećanjem snage tog tipa termoelektrana. To je i razumljivo jer su specifični troškovi za gorivo u takvom tipu najviši.

Slična je situacija i u slučaju izgradnje konvencionalnih vršnih termoelektrana, ali je tu povećanje troškova za gorivo to niže što su specifični troškovi u vršnim termoelektranama manji.

Porast troškova za gorivo znatno je brži s povećanjem snage vršnih termoelektrana kad se nuklearne elektrane grade kao dopunske termoelektrane, jer se tada proizvodnjom vršnih termoelektrana zamjenjuje proizvodnja u nuklearnim elektranama sa znatno nižim specifičnim troškovima za gorivo nego u vršnim termoelektranama.

Izgradnjom pumpno-akumulacijskih postrojenja povećavaju se troškovi za gorivo. To je posljedica povećanja potrebne proizvodnje u termoelektranama zbog potrebnog pumpanja, a također i posljedica pogoršanja strukture termoelektrana u sistemu (smanjenje snage dopunskih termoelektrana, koje imaju niže specifične troškove za gorivo od postojećih termoelektrana). Pogoršanje strukture termoelektrana naročito je izrazito kad su nuklearne elektrane dopunske termoelektrane. Tada se, naime, znatno brže povećavaju troškovi za gorivo s povećanjem snage pumpno-akumulacijskih postrojenja nego u slučaju kad su konvencionalne dopunske termoelektrane.

S povećanjem instalirane snage postojećih hidroelektrana pojavljuje se uz manja povećanja insta-



Sl. 3.

liranih snaga povišenje troškova za gorivo, jer tada prevladava utjecaj pogoršanja strukture termoelektrana unatoč povećanju proizvodnje u hidroelektranama, a s tim u vezi i smanjenja proizvodnje u termoelektranama. Nasuprot tome, kad se računa sa znatnim povećanjem snaga hidroelektrana, utjecaj povećanja proizvodnje u hidroelektranama prevladava nad utjecajem pogoršanja strukture termoelektrana, pa se tada pojavljuje smanjenje troškova za gorivo. Utjecaj pogoršanja strukture termoelektrana znatno je izrazitiji kad su nuklearne elektrane dopunske termoelektrane. Tada se, naime, ni uz znatno povećanje instalirane snage hidroelektrana ne postižu niži troškovi za gorivo u odnosu prema troškovima kad se ne grade vršne elektrane (desni dijagram na sl. 3).

Najpovoljnija je, s obzirom na troškove za gorivo, HE C jer se njezinim povećanjem instalirane snage najviše povećava mogućnost proizvodnje. Najmanje je povoljna HE A, jer se mogućnost proizvodnje praktički ne povećava s povišenjem instalirane snage.

5. USPOREDBA PREMA GODIŠNJIM TROŠKOVIMA

Kad se odrede godišnji troškovi u promatranoj godini razvoja elektroenergetskog sistema za analizirane varijante izgradnje vršnih elektrana, dobivaju se dijagrami na sl. 4. i 5.

Kad su konvencionalne termoelektrane dopunske termoelektrane (sl. 4), izgradnja je pumpno-akumulacijskih postrojenja povoljnija od povećanja instalirane snage u hidroelektranama uz pretpostavku istih specifičnih investicija po jedinici snage. To pogotovo vrijedi kad su specifične investicije niske. Za veće specifične investicije troškovi u slučaju izgradnje pumpno-akumulacijskog postrojenja izjednačuju se s troškovima u slučaju povećanja snage u najpovoljnijoj hidroelektrani (HE C), jer se optimum postiže za veću instaliranu snagu pumpno-akumulacijskog postrojenja.

Od promatranih hidroelektrana najpovoljnija je HE C, u kojoj se povećanjem snage najviše povećava mogućnost proizvodnje. To, naravno, vrijedi uz jednake specifične investicije.

Od konvencionalnih termoelektrana povoljnije su one ložene ugljenom, ali i one su nepovoljnije od pumpno-akumulacijskih postrojenja i kad ova posljednja imaju 2,5 puta veće specifične investicije od onih koje su uzete kao polazne.

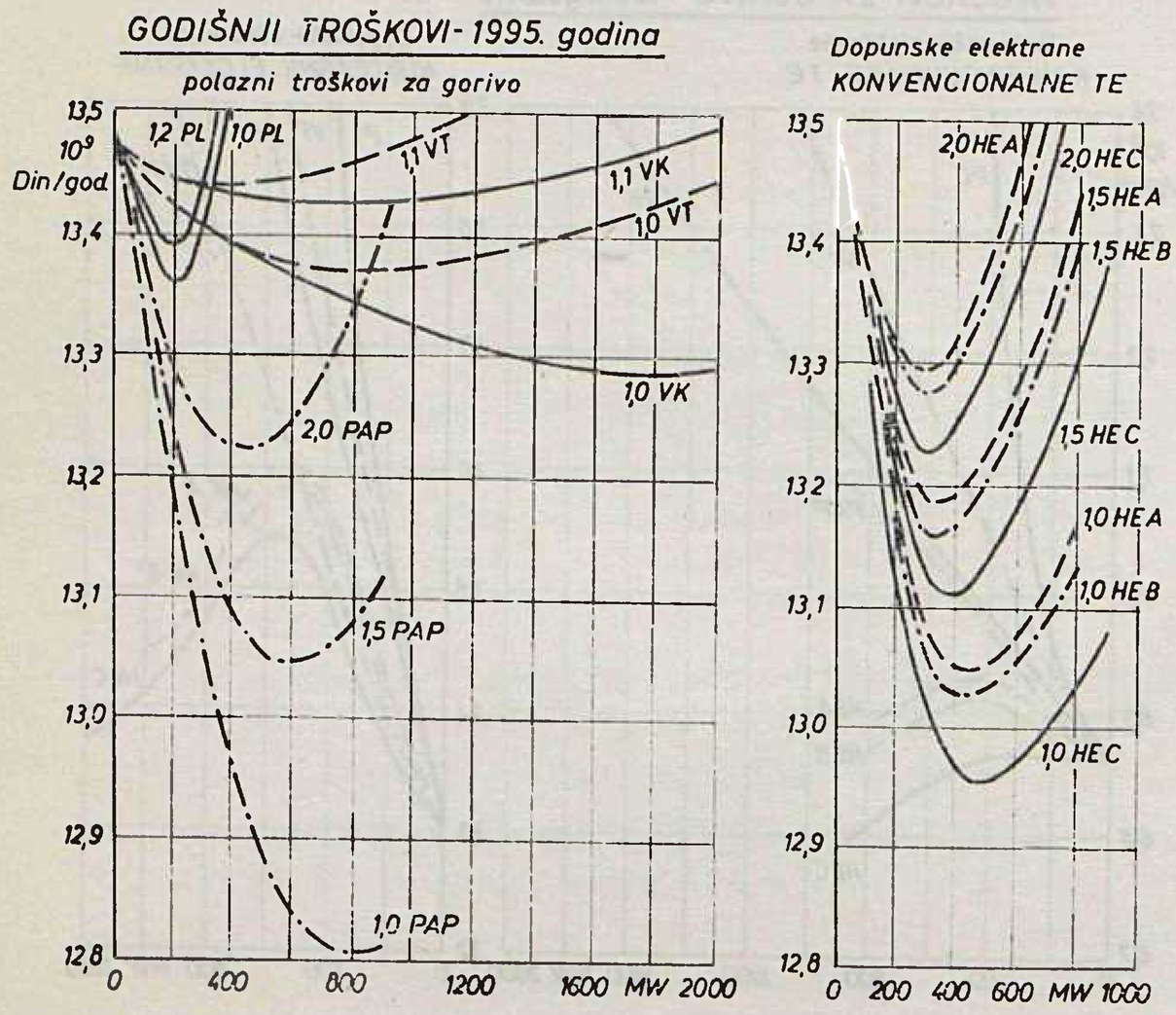
Kad su specifične investicije pumpno-akumulacijskih postrojenja visoke i kad se računa s povećanim investicijama za vršne konvencionalne termoelektrane ložene ugljenom (1,0 VK), postaje optimalno graditi termoelektrane s plinskim turbinama, ali je optimalna snaga takvih termoelektrana malena.

Kad su nuklearne elektrane dopunske termoelektrane (sl. 5), još je izrazitija prednost pumpno-akumulacijskih postrojenja pred drugim tipovima vršnih termoelektrana. U usporedbi s povećanjem snage hidroelektrana, pumpno-akumulacijska postrojenja imaju prednost pred hidroelektranama i onda kad su za izgradnju takvih postrojenja potrebne i za 50 % veće investicije nego za povećanje snage u hidroelektranama.

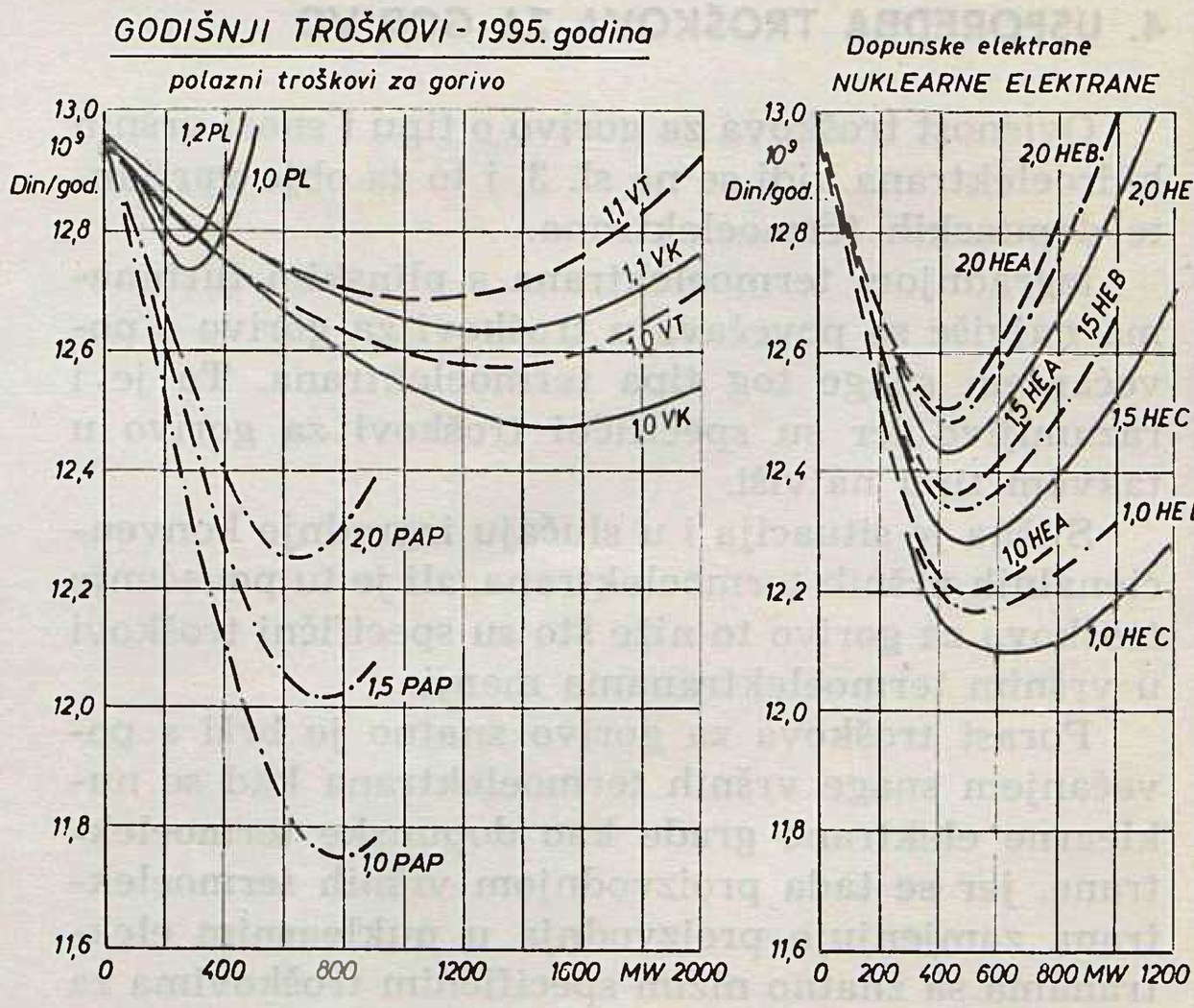
6. USPOREDBA PREMA AKTUALIZIRANIM INVESTICIJAMA I TROŠKOVIMA

Za usporedbu varijanata izgradnje vršnih elektrana prema aktualiziranim investicijama i troškovima mogu poslužiti dijagrami na sl. 6. i 7.

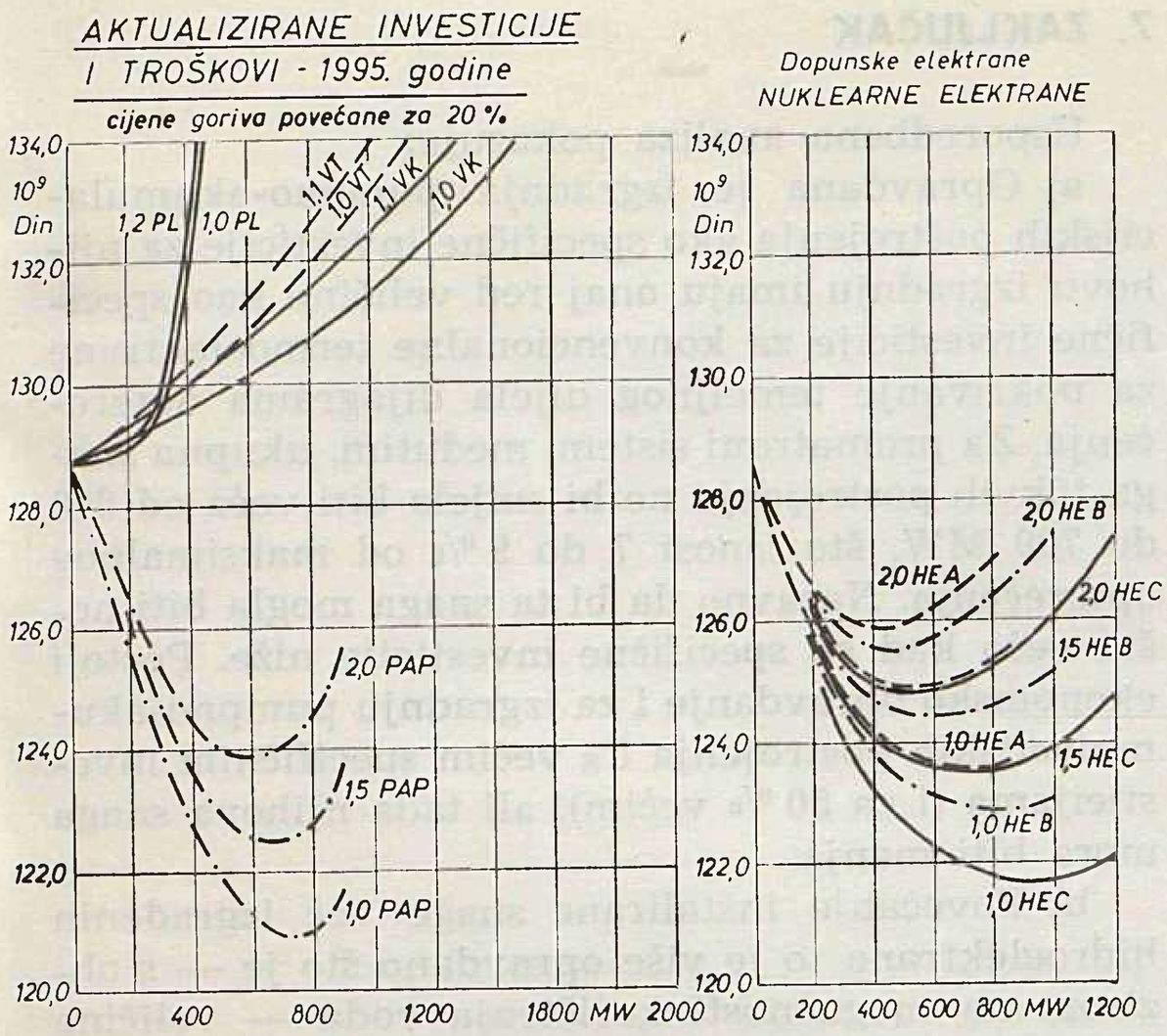
Kad se računa s konvencionalnim termoelektranama kao dopunskim (sl. 6), još je veća prednost na strani pumpno-akumulacijskih postrojenja i hi-



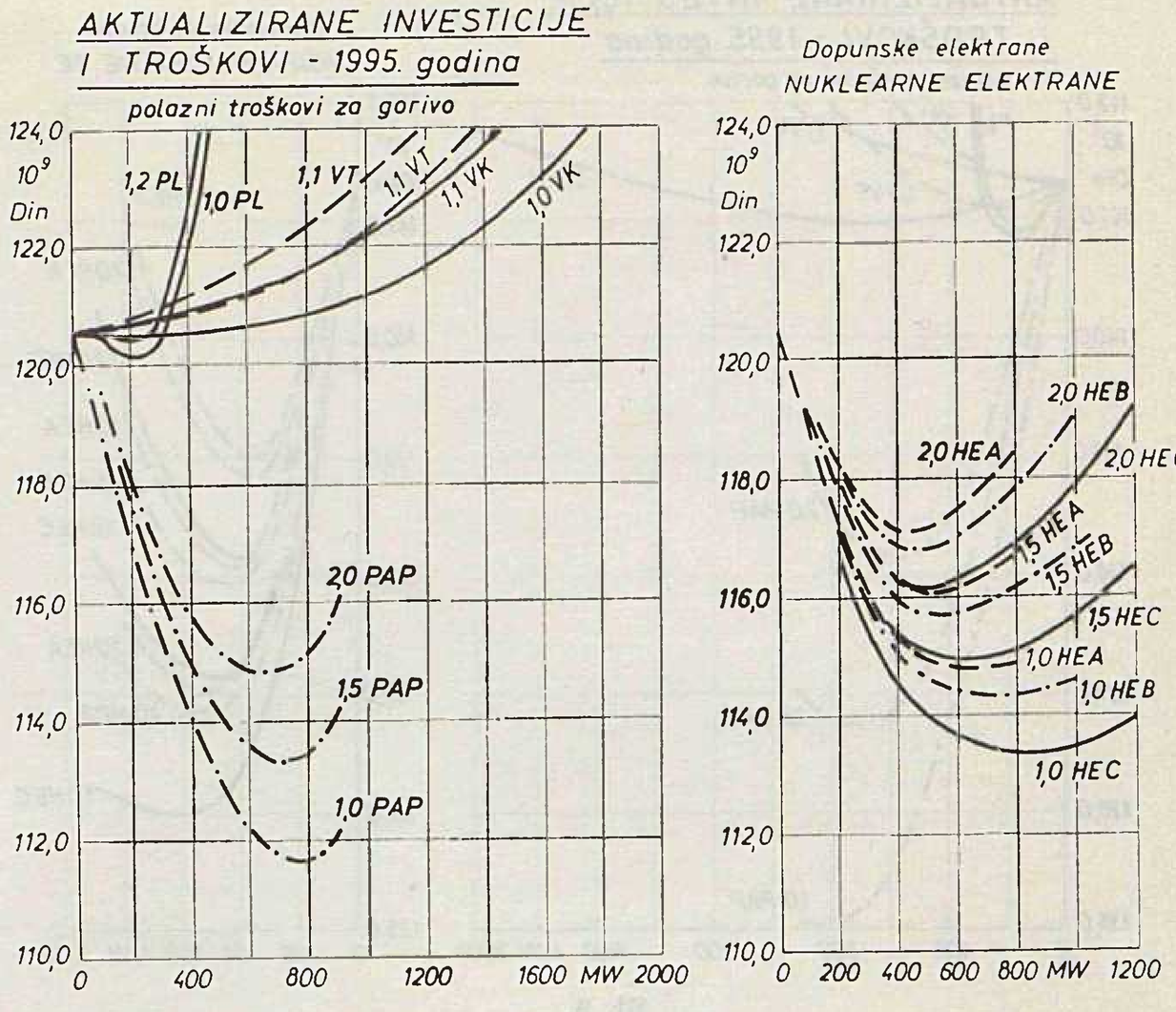
Sl. 4.



Sl. 5.



Sl. 6.



Sl. 7.

droelektrana u uspredbi sa ovim promatranim tipovima vršnih termoelektrana. Takav odnos je posljedica duljeg vijeka trajanja postrojenja koja iskorištavaju vodu kao pogonsko sredstvo, ali i većeg utjecaja troškova za gorivo, jer oni s aktualiziranjem dobivaju veću težinu. Kako se može zaključiti iz dijagrama, specifične investicije za pumpno-akumulacijska postrojenja i za povećanje snage hidroelektrana mogu biti i više od tri puta veće od osnovnih (faktor 3), pa da još vršne termoelektrane budu nepovoljnije.

Razlika između pumpno-akumulacijskih postrojenja i hidroelektrana sada je manja nego u slučaju kad se promatraju samo godišnji troškovi. To je posljedica veće težine troškova za gorivo, jer se oni brže povećavaju s povećanjem snage pumpno-akumulacijskih postrojenja nego s povećanjem snage hidroelektrana. Unatoč tome povoljnija je izgradnja pumpno-akumulacijskih postrojenja nego povećanje snage hidroelektrana kad se radi o jednakim specifičnim investicijama.

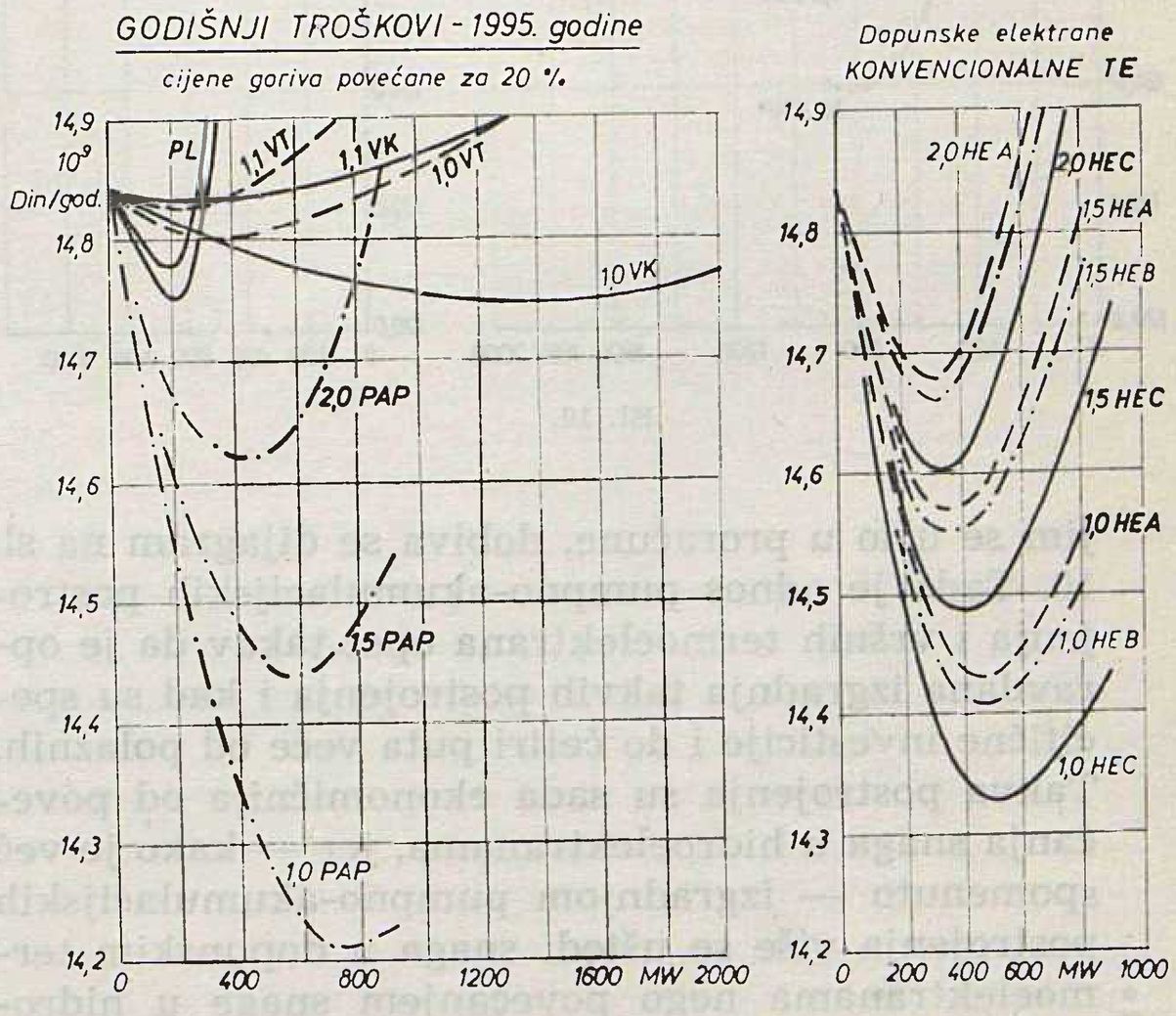
Ako se, međutim, računa s nuklearnim elektranama kao dopunskim termoelektranama (sl. 7.), razlike između vršnih termoelektrana i postrojenja s vodom kao pogonskim sredstvom postaju još veće. Tada, naime, još više dolazi do izražaja razlika u vijeku trajanja, jer su specifične investicije za nuklearne elektrane više. Specifične investicije za pumpno-akumulacijska postrojenja mogu biti i četiri puta veće od osnovnih (faktor 4) pa da takva postrojenja još budu ekonomičnija od promatranih vršnih termoelektrana.

I sada se pokazuje da su uz jednake specifične investicije povoljnija pumpno-akumulacijska postrojenja od povećanja snage u hidoelektranama.

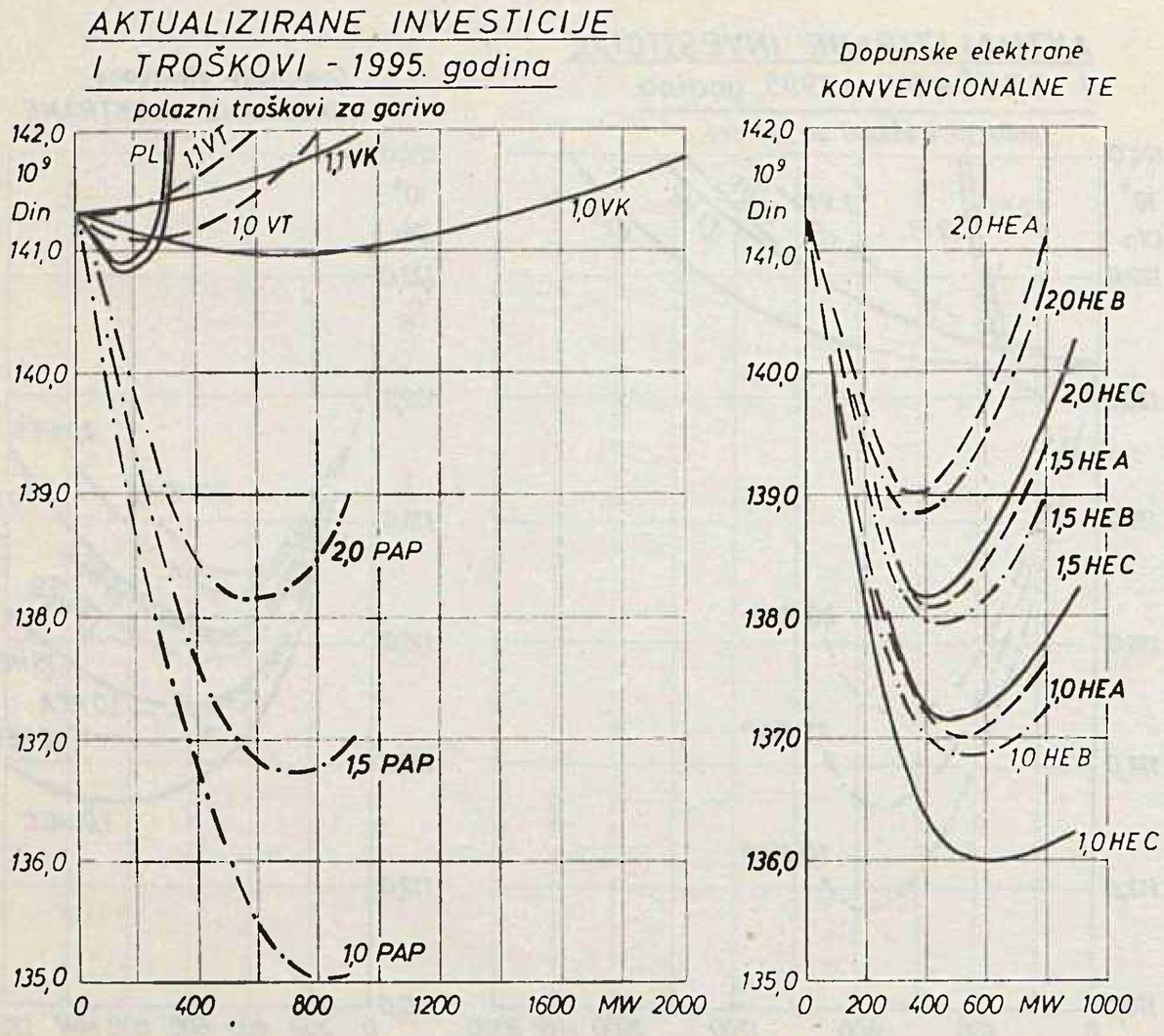
Kad se računa s povećanom cijenom goriva u svim termoelektranama (sl. 8. i 9), ne mijenja se bitnije odnos među vršnim termoelektranama i elektranama s vodom kao pogonskim sredstvom, ali povećanje snage u hidroelektranama uz jednake specifične investicije praktički se izjednačuje s obzirom na ekonomičnost s pumpno-akumulacijskim postrojenjima.

Pogotovo su nepovoljne vršne termoelektrane kad su nuklearne elektrane dopunske termoelektrane (sl. 9) i kad se računa s povišenim troškovima za gorivo (povišenje za 20 %). Tada se, naime, pokazuje da nema opravdanja graditi takve vršne elektrane ma kako bile visoke investicije za pumpno-akumulacijska postrojenja i za povećanje snage hidroelektrana, jer se za vršne termoelektrane minimum aktualiziranih investicija i troškova pojavljuje za snagu nula.

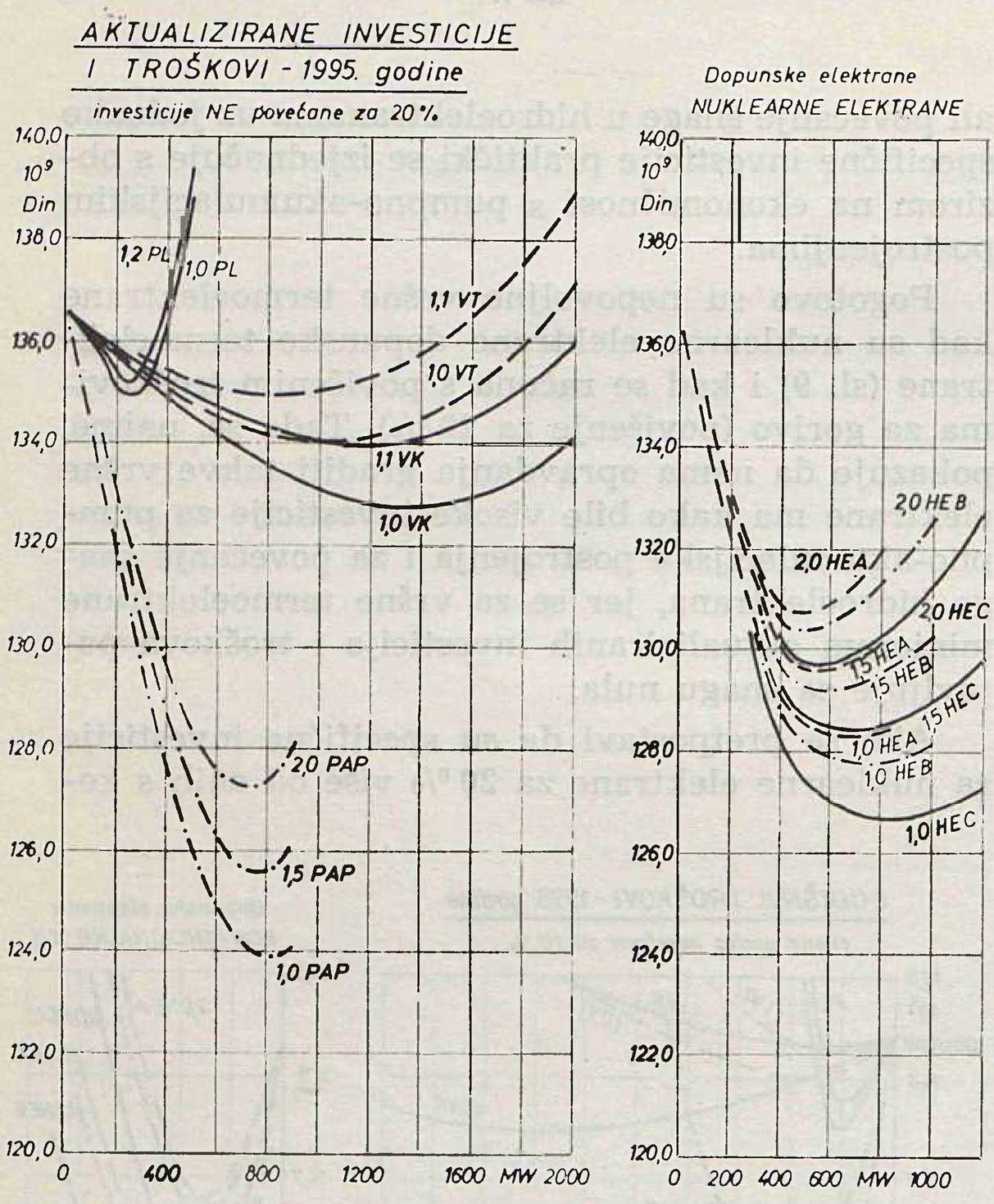
Ako se pretpostavi da su specifične investicije za nuklearne elektrane za 20 % više od onih s ko-



Sl. 8.



Sl. 9.



Sl. 10.

jim se ušlo u proračune, dobiva se dijagram na sl. 10. Tada je odnos pumpno-akumulacijskih postrojenja i vršnih termoelektrana opet takav da je opravdana izgradnja takvih postrojenja i kad su specifične investicije i do četiri puta veće od polaznih. Takva postrojenja su sada ekonomičnija od povećanja snaga u hidroelektranama, jer — kako je već spomenuto — izgradnjom pumpno-akumulacijskih postrojenja više se uštedi snaga u dopunskim termoelektranama nego povećanjem snage u hidroelektranama.

7. ZAKLJUČAK

Usporedbena analiza pokazuje:

a) Opravdana je izgradnja pumpno-akumulacijskih postrojenja ako specifične investicije za njihovu izgradnju imaju onaj red veličine kao specifične investicije za konvencionalne termoelektrane za pokrivanje temeljnog dijela dijagrama opterećenja. Za promatrani sistem, međutim, ukupna snaga takvih postrojenja ne bi smjela biti veća od 600 do 700 MW, što iznosi 7 do 9 % od maksimalnog opterećenja. Naravno da bi ta snaga mogla biti nešto veća kad su specifične investicije niže. Postoji ekonomsko opravdanje i za izgradnju pumpno-akumulacijskih postrojenja i s većim specifičnim investicijama (i za 50 % većim), ali tada njihova snaga mora biti manja.

b) Povećanje instalirane snage već izgrađenih hidroelektrana to je više opravdano što je — s obzirom na mogućnosti korištenja voda — veličina izgradnje već izgrađene hidroelektrane niža. To znači da je više opravdano povećati instaliranu snagu one hidroelektrane u kojoj se s tim povećanjem više dobiva nove hidroenergije. Svakako da opravdanost povećanja snage izgrađenih hidroelektrana u znatnoj mjeri ovisi o specifičnim investicijama, pa navedeni zaključak vrijedi samo kad su za povećanje instalirane snage potrebne jednake investicije.

c) Razina cijena goriva znatno utječe na ekonomičnost pumpno-akumulacijskih postrojenja s obzirom na ekonomičnost povećanja snage već izgrađenih hidroelektrana. Hidroelektrane, naime, postaju sve ekonomičnije u uspredbi s drugim postrojenjima kad je cijena goriva viša, jer se u svim slučajevima — osim prilikom povećavanja snage hidroelektrana — povećava potrebna proizvodnja u termoelektranama, što je pogotovo slučaj kad se izgrađuju pumpno-akumulacijska postrojenja.

d) Kad se promatraju odnosi u sistemu u uvjetima povećanja cijena goriva, zapazit će se da postoji neko granično povišenje cijena za koje nije opravdano graditi ni jedan tip termoelektrana za pokrivanje vršnih opterećenja (sl. 9).

Konačno treba naglasiti da prikazani rezultati vrijede u potpunosti za odnose u promatranom sistemu, jer na opravdanost izgradnje bilo kakve nove elektrane utječe niz odnosa u elektroenergetskom sistemu (struktura elektrana, udio hidroenergije, instalirana snaga postojećih hidroelektrana, itd.), ali dobiveni rezultati mogu poslužiti kao indikacija o utjecaju izgradnje različitih tipova vršnih elektrana i kao putokaz za dalja istraživanja. Svi parcijalni sistemi u Jugoslaviji, pa i elektroenergetski sistem Jugoslavije kao cjelina razvija se postupno u sisteme termoelektrana, u kojima će se sve više pojavljivati problem ekonomičnog pokrivanja vršnih opterećenja.

Naslov pisaca:
Dr Hrvoje P o ž a r, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb
Zlatko F r a j m a n, oecc.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PRIMORSKI TIP ZAGAĐIVANJA IZOLACIJE POSTROJENJA I VODOVA VISOKIH NAPONA

Ante Sekso — Ivo Hrs, Zagreb

Obrađena je problematika onečišćenja postrojenja visokog napona morskom soli s posebnim naglaskom na opisu različitih postupaka za analizu utjecaja posolice na izolaciju, i na borbu protiv posljedica tog utjecaja. Upućuje se na potrebu izgradnje jedne naše ispitne stanice za praćenje djelovanja posolice na visokonaponsku izolaciju i daje osnovne smjernice za provođenje zaštitnih mjera u našim uvjetima.

DK 621.315.21

1. UVOD

Uvođenjem sve viših prijenosnih napona sve je izraženiji problem zagađivanja izolacije rasklopnih postrojenja i vodova. Zagađivanje izolacije uzrokuje na svim naponskim nivoima skupe ispade i smetnje, a za prijenosne sisteme nazivnih napona od 750 kV i više ono postaje čak odlučni faktor u dimenzioniranju izolacije. Razumljiv je stoga interes koji se od drugoga svjetskog rata pridaje istraživanjima pojave preskoka na zagađenim izolatorima, kao i borbi za njegovo sprečavanje. Poznato je da zagađivanje može biti industrijskog ili prirodnog porijekla. Od izvora prirodnog porijekla najčešće je zagađivanje morskom solju u obalnim područjima. U većini zemalja s izlazom na more taj tip zagađenja postaje dominantan u posljednje vrijeme. Tome je nekoliko razloga.

Za razliku od industrijskog tipa zagađenja, koje je većinom koncentrirano na relativno male površine, taloženje morske soli često se proteže vrlo duboko u kopno i zahvaća mnogo veća područja. Nadalje je u posljednje vrijeme veoma izražena tendencija da se veliki izvori električne energije i pripadne visokonaponske mreže grade sve više na obalama svjetskih mora i oceana. Takva lokacija velikih izvora često je povoljna zbog opskrbe gorivom (ugljenom, naftom) i zbog toga što more pruža velike mogućnosti kao rashladno sredstvo. Ako se tome doda nagli porast konzuma u mnogim primorskim područjima (turizam, industrija), onda je jasno da se u posliednje vrijeme sve više postrojenja i vodova gradi u zonama utjecaja morske soli na izolaciju. Navodimo kao zanimljiv podatak iz susiedne Italiie da od ukupnog broja kilometara vodova visokih i srednjih napona, koji prolaze zagađenim područjima, oko 5/6 pripada zonama u kojima je prisutno zagađivanje solju. Sličan utjecaj taloženja soli na izolaciju opaža se posebno u otočnim zemljama i u onima s dugom i razvedenom obalom (Velikoi Britaniii. Japanu. zatim zemljama Skandinaviie, Francuskoj, SAD itd.). U svijetu se zbog toga čine ozbiljni napori kako na planu teoriiskog rasvjetljavanja pojava preskoka na izolaciii zagađenoj morskom soliu, tako i na pronalaženju efikasnih zaštitnih mjera. Danas je vrlo razvijen ne samo istraživački rad u pojedinim od navedenih zemalia, već i različiti oblici internacionalne suradnje (L.2, L.4 i L.5).

Poznato je da se i kod nas planira skora izgradnja vodova i postrojenja nazivnog napona 380 kV, kao i velikih izvora električne energije na samoj obali ili blizu nje. To navodi na zaključak da će i kod nas trebati da se posveti potrebna pažnja održavanju izolacijskog nivoa u uvjetima zasoljavanja, to prije što su kod nas vrlo nepovoljni meteorološki faktori (jačina i smjer vjetra), zatim s obzirom na visok salinitet mora itd. Namjena ovog referata jest u tome da pokaže u kome bi pravcu bilo potrebno kod nas usmjeriti rad u vezi s rješavanjem problema posolice na izolaciji. Pri tome će nam kao osnova poslužiti inozemna praksa, koju ćemo ukratko opisati. Posebnu pažnju ćemo posvetiti postupcima koji se primjenjuju kod zagađivanja izolacije morskom solju, premda se često vrlo slični postupci upotrebljavaju i kod idustrijskog tipa zagađenja.

Proces preskoka na izolaciji zagađenoj solju može se podijeliti u slijedećih nekoliko etapa: formiranje naslage soli na izolatoru, proces vlaženja naslage i poprimanja elektrolitskih svojstava, formiranje suhih zona, razvoj djelomičnih preskoka premoštavanjem suhih zona i njihovo širenje u puni preskok.

Morska sol se taloži ponekad vrlo brzo na izolatore ili zajedno s vodenom maglom i parom koja se diže s površine mora za vrijeme jakih vjetrova ili u obliku suhih čestica soli ako se voda iz kapljica ispari. Na jednu takvu nemagnetsku česticu, koja lebdi u blizini izolatora, djeluje više sila od kojih su najutjecajnije sile vjetra. Čestice nošene vjetrom dolaze do površine izolatora i pod djelovanjem sila adhezije lijepe se za nju. Prihvaćanje soli na površinu izolatora često je pospješeno ako je prije zasoljavanja površina izolatora bila prekrivena prašinom sa zemlje. Međutim, i bez toga se sitne čestice kristala soli vrlo lako lijepe na površinu izolatora, koja nije nikad idealno glatka.

Daljnja faza u nastanku preskoka je proces vlaženja naslage i njezin prelazak u strani sloj s vodljivim svojstvima. Nakon što naslaga soli apsorbira neku količinu vlage, ona postaje vodljiva i znatno mijenja izolacijsku sposobnost izolatora. Površinska vodljivost ovlaženog sloja morske soli veća tora navlažena. Slična je situacija kod pojave rose. U slučaju jake kiše nastupa zasićenje stranog sloja na gornjem dijelu izolatora, a dio izolatora među rebrima ostaje često suh. Uz to jaka kiša djeluje

je od većine ostalih vrsta stranih slojeva koji se javljaju na izolatorima visokog napona. Vodljivost stranog sloja naglo raste s količinom apsorbirane vode, ali samo do određene granice kad nastupi zasićenje. Nakon toga nastupa postepeno smanjenje vodljivosti ispod neke maksimalne vrijednosti. Zbog takvih karakteristika smatra se da je maglovito vrijeme najopasnije za razvoj potpunog preskoka, jer je onda cijela površina zagađenog izolaispirajući stranu naslagu s izolatora. Zbog toga su preskoci najčešći u svanuće, kad postoje uvjeti za stvaranje rose. U mnogim primorskim zemljama javljaju se preskoci na izolaciji noću, jer se noću osim povećane vlažnosti pojavi i porast napona kao posljedica smanjenja opterećenja. Međutim, u nekim otočnim zemljama (Irskoj, Velikoj Britaniji) navode zalaz sunca kao kritičan period, a slična su iskustva i u nekim primorskim područjima.

Usprkos intenzivnom istraživanju u proteklih 40 godina još nije razvijena potpuno zadovoljavajuća teorija koja bi obuhvatila sve fizikalne procese sadržane u djelomičnim preskocima i u njihovom pomicanju uzduž površine izolatora sve do punog preskoka. Prve teorije potječu od Obenausa, a zasnivale su se na modelu kojim se djelomični preskok nadomješta serijskim spojem luka i otpora, koji predstavlja nepremošteni dio izolatora. Daljnji je napredak učinjen modelnim ispitivanjem Hamptona, Näckea i mnogih drugih istraživača. Nijedan od tih radova nije u potpunosti objasnio fizikalne pojave koje vode do razvoja punog preskoka. Osnovna je teškoća u tome da se na zadovoljavajući način objasne velike brzine pomicanja podnožja luka po površini izolatora. Eksperimentalno su zabilježene brzine širenja podnožja djelomičnog luka pri njegovom razvoju u puni preskok od čak 3 000 do 5 000 m/s. To se više ne da objasniti tzv. vanjskim silama u koje se ubraja elektrostatsko privlačenje, elektromagnetske sile, sile termičkog uzgona i tlak pare u podnožju luka. Zbog toga se u posljednjim godinama javljaju teorije (Jolly) o punom preskoku kao posljedici električnih proboja uzrokovanih koncentracijom polja u podnožju luka.

Ako se imaju na umu navedene teorijske teškoće, postaje jasno zbog čega se veliko značenje pridaje isptivanju realnih izolatora u uvjetima prirodnog zagađenja ili imitacijom takvih uvjeta u laboratoriju.

2. METODE KVANTITATIVNE ANALIZE UTJECAJA POSOLICE NA VISOKONAPONSKU IZOLACIJU

Danas još ne postoji jedinstvena i općenito prihvaćena metodologija ispitivanja izolatora izloženih zagađivanju. Postoje različite metode ispitivanja zagađenih izolatora u laboratoriju i u prirodnim uvjetima. Za donošenje općenitih zaključaka najbolje je usporediti rezultate ispitivanja u laboratoriju i u ispitnim stanicama smještenim na otvorenom. Ispitivanja u prirodnim ispitnim stanicama imaju veliku važnost u verificiranju laboratorijskih ispitnih metoda. U posljednje vrijeme razvijena je jedna nova metoda ispitivanja zagađenih izolatora, kojom su se željele povezati različite metode ispitivanja u laboratoriju i u prirodnim uvjetima.

Ukratko ćemo prikazati različite ispitne metode, a osobito one koje su posebno pogodne za ispitivanje utjecaja primorskog tipa zagađivanja.

2.1. Laboratorijska ispitivanja djelovanja posolice na izolaciju

Zbog ispitivanja većeg broja različitih izolatora u različitim uvjetima zagađivanja vrlo je važno imati na raspolaganju laboratorijsku metodu koja koristi umjetno zagađivanje. Budući da je u laboratoriju nemoguće kompletno simulirati veliko mnoštvo varijabli, koje postoje u realnosti, to se nastoje adekvatno simulirati samo faktori stvarno odlučni za nastup preskoka na izolatoru.

Metoda ispitivanja u slanoj magli (engl. salt fog test method) razvijena je zbog ispitivanja izolatora izloženih zasoljavanju. Metoda se u osnovi sastoji u tome da se čisti ispitivani izolator štrca iz sistema mlaznica otopinom određene slanosti. Za vrijeme ispitivanja izolator treba stalno biti pod maksimalnim radnim naponom normalne frekvencije prema zemlji za sistem koji se promatra. Namjena ispitivanja je da se odredi salinitet magle koji će izolator izdržati bez preskoka kroz 60 minuta. Zato se ispitivanje završava nakon 60 minuta ili kad izolator probije. Kao izdržni salinitet (u gramima soli na litru vode), za ispitivani tip i oblik izolatora smatra se maksimalni salinitet tekućine od koje se pravi magla, a koju će izolator izdržati bez preskoka za najmanje 3 od 4 ispitivanja. Takva ispitivanja se provode u posebnim ispitnim halama s uređajima za proizvodnju slane magle i instalacijama zaštićenim od korozije. Zbog toga za ispitivanje u slanoj magli ne dolaze u obzir obični visokonaponski laboratoriji.

U ocjeni vrijednosti ove metode treba poći od toga da ona omogućava da se u relativno kratkom vremenu ispita velik broj izolatora. Međutim, potpuna valorizacija ispitanih izolatora može se vršiti jedino usporedbom laboratorijskih ispitivanja s ponašanjem izolatora u ispitnim stanicama izgrađenim u prirodnim uvjetima zasoljavanja. Takve usporedbe su pokazale u mnogim slučajevima da je metoda slane magle vjerodostojna za zadane uvjete prirodnog zagađenja solju. Međutim, treba ipak kazati da ispitivanje u slanoj komori ne oponaša u potpunosti uvjete prirodnog zasoljavanja, a posebno ne objašnjava ponašanje izolatora u sredinama dugotrajno izloženim posolici. U laboratoriju je opaženo da dolazi do opadanja karakteristika izdržljivosti izolatora dugotrajno podvrgnutih naponu u magli s visokim sadržajem soli.

Mnogo manju primjenu našao je niz ispitivanja koji se od metode slane magle razlikuju uglavnom

u načinu kako se narine napon na ispitivani uzorak. Nabrojit ćemo samo neke od njih: metoda stupnjevanja (engl.: staircase method), metoda podizanja i spuštanja napona (engl.: up and down method), američka i japanska metoda slane magle itd. Japanska metoda slane magle je zanimljiva jer kao parametar zasoljavanja upotrebljava pojam ekvivalentne gustoće naslage NaCl na površini izolatora izražene u (mg/cm²), za razliku od evropske metode koja se kao parametrom koristi salinitetom magle (g/l). Uz to japanska metoda ne zahtijeva posebnu prostoriju sa slanom maglom.

Nadalje bismo spomenuli da se ponekad u laboratoriju ispituju izolatori skinuti s vodova izloženih posolici. Iako takva ispitivanja mogu dati niz korisnih informacija, ona nemaju širu primjenu. Za izolatore podvrgnute kombiniranom tipu zagađivanja (industrijsko i slano) kao dodatno ispitivanje metodi slane magle može se koristiti neka metoda krutog sloja (npr. Kieselguhr metoda definirana u VDE propisima).

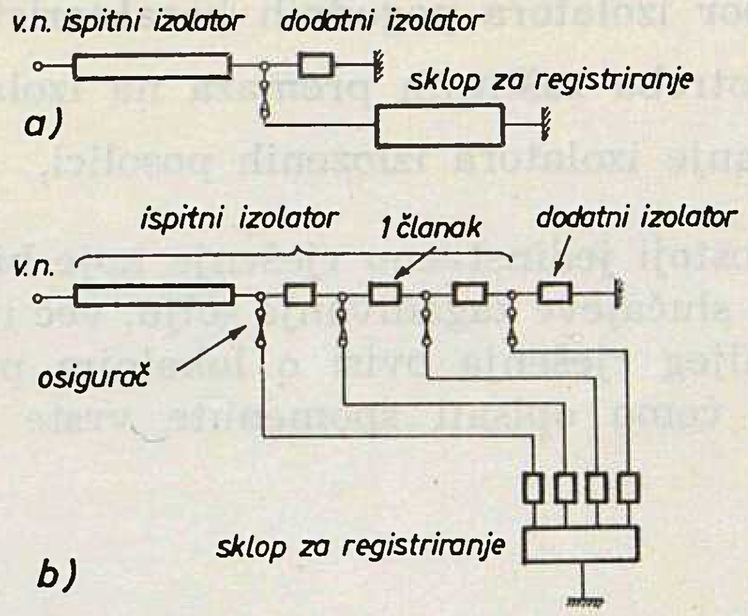
2.2. Ispitivanja u prirodnim uvjetima djelovanja posolice na izolaciju

U nizu primorskih zemalja izgrađene su posebne eksperimentalne stanice za izravno praćenje utjecaja taloženja morske soli na visokonaponsku izolaciju. Izolatori različitih vrsta podvrgnuti su određenom ispitnom naponu. U većini evropskih eksperimentalnih stanica najveća važnost se pridaje informaciji o broju i frekvenciji potpunih preskoka, dok postoje sumnje u realni značaj i korist od ostalih informacija koje se ponegdje prikupljaju (brojenje nivoa struje odvoda itd.). Registracija punih preskoka vrši se elektromehaničkim ili elektronskim brojačima. Postoje dva načina spajanja ispitivanih izolatora i pripadne mjerne i zaštitne opreme (sl. 1). U nekim zemljama (SR Njemačkoj, Švedskoj) prakticiraju spoj prema sl. 1.a. Svaki ispitni izolator spojen je na uređaje za registraciju preko osigurača. Kada nastupi potpuni preskok, osigurač pregori, i izolatorski lanac se time produži za oko 30 % duljine, što sprečava ponovnu pojavu preskoka na istom izolatoru. Drugačije spoj ispitnih izolatora upotrebljavaju u Velikoj Britaniji (sl. 1.b), gdje svaki puni preskok dovodi do produbljenja izolatorskog lanca samo za jedan članak. Na tako produljenom lancu moguće je da ponovno nastupi preskok.

Prema tome, ispitivanje različite duljine lanca zahtijeva prema njemačkom rješenju mnogo veći broj izolatorskih lanaca nego kod engleskog načina spajanja.

Njemački eksperti smatraju da produljeni lanac na čijem je jednom dijlu već nastupio preskok nema ista svojstva kao lanac iste duljine na kojem nije prethodno nastupio puni preskok.

Najveća ispitna stanica u Evropi za ispitivanje zasoljenih izolatora smještena je na jugu Engleske kraj grada Brighton, gdje je prisutno vrlo intenzivno zasoljavanje. Ispituju se izolatori za napone od distributivnog nivoa pa sve do 1500 kV. Ispitne stanice postoje u Italiji (ukupno četiri, od čega dvije za zasoljavanje), u Francuskoj, SR Njemačkoj, Švedskoj itd. U ovakvim ispitnim stanicama velika važnost pridaje se mjerenju stupnja zagađenja i registraciji meteoroloških faktora kako bi se mogla naći ovisnost tih prirodnih uvjeta i nastanka punog preskoka. Mnoštvo mjernih veličina se automatski registrira u specijalnim automatskim digitalnim uređajima (tzv. data logger). Magnetske vrpce s registriranim podacima neposredno se upotrebljavaju za obradu na elektroničkom računalu. Takvu opremu imaju samo veće i bolje opremljene ispitne stanice (npr. Brighton u Engleskoj, Santa Caterina u Italiji itd.). U slabije opremljenim stanicama potrebna je češća prisutnost ljudi zbog prikupljanja podatka (broja prorade različitih brojača), zatim zamjene pregorjelih osigurača, mjerenja inteniziteta zasoljavanja itd.



Sl. 1. Spojevi ispitnih izolatora

U posljednjih nekoliko godina grupa stručnjaka iz SR Njemačke i Skandinavije predložila je jedan novi pristup u određivanju karakteristika zagađenih izolatora. On se sastoji u mjerenju tzv. kritičnog iznosa struje odvoda I_c oko 10 ms prije nastupa punog preskoka. Smatra se da puni preskok nije moguć bez obzira na način formiranja vodljivoga stranog sloja sve dok struja odvoda ne dostigne neku kritičnu granicu. Na taj način se željelo uvesti jedan zajednički faktor kod preskoka na zagađenim izolatorima, koji bi bio neovisan o vrsti zagađenja i ispitnoj metodi. Međutim, taj novi pristup za sada ima samo ograničeni broj sljedbenika, jer se ne vide bitne prednosti u usporedbi s konvencionalnom metodom ispitivanja.

3. NAČINI SUZBIJANJA UTJECAJA POSOLICE NA VISOKONAPONSKU IZOLACIJU

Danas raspolažemo nizom mjera kojima se negativan utjecaj zasoljavanja visokonaponske izolacije može djelimično ili potpuno ukloniti. One se mogu svrstati u ove skupine:

1. izbor izolatora pogodnih karakteristika,
2. upotreba zaštitnih premaza na izolatorima,
3. pranje izolatora izloženih posolici,

Ne postoji jedinstveno rješenje koje bi zadovoljivo sve slučajeve zagađivanja solju, već izbor najoptimalnijeg rješenja ovisi o lokalnim prilikama. Ukratko ćemo opisati spomenute vrste zaštitnih mjera.

3.1. Pregled svojstava i izbor izolatora za područja izložena zasoljavanju

Karakteristike zagađenih izolatora bitno ovise o različitim geometrijskim parametrima kao što su oblik i duljina klizne staze, dijametar različitih izolatora, duljina i oblik izolatorskog lanca itd. Vrlo je teško dati opći komentar o karakteristikama izolatora različitih tipova i konstrukcija, jer gotovo svaka vrsta izolatora može biti izvedena u jednoj od tri tipične izvedbe (standardnoj, antipollution i aerodinamičkoj). Najočitiji način poboljšanja karakteristika izolatora pretstavlja povećanje broja članaka u izolatorskim lancima ili povećanje broja sekcija kod jednodjelnih aparatnih izolatora. Ta mjera ima efekta kod nižih napona i kod blažih oblika zagađivanja. Međutim, kod intenzivnog zagađivanja u eksploataciji se uočilo da povećanje duljine izolatora neadekvatno utječe na povećanje preskočnih napona. Prema tome, povišenje izolacijskog nivoa jednostavnim produljenjem izolatorskog lanca može biti rješenje samo do nekih granica, to prije što primjena ove mjere može dovesti do narušavanja koordinacije izolacije.

Zbog toga se rješenje pokušalo naći u povećanju omjera klizne staze i duljine izolatora. Dok za normalne izolatore taj omjer iznosi 2, kod antifog izvedbi je 3, a kod nekih najnovijih tipova taj faktor iznosi čak 4-5. Za uobičajene materijale, porculan i staklo, nije uvijek lako izvesti izolator s navedenim omjerom većim od 3. Takve izvedbe rezultiraju vrlo malim udaljenostima između susjednih rebara, što u uvjetima ovlaženosti dovodi često do premoštavanja jednog dijela klizne staze. U Engleskoj se u posljednje vrijeme taj problem vrlo uspješno rješava umetanjem dodatnih plastičnih rebara u obliku kružnog vijenca oko porculanskih izolatora u postrojenjima. Ta se mjera pokazala naročito uspješnom na izolatorima izloženim taloženju morske soli. Na vertikalnim stožastim izolatorima za 400 kV postavljeno je 5 dodatnih plastičnih zaslona, tj. na svako šesto porculansko rebro. Podnosiva naslaga soli na takvim izolatorima povećala se najmanje za dvostruko. Ta mjera u kombinaciji sa pranjem pod naponom može biti vrlo efikasna za postrojenja izložena intenzivnom zasoljavanju. Na kraju bismo spomenuli da se pokušalo konstrukcijom izolatora posebnih oblika, npr. različitih spiralnih izolatora, zatim izolatora s uljnom kupkom itd.

Vrlo efikasan način poboljšanja karakteristika izolatora vodova u uvjetima zasoljavanja jest postavljanje izolatorskih lanaca u različite nagnute položaje. Uz istu udaljenost vodiča od stupa kao kod vertikalnog lanca postiže se na taj način povećanje efektivne duljine lanca. Uz to pozitivno djeluje činjenica da lanci u nagnutom položaju imaju bolja svojstva kod jednakog intenziteta zagađivanja nego što ih imaju vertikalno postavljeni lanci. Najčešće se susreće konfiguracija lanca u obliku slova V, a ponekad u obliku invertiranih slova T ili Y, pa i neke druge kombinacije. Jedina je mana takvih rješenja da zahtijevaju znatno veći broj izolatorski članaka.

Znatan utjecaj na karakteristike izolatora izloženih zasoljavanju može imati materijal koji tvori površinu izolatora. Najčešće se upotrebljavaju izolatori od porculana s glazurom od stakla s visokim talištem ili izolatori od vatrostalnog stakla s prilično nižim talištem. Djelomična pražnjenja na tim materijalima proizvode oštećenja u obliku erozije na površini. U uvjetima dugotrajne izloženosti posolici pokazalo se da veća oštećenja površine nastupaju na staklenim nego na porculanskim izolatorima. Staklo inače gotovo uvijek pokazuje bolja svojstva kod laboratorijskog ispitivanja u slanoj magli, ali takvi pokusi nikad ne mogu imitirati dugotrajnu izloženost utjecaju soli. Zbog toga se na vodovima 400 kV izloženim zasoljavanju upotrebljavaju visokokvalitetni porculanski izolatori, a ne stakleni. Takva praksa u inozemstvu temelji se na dugogodišnjim ispitivanjima i iskustvu i možda će kod nas izazvati iznenađenje. U posljednje vrijeme pojavljuje se sve više različiti izolatori organskog sastava izvedeni obično od teflona, fluona, etilensko-propilenskih guma itd. Osnovni nedostatak takvih izolatora jest u tome da erozija na organskoj materiji uzrokuje značajne promjene u sastavu i svojstvima materijala. Problem degradacije svojstava površine u uvjetima dulje izloženih posolici jest osnovni nedostatak i kod izolatora sa poluvodljivom glazurom. Zbog toga će za primjenu za sada doći u obzir u prvom redu klasični materijali: porculan i staklo.

Izbor izolacije za područja izložena zasoljavanju može se provesti na nekoliko načina. Kao vrlo dobra početna informacija o potrebnim duljinama izolatora može poslužiti preporuka Radne grupe br. 33.04 CIGRÉ — Paris iz 1973. godine, a koju navodimo u donjoj tablici.

Intenzitet zagađivanja reduciran je u samo 4 izrazita nivoa i za svakoga od njih je preporučena duljina klizne staze i visina izolatora za članke standardnog i antifog tipa prosječnih karakteristika. U mnogim zemljama postoje slične preporuke za apsolutnu ili relativnu duljinu klizne staze kod različitih stupnjeva zagađivanja. Dok takve preporuke služe samo za grubu procjenu, točan izbor izolatora za određenu lokaciju može se provesti samo kombinacijom ispitivanja nivoa zagađivanja i rezultata ispitivanja u slanoj komori.

IZBOR IZOLATORA ZA ZAGAĐENA PODRUČJA

Maks. napon sistema (kV)	Klizna udaljenost i duljina lanca	Beznačajno zagađivanje		Lagano zagađivanje		Jako zagađivanje		Izuzetno zagađivanje	
		stand. iz.	anti-fog. iz.	stand. iz.	anti-fog. iz.	stand. iz.	anti-fog. iz.	stand. iz.	anti-fog. iz.
145	klizna udaljenost (m)	2,4		3,3		4,7		6,1	
	duljina lanca (m)	1,2	0,8	1,7	1,1	2,4	1,5	3,1	2,0
245	klizna udaljenost (m)	4,1		5,6		8,0		10	
	duljina lanca (m)	2,1	1,4	2,8	1,9	4,0	2,6	5,2	3,4
420	klizna udaljenost (m)	7,1		9,6		14		18	
	duljina lanca (m)	3,5	2,4	4,3	3,2	6,8	4,4	5,2	3,5

Već je rečeno da je za primorski tip zagađivanja kao najpogodnija metoda laboratorijskog ispitivanja odabrana metoda slane magle, u kojoj je promjenljivi parametar salinitet magle koji se izražava u (g/l). Svakom stupnju prirodnog zasoljavanja odgovara odgovarajući ekvivalentni salinitet kojim se u laboratoriju oponašaju prirodni uvjeti zagađenja.

Za mjerenje stupnja zasoljavanja neke prirodne sredine mogu se koristiti različitim metodama. Jedan od najboljih načina je da se u jednom duljem vremenskom razdoblju (2—3 godine) mjeri površinska vodljivost na nekoliko izolatora pod naponom izloženih posolici. Zatim se za te iste tipove izolatora metodom slane magle odrede krivulje ovisnosti površinska vodljivost (μS) — salinitet (g/l). Onaj salinitet magle koji daje istu površinsku vodljivost kakva je za dotični izolator registrirana na promatranoj lokaciji u jednom velikom postotku slučajeva (npr. s vjerojatnošću od 90 %) naziva se ekvivalentni salinitet promatrane prirodne sredine.

Sada je još potrebno raspolagati rezultatima ispitivanja u laboratoriju podnosivog saliniteta za izolatorske lance različite vrste i duljine. Svi izolatori čiji je podnosivi salinitet viši od ekvivalentnog saliniteta promatrane prirodne sredine dolaze u obzir za ugradnju na toj lokaciji. Sa stajališta sigurnosti od punog preskoka povoljnije je izabrati za upotrebu izolator kod kojega je podnosivi salinitet dovoljno viši od ekvivalentnog saliniteta sredine. Međutim, u konačnom izboru izolatora za zagađena područja treba uzeti u obzir i ostale faktore kao što su mehanička prekidna čvrstoća, cijena itd. Na kraju napominjemo da postoji još nekoliko sličnih postupaka za izbor izolatora u područjima izloženim zasoljavanju, ali se opisani postupak najčešće upotrebljava u evropskoj praksi.

3.2. Zaštitni premazi na visokonaponskim izolatorima

Masni premazi na površini izolatora djeluju u dva pravca:

a) onemogućuju formiranje kontinuiranog sloja od čestica zagađenja time što ih upiju u sebe i međusobno odjeljuju,

b) zbog svoj hidrofobnosti sprečavaju stvaranje kontinuiranog vlažnog elektrolitskog filma jer se voda formira u obliku međusobno odijeljenih kapljica koje lakše otpadaju s površine.

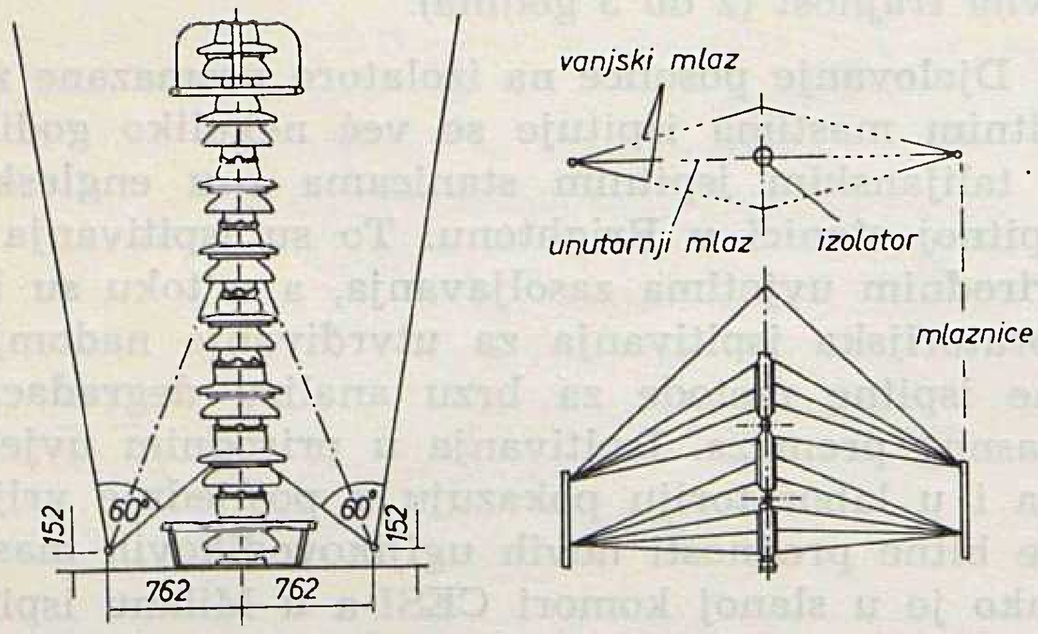
Različite vrste masti, koje se danas upotrebljavaju za premazivanje izolatora, mogu se podijeliti u dvije osnovne grupe: masti na bazi ugljikovodika i silikonske masti. Osnovna prednost silikonskih masti je da zadržavaju isti viskozitet u vrlo velikom temperaturnom opegu od — 50°C do + 200°C. Međutim, osnovna im je mana da električna pražnjenja stvaraju spojeve koji djeluju kao zagađivači. Uz to silikonske masti nemaju dovoljnu mehaničku čvrstoću koja bi dozvoljavala nanošenje debljih slojeva. Zbog toga se one mažu u vrlo tankim slojevima (0,5 do 1 mm), pa je i trajnost takvih premaza relativno kratka (oko godinu do dvije). Ako još dodamo i njihovu visoku cijenu, onda je jasno zašto ih u posljednje vrijeme istiskuju iz upotrebe mnogo jeftinije masti na bazi ugljikovodika. To je pogotovo slučaj u posljednje vrijeme kada su proizvedene vrste ugljikovodikovih masti (tzv. Univerzalna mast) sa znatno poboljšanim termičkim svojstvima, čime je uklonjen njihov glavni nedostatak u odnosu prema silikonskim mastima. Te masti se mogu nanositi u vrlo velikim debljinama (oko 5 mm), čime se postiže njihova znatno dulja efektivna trajnost (2 do 5 godina).

Djelovanje posolice na izolatore premazane zaštitnim mastima ispituje se već nekoliko godina u talijanskim ispitnim stanicama i u engleskoj ispitnoj stanici u Brightonu. To su ispitivanja u prirodnim uvjetima zasoljavanja, a u toku su laboratorijska ispitivanja za utvrđivanje nadomjesne ispitne metode za brzu analizu degradacije masnog premaza. Ispitivanja u prirodnim uvjetima i u laboratoriju pokazuju u posljednje vrijeme bitne prednosti novih ugljikovodikovih masti. Tako je u slanoj komori CESI-a u Milanu ispitivan izolatorski lanac, koji je bez zaštitnog premaza pri naponu od 84 kV izdržao bez preskoka salinitet magle od samo 10 g/l. U slučaju premazi-

vanja novom vrstom masti na bazi ugljikovodika taj lanac nije probio ni kod najvećih saliniteta magle koji se daju realizirati u laboratoriju (225 g/l). U prirodnim uvjetima su masni premazi najviše ispitivani u ispitnoj stanici u Brightonu, gdje se površinska aktivnost mjeri brojenjem površinskih struja odvoda, i to za iznose od 25 mA, 50 mA, 150 mA i 500 mA. Iako je navedena stanica izložena vrlo intenzivnom zasoljavanju, novi tip masti pokazao je u 18 mjeseci rada samo 20 puta vrijednost struje odvoda od 25 mA, što je vrlo nizak nivo. Do potpunog proboja nije došlo ni jednom. Zbog svega toga ugljikovodikove masti sve se više primjenjuju u zaštiti izolatora od posolice.

Na kraju bismo spomenuli samo nekoliko riječi o načinima primjene zaštitnih premaza. Zaštitni premazi se mogu nanositi ručno, uranjanjem ili štrcanjem. Tehnika nanošenja masnoće uranjanjem razvijena je da se zamijeni mukotrpno ručno zamašćivanje, i to naravno samo za izolatore vodova. Ona se primjenjuje gotovo isključivo kod masnoća ugljikovodika, jer se kod silikonskih masnoća teško postiže uniformna debljina sloja. Zbog određenih nedostataka ovog postupka razvijena je tehnika zamašćivanja štrcanjem. Današnje tendencije su orijentirane na primjenu sistema direktnog štrcanja masnoća bez komprimiranog zraka. U Engleskoj su konstruirali posebni pokretni uređaj s četiri štrcaljke do kojih se mast dovodi pod tlakom od 50 do 70 atm. Ovakvim uređajem se znatno uštedi na vremenu i na potrošenoj masti po izolatoru.

Uklanjanjem zagađenog sloja masnoće na kraju njegova vijeka trajanja veći je problem nego njegovo nanošenje. U tom pogledu masnoće ugljikovodika predstavljaju veći problem jer postaju tvrde starenjem u pogonu. Za izolatore s nadzemnih vodova razvijen je automatski uređaj koji može na dan obraditi 450 kapastih izolatora. Ciklus predviđa da se izolatori najprije demontiraju, zatim operu u uređaju s mlazom pare, deterdžentom ili drugim sredstvima, električki se kontroliraju, opet premažu svježom masnoćom i ponovno montiraju.



a) Prsten na mlaznicama b) Mlaznice na vertikalnoj cijevi

Sl. 2. Dva sistema pranja izolatora

3.3. Pranje izolatora izloženih posolici

Jedan od najefikasnijih načina sprečavanja nastajanja preskoka na izolaciji izloženoj djelovanju soli jest pranje izolatora ili pod naponom ili u beznaponskom stanju. Ta se mjera pokazala veoma djelotvornom posebno kod primorskog tipa zagađenja. U tu svrhu su razvijene različite tehnike pranja koje se mogu podijeliti u dvije glavne grupe: ručno pranje iz prenosive instalacije i pranje iz fiksno montirane instalacije. Posebno su se pogodnim pokazale tehnike pranja pod naponom, jer se one mogu primijeniti kod svake pojave jačeg zasoljavanja bez isključivanja postrojenja iz pogona. Valja reći da se pranje izolatora kao zaštitna mjera od preskoka gotovo isključivo primjenjuje za transformatorske stanice. To je i razumljivo kad se zna da preskoci kod teških uvjeta zasoljavanja (jaki vjetrovi s mora) dovode do težih posljedica na izolaciji postrojenja nego na izolaciji vodova.

Da bi se izolatori pod naponom mogli sigurno i efikasno prati, potrebno je zadovoljiti niz zahtjeva. Izolator se mora prati dovoljno često da se spriječi formiranje opasnih naslaga soli između dva pranja. Pranje mora biti moguće kroz cijelu godinu u svim vremenskim prilikama (vjetru, mrazu itd.). Nadalje, proces pranja ne smije izazvati preskok preko izolatora koji se pere, niti na susjednim izolatorima. U tu svrhu vršila su se ispitivanja podnosivih napona izolatora za vrijeme pranja pri različitim brzinama taloženja vode. Dok kod malenih brzina pranje nije efikasno, kod prevelikih brzina dolazi do premoštavanja rebara izolatora zbog brzog slijevanja vode i do opadanja podnosivog napona. Vrlo važan faktor je i specifični otpor vode koja se upotrebljava za pranje i smatra se da on mora biti iznad 5 kΩ cm. Međutim, upotreba vode (obične vodovodne ili destilirane) ovisi i o primijenjenom sistemu pranja. Daljnji važan faktor koji utječe na karakteristike sistema za pranje jest efekt vjetra. Kod eventualnog izbora sistema za pranje u našim uvjetima posebno će trebati paziti na efikasnost pri jakom vjetru, jer kod nas povremeno pušu vjetrovi olujne jačine s nanosima soli.

U osnovi su razvijena dva sistema za pranje izolatora u rasklopnim postrojenjima najviših napona. Jedan sistem se sastoji od mlaznica koje su prstenasto raspoređene oko svakog izolatora u postrojenju (sl. 2.a). Kad sistem stupi u djelovanje, te mlaznice stvaraju oko svakog izolatora oblak vodene magle, koja svojim taloženjem čisti površinu izolatora. Iako taj sistem ima široku primjenu, on ipak nije pokazao najbolja svojstva kod jačih vjetrova. To je glavni razlog da je razvijen drukčiji sistem pranja, koji je shematski prikazan na sl. 2.b. Ispred i iza izolatora nalaze se vertikalne cijevi s otvorima mlaznica, koji nisu u istoj visini. Unutarnje mlaznice štrcaju vodu direktno u pravcu izolatora i uključuju se u rad kod mirnog vremena ili

kod slabijih vjetrova. Kod vrlo jakih vjetrova uključuje se u rad grupa vanjskih mlaznica. Zbog djelovanja vjetra otklanja se mlaz i on udara o površinu izolatora. Ovaj sistem je mnogo jeftiniji, jer se s nekoliko redova cijevi pokriva cijelo područje transformatorske stanice.

Prema nekim iskustvima u postrojenjima 400 kV, čini se da je sistem s mlaznicama oko svakog izolatora upotrebljiv samo do brzine vjetra od 10 m/s (36 km/h). Međutim, sistem s vertikalnim cijevima s mlaznicama pokazuje punu efikasnost i kod brzine vjetra 35 m/s (110 km/h). Nedostatak ovog sistema je jedino da on zahtijeva upotrebu destilirane vode i mnogo veće radne pritiske na izlazu iz mlaznica (oko 40 atm). Uključivanje u rad spomenutih sistema pranja može biti ručno ili automatsko pomoću posebnih detektora zagađenja.

4. PRIJEDLOG MJERA ZA BORBU PROTIV UTJECAJA POSOLICE U NAŠIM UVJETIMA

U planiranju budućih vodova i rasklopnih postrojenja nazivnog napona 380 kV pa i nižih napona, koji će biti građeni u primorskim područjima, trebat će uzeti u obzir zaštitu od zasoljavanja izolacije. To je pitanje u posljednje vrijeme posebno aktualno zbog izgradnje buduće nuklearne elektrane u okolici Zadra, kao i pripadnih postrojenja i vodova. Kako bi se našla najbolja rješenja za efikasnu zaštitu takvog važnog objekta, trebat će se već sada pristupiti nizu mjerenja da bi se pronašle optimalne zaštitne mjere. Pokazalo se, naime, da utjecaj posolice na smanjenje dielektričkih svojstava izolacije jako ovisi o specifičnim lokalnim prilikama, pa je zbog toga vrlo teško jednostavno primijeniti tuđa iskustva. Zbog toga se već sada nameće potreba da se negdje na obali izgradi veća ispitna stanica za proučavanje ponašanja visokonaponske izolacije u našim uvjetima zasoljavanja. Uz to bi trebalo uz obalu instalirati nekoliko jednostavnih, fiksnih ili pokretnih ispitnih stanica za mjerenje nivoa zagađenja na pojedinim lokacijama. Svoj interes za izgradnju takvih stanica pokazuju elektroprivredne organizacije na području Dalmacije, a vjerujemo da bi on mogao biti mnogo širi, i to ne samo u elektroprivrednim krugovima već i u industriji električnih izolatora, električnih aparata itd. Investicija u takve objekte i istraživanja vrlo bi se brzo isplatila zbog ispravne koordinacije izolacije kod izbora najpovoljnijih trasa vodova i u smanjenju rizika od kvara.

Reći ćemo sada nešto više o izgradnji velike ispitne stanice za ispitivanje utjecaja posolice na visokonaponsku izolaciju. Mislimo da bi najpovoljnija lokacija bila u blizini buduće nuklearne elektrane kod Zadra. Time bi se na najdirektniji način mogli ispitivati izolatori za buduću nuklearnu elektranu. Kasnije bi ta stanica mogla prerasti u centralnu jugoslavensku stanicu za ispitivanje primorskog tipa zagađenja. U mnogim su se evropskim zemljama ispitne stanice razvile na sličan način. Napajanje ispitivanih izolatora i opreme trebalo bi izvesti naponom od barem 110 kV. U tom slučaju bi omjer između maksimalnog faznog napona za mrežu 380 kV i ispitnog napona iznosio 245/110 = 2,2. To je faktor kod kojeg se može, po općem mišljenju evropskih eksperata, provesti dobra linearna ekstrapolacija dobivenih rezultata. Niži ispitni napon ne bi dao dobre rezultate. Struja kratkog spoja u takvoj stanici morala bi biti reda veličine nekoliko desetaka ampera, a kod nastupa tranzijetnih pojava ne bi smio nastupiti veći pad napona od 5%.

Što se tiče ispitne metode, najbolje bi se bilo odlučiti za brojenje punih preskoka i bilježenje nivoa površinskih struja odvoda. Trebalo bi formirati nekoliko lanaca izolatora, i to ovjesnih, zateznih, zatim lanaca u obliku slova V, Y itd. U ispitnim stanicama srednje veličine obično je ovješeno oko 20-ak lanaca od različitog antifog i standardnih članaka, kao i nekoliko tipova potpornih i aparatnih izolatora. U okviru takve ispitne stanice trebalo bi predvidjeti registraciju svih zanimljivih meteoroloških veličina kao i mjerenje nivoa zagađenja. Velik broj mjernih veličina zahtijevao bi česti nadzor ili potpuno automatiziranu registraciju. U svakom slučaju, razrada koncepcije jedne ovakve stanice zahtijeva poseban projektni zadatak.

Što se tiče malih stanica za mjerenje nivoa zagađenja, to mogu biti vrlo jednostavni uređaji za skupljanje taloga, sa 4 cilindrična spremnika. U tom slučaju bi se mogao postaviti veći broj takvih uređaja uz našu obalu. Ako bi se ugradile male stanice s ispitnim izolatorima pod naponom, onda bi broj takvih stanica bio mnogo manji. Međutim, takve stanice se mogu nakon 3-4 godine pomaknuti na druge lokacije.

Ugradnjom takvih ispitnih uređaja, dobio bi se niz podataka o intenzitetu i vrsti zagađenja u našim primorskim područjima. To bi bila jedina pravilna osnova za izbor izolacije i izbor dodatnih zaštitnih mjera za ta područja. U rasklopnim postrojenjima smještenim blizu obale posljedice zasoljavanja su najteže, pa bi tu trebalo poduzeti niz mjera kao što su: pravilan izbor lokacije, pranje pod naponom u ugroženim područjima, primjena zaštitnih masti i sl. Rješenje koje se nazire za vodove sastoji se u primjeni više klase izolatora, bilo da se radi o duljoj kliznoj stazi, bilo o drugačijoj geometriji lanca od uobičajene. Ako vod prolazi posebno zagađenim područjima, može se razmotriti i tehnika zamašćivanja koja mora biti mehanizirana na poseban način. Neosporno je, međutim, da je prethodno potrebno izvršiti ispitivanja svih ovih zaštitnih mjera u našim eksperimentalnim postrojenjima, kako bi izabrana rješenja bila najoptimalnija za naše uvjete.

LITERATURA

1. Sekso: Posolica na izolaciji postrojenja i vodova visokih napona, Elaborat Instituta za elektroprivredu, Zagreb, 1976.
2. Lambeth, Looms, Leroy, Porcheron, Carrara, Sforzini: The salt fog artifical pollution test, Ref. No. 25-08 CIGRE-Paris 1968.
3. Paris, Sforzini: Use of the salt-fog test for establishing pollution requirements for insulators, Report of CIGRE S.C. No 33-70 (WG 04) 11 IWD
4. Gregorie, Lambeth, Sforzini, Verma: A critical comparison of artificial pollution test methods for h.v. insulators, Rep. at the Colloquium of CIGRE SC No. 33 in Montreal, 1975.
5. Verma, Kolossa, Niklasch, Pedersen, Kritiansen, Rasmussen: A new criterion common for different pollution test procedures providing the link between service and test conditions, CIGRE SC 33-74 (WG 04).
6. Lambeth: Flashover of polluted HV insulators in a variety of wetting conditions, Referat na IEE kolokviju »Breakdown and discharge phenomena on insulating surfaces in gas media and in vacuum, London, 1975.
7. Lambeth: Efect of pollutio on high-voltage outdoor insulators, Proc. IEE, Vol. 118, No. 9. 1971.
8. Hampton: Flashover mechanism of polluted insulation, Proc. IEE, Vol. 111, No. 5, May 1964.
9. Sforzini, Cortina: Comparison of scales of natural pollution levels proposed by different authors, CIGRE S.C. 33-73 (WG 04) 15 IWD, 1973.
10. Marrone: Misure di conducibilita superficiale nella stazione sperimentale di S. Caterina, Indicazioni sulla salinita equivalente dell ambiente, ENEL Direzione Studi e ricerche, Milano, Nov. 1975.
11. Malaguti: Impiego dei grassi quale mezzo per impedire la scarica degli isolamenti superficiali in condizioni di inquinamento elevate, Tecnica No 8, 1971.
12. Verma: Höchster Ableit — Stromimpuls als Kenngrösse für das Isolierverhalten verschmutzter Isolatoren, ETZ-A, Heft 5, 1973.
13. Kawai, Milone: Tests on salt - contaminated insulators in artifical and natural wet conditions, IEEE Trans, Vol. PAS-88 Sept. 1969.
14. Kawai: Tests in Japan on the performance of salt contaminated insulators in natural and artifical humid conditions. Proc. IEE, Vol. 115, Jan. 1968.
15. Stridh: Saltprovstationerna i BVT och SEE, delrapport 2, Izvještaj Sydkraft, Malmø, 1974; Instruktion för Sydkrafts saltprovstationer, Izvještaj Sydkraft, Malmø 1971.
16. Pedersen, Rasmussen: Evaluation of the performance of polluted insulators, High voltage laboratory of Technical univarsity of Denmark, Copenhagen, 1975.
17. Sforzini: Testing of Polluted Insulators — The Present Situation and Problems of the Future, Ref. at Symposium on "Testing of Power Apparatus and Systems Operating in the Megavolt Range", University of Manchester, 1971.
18. ENEL-Direzione Studi e Ricerche: Stazione sperimentale di S. Caterina per lo studio degli isolamenti superficiali in atmosfera inquinata, Izvještaj L5/22-62, Milano.
19. Claverie, Porcheron: How to choose insulators for polluted areas, IEEE Trans, Vol PAS, 1972.
20. Last, Pegg, Sellers, Stalewski, Whittaker: Live washing of h.v. insulators in polluted areas, Proc. IEE, Vol. 113, May 1966.

Naslov pisaca:

Ante Sekso, dipl. ing. i
Ivo Hrs, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA
I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA
KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.

Impregnira po najsuvremenijim metodama.

Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

REZULTATI ISPITIVANJA NAJVIŠIH NAPONA OPASNOSTI, KOJI SE MOGU INDUCIRATI U DOJAVNIM VODOVIMA, NAKON PRELAZA RAZDJELNIH MREŽA NA POGON S UZEMLJENIM ZVJEZDIŠTEM

Miroslav J u n g, Zagreb

Prikazani su rezultati eksperimentalnih ispitivanja napona opasnosti na dojavnim vodovima na području SR Hrvatske, koji omogučuju zaključak da uz promjenu načina uzemljenja zvjezdišta promatranih razdjelnih mreža inducirani naponi opasnosti ostaju, u pravilu, unutar propisima dozvoljenih granica, pa ne treba poduzimati posebne mjere za zaštitu dojavnih postrojenja.

DK 621.316.1 : 614.8

1. SVRHA ISPITIVANJA

Visokonaponske razdjelne elektroenergetske mreže nazivnog napona do 35 kV u SR Hrvatskoj nalaze se u pogonu s izoliranim zvjezdištem. Jedini je izuzetak mreža 35 kV napajana iz TS 110/35 kV Pula, čije je zvjezdište uzemljeno krajem 1975. preko kovinskog otpornika za ograničenje struja jednopolnog kratkog spoja na najviše 1 000 A. Od ostalih mreža u pripremi je uzemljenje zvjezdišta mreža 35 kV priključenih na transformatorske stanice Komolac (Dubrovnik), Pazin, Pehlin (Rijeka) i Zadar, te mreže 10 kV priključene na TS 35/10 kV Sisak II i dviju mreža 10 kV na području grada Zagreba.

U navedenim i brojnim ostalim našim razdjelnim mrežama kapacitivna struja zemljospoja nadvisuje i višestruko iznose preporučene našim propisima (L.1), kod kojih bi trebalo spomenute mreže galvanski odvojiti ili njihovo zvjezdište uzemljiti, i to: 30 A u mrežama 6 kV, 20 A u mrežama 10 kV, 15 A u mrežama 20 kV, odnosno 10 A u mrežama 35 kV. Slično, pak, prema njemačkim propisima (L.2) iznosi granica samogašenja struje zemljospoja, uz izolirano zvjezdište, 35 A u nadzemnim mrežama, odnosno 60 A u kabelskim mrežama nazivnog napona 20 kV, a 40 A u mrežama 30 kV, što je i u prijedlogu našeg standarda (L.3).

Stoga je odlučeno (L.4), prema uzoru na francusku praksu (L.5), uzemljiti zvjezdišta razdjelnih mreža visokog napona sa strujama zemljospoja previsokog iznosa preko djelatnog otpora za ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja na najviše 300 A u nadzemnim mrežama, odnosno 700 ili 1 000 A u kabelskim mrežama, nezavisno od iznosa njihova nazivnog napona. U mješovitim nadzemno-kabelskim mrežama odlučeno je odabrati jedan od tri navedena iznosa struja, ovisno o stvarnim uvjetima stanovite mreže. Od navedenog izuzete su nadzemne mreže 10 kV, čije će zvjezdište i nadalje ostati izolirano zbog malih iznosa pripadne struje zemljospoja, dok će se zvjezdište kabelskih dijelova postojećih mješovitih mreža 10 kV uzemljiti tek nakon njihova galvanskog odvajanja od pripadnih nadzemnih dijelova, pri čemu treba utjecaje kraćih kabelskih dionica u nadzemnim mrežama, odnosno kraćih nadzemnih dionica u kabelskim mrežama posebno ispitati.

S prelaskom stanovite razdjelne mreže od pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon s neizravno uzemljenim zvjezdištem dobivaju se struje jednopolnog kratkog spoja, koje u odnosu prema prvobitnom stanju, načelno, izazivaju napone dodira i koraka povišenog iznosa. Stoga je potrebno ustanoviti da li postojeći uzemljivači postrojenja i stupova nadzemnih vodova odgovaraju našim propisima (L.6 i 7) ili je potrebno pristupiti njihovim dopunama. Ovdje treba napomenuti da u (L.7), očito radi omaške, nisu definirani uzemljivači stupova nadzemnih elektroenergetskih vodova u mrežama s neizravno uzemljenim zvjezdištem, no, po prirodi stvari, radi automatskog iskapčanja struje jednopolnog kratkog spoja, ovdje treba primjeniti odredbe navedenog pravilnika za mreže s izravno uzemljenim zvjezdištem.

U vezi s naponom dodira i koraka želimo na ovom mjestu još posebno istaknuti činjenicu da se prema najnovijim njemačkim propisima (L.8) ne treba više obazirati ni na napone koraka u postrojenjima, dok naponi dodira mogu, ovisno o trajanju kvara, znatno premašiti dosad dozvoljene vrijednosti. Budući da su takva i slična gledišta već našla odraza u propisima drugih zemalja, preporuča se pristupiti poboljšanju uzemljivača stanovitih postrojenja prema (L.6) tek nakon temeljite procjene stvarne tehničke i gospodarske opravdanosti takvog zahvata.

S uvođenjem neizravnog uzemljenja zvjezdišta razdjelnih mreža uvodi se također i mogućnost indukcije napona opasnosti u susjednim dojavnim vodovima različitih korisnika (JA, JŽ, PTT i dr.) za trajanja jednopolnih kvarova u elektroenergetskoj mreži. Stoga je neophodno i provjeriti iznos navedenih napona opasnosti, a možda i primjeniti zaštitne mjere prema našim propisima (L.9). S obzirom na njihovu tehničku zastarjelost smatramo potrebnim upozoriti na dosadašnji rad na donošenju novih propisa, posebnog studijskog komiteta za perturbacije JNK CIGRE, te na već navedeni prijedlog JUS-a (L.3) i njemačke propise (L.2), kao i na međunarodne preporuke (L.10).

Navedena promjena načina uzemljenja zvjezdišta zahtijeva još i prilagođavanje postojeće relejne i prenaponske zaštite mreže novim uvjetima. Nadalje, razmatranje opravdanosti uvođenja i rješenje automatskog ponovnog uključivanja, provjeru toplinske čvrstoće pojedinih elemenata mreže na novo uvedene struje jednopolnog kratkog spoja, kao i provjeru i rješenje zaštite potrošača osjetljivih na uvođenje automatskog ponovnog uključivanja, uključivši i mjerenje stacioniranih i prijelaznih prenapona. Sve spomenuto učinjeno u brojnim studijama (L. 11—L. 12) izrađenim u Institutu za elektroprivredu, Zagreb, od godine 1964. dalje. Navedene studije obuhvatile su razdjelne mreže 35 kV na području zagre ačke regije (bez područja »Elektre«, Karlovac), na područjima »Elektroslavonije«, Osijek, »Elektroistre«, Pula, »Elektroprimorja«, Rijeka (bez područja »Elektrolike«, Gospić), »Elektre-Zadar«, Zadar, otoka Brač, Hvar i Vis, te na području TS 110/35 Komolac (»Elektrojug«, Dubrovnik), kao i gradske kabelske mreže 10 kV Osijeka, Siska i Rijeke.

Ovdje, međutim, želimo podrobnije prikazati samo postupke primijenjene u navedenim studijama za ispitivanje induciranih napona opasnosti, kao i rezultate tih ispitivanja.

2. POSTUPCI ZA ISPITIVANJE

Iznose i raspodjelu napona opasnosti u dojavnim vodovima i postrojenjima inducirane strujama dozemnih kvarova na elektroenergetskim vodovima i postrojenjima visokog napona možemo ustanoviti primjenom računskog ili mjernog postupka. Potonji je osobito prikladan kad se ispituje utjecaj postojećjh utjecajnih objekata na postojeće utjecajne objekte. Može se provesti izazivanjem umjetnih kvarova u redovitom pogonu elektroenergetske mreže, kada mjerenja daju izravno potrebne rezultate, ili primjenom sniženih napona i struja pogonske frekvencije, kada uz postignute dovoljne iznose inducirajućih struja potrebne rezultate određujemo preračunavajući rezultate mjerenja na stvarne iznose struja kvara uz pretpostavku linearnih odnosa, kod različitih iznosa inducirajućih struja jednake frekvencije. Rezultatima prije obavljenih mjerenja možemo se poslužiti i kod primjene računskog postupka ako su mjerenja obavljena u sličnim uvjetima ili radi određivanja iznosa prosječnog (dubinskog) specjfičnog otpora tla za potrebe proračuna. Konačno, možemo mjerenja na izvedenim objektima iskoristiti još i za provjeru rezultata prije obavljenih proračuna u manje ili više dvojbenim slučajevima.

Za razliku od mjernog postupka, primjena računskog postupka za proračun jnduciranih napona opasnosti u dojavnim vodovima i postrojenjima, osim poznavanja raspodjele struja kvara na najnepovoljnijim mjestima u elektroenergetskoj mreži, pretpostavlja još i poznavanje geometrijskog rasporeda i izvedbe utjecajnih i utjecanih objekata, kao i dugih uzemljenih kovinskjh objekata; poput cjevovoda, kabelskih plašteva i zaštitnih užeta ostalih vodova, tračnica i sl., koji utječu na rezultate proračuna, te iznosa prosječnog (dubinskog) specifičnog otpora tla na području međusobnog približavanja, uporednog vođenja i križanja utjecajnih elektroenergetskjh i utjecanih dojavnih vodova (pojas širine oko 1 do 3 km za svake strane utjecanog objekta). Uz neizbježne geodetske radove, koji mogu utjecati na trajanje i cijenu računskog postupka, moramo pri tome računati i s ograničenom točnosti računskih rezultata, što je rezultat korišenja približnih formula, osnovanih na izvodima Carsona i Pollazceka iz god. 1926/27. Iako je zbog toga manje prikladan, računski je postupak ipak neizbježan, barem kad jedan od nabrojanih objekata još nije dovršen, a moramo unaprijed utvrditi jačinu utjecaja i odrediti moguće mjere za zaštitu od nedozvoljeno visokih napona opasnosti.

Budući da je u okviru priprema za prijelaz naših postojećih razdjelnih mreža visokog napona od pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon s neizravno uzemljenim zvjezdištem bilo potrebno ustanoviti najviše iznose napona opasnosti u postojećim dojavnim vodovima i postrojenjima induciranim novo uvedenim strujama jednopolnog kratkog spoja, Institut za elektroprivredu u Zagrebu predložio je primjenu mjernog postupka, a svi su je zainteresirani korisnici elektroenergetskih i žičanih dojavnih mreža prihvatili zbog izrazitih prednosti. Kako postojeće stanje promatranih mreža nije omogućavalo izazivanje potrebnih umjetnih kvarova u redovitom pogonu, mjerenja su u pravilu obavljena sniženim naponom pogonske frekvencije, pri čemu su bile, ovisno o okolnostima, postignute struje od najmanje 9 do najviše 142 ampera efektivne vrijednosti (vidi tablicu), i to na nadzemnim elektroenergetskim vodovima dužine do 50 km, odnosno na kabelskim elektroenergetskim vodovima duljine do 11 km.

Mjerenja su obavljena prema (L.2) tako da su sve tri faze utjecajnog elektroenergetskog voda bile na jednom njegovu kraju kratko spojene i uzemljene, a na drugom kraju je voda između navedenih faznih vodiča i zemlje narinut jednofazni mjerni napon pogonske frekvencije te je mjerena ukupna struja u svim faznim vodičima ($3I_{omj}$). Istodobno je utjecani dojavni vod na svom daljem kraju, promatrano sa stajališta utjecajnog voda, bio uzemljen, te je na njegovu bližem kraju mjeren inducirani napon opasnosti (U_{imj}) pomoću voltmetra visokog unutarnjeg otpora ili osciloskopiran.

Dakako za omjer $Z_m = U_{imj}/3\,I_{omj}$ predstavlja iznos međuimpedancije strujnih krugova utjecajni vod — zemlja i utjecani vod — zemlja, kod mjerne frekvencije, i to »neto-iznos«, jer uzima u obzir i sve redukcijske faktore uzemljenih kovinskih predmeta u utjecajnom području (zaštita užeta nadzemnih i plaštevi, odnosno ekrani kabelskih vodo-

PREGLED REZULTATA ISPITIVANJA NAJVIŠIH NAPONA OPASNOSTI INDUCIRANIH U DOJAVNIM VODOVIMA STRUJAMA JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA U MREŽAMA 35 kV

Podaci voda 35 (30) kV			Najveća struja jednopol. kr. spoja A		Podaci mjerenja f = 50 Hz		Najviši napon opasnosti f = 50 Hz, V	
Naziv	Vrsta	Dužina km	na početku voda	na kraju voda	Utjecajna struja A	Utjecajni napon V	uz struju na početku voda	uz struju na kraju voda
Vink. II—Županja	nadz.	30,0	302	241	20	31	468	374
D. Mih.—Valpovo	nadz.	21,2	261	225	19,8	13,1	173	149
Čičinci—P. Slatina	nadz.	18,5	243	243	20	2,7	37	33
Osijek II— Centar	kabel	4,8	1015	978	20	6,9	350	337
Cres—M. Lošinj	mješ.	50,9	262	178	9	40	1164	791
Plase—Martinš.	nadz.	13,0	266	246	70	63	239	221
Matulji—Turnić	nadz.	8,2	260	253	87,5	25	74	72
Buje—Poreč	nadz.	23,6	304	223	23	28	370	271
Buje—Karojba	nadz.	23,5	304	246	21,8	15	209	169
Buje—Umag	nadz.	10,2	304	288	20	17	258	245
Karojba—Buzet	nadz.	20,7	448	325	28,2	17	270	196
Dugi Rat—V. Toč.	mješ.	53,5	307	214	15,75	0,14	2,7	1,9
Dudi Rat—Dujmov.	nadz.	17,0	325	—	76	50	214	—
Dugi Rat—Omiš	nadz.	4,7	325	320	88	24	89	87
Peruča—Vrlika	nadz.	19,9	300	—	17	0,3	5,3	—
Plat—Cavtat	nadz.	7,2	298	289	102	12,5	36,5	35,4
Ivanić—Popovača	nadz.	20,5	289	259	41,5	12,2	85	76
Međurić—Kutina	nadz.	8,3	290	280	68	6,2	26	26
Kutina—Popovača	nadz.	12,0	280	264	50	3,8	21	20
Međurić—Novska	nadz.	14,2	290	269	45,6	21	134	124
Zabok—Krapina	nadz.	17,5	289	252	47,6	11	67	58
Zabok—Zl. Bistrica		14,0	289	258	54,4	44	234	209
Resnik—Ružmar.	kabel	10,8	953	899	118,2	2,0	16	15
Resnik—Sesvete	kabel	10,6	996	888	97,2	4,2	43	38
Resnik—Volovčica	kabel	6,4	998	914	142,4	5,4	37	35

va, tračnice, cjevovodi i sl.). Iako je iznos Z_m, zbog utjecaja feromagnetizma, strogo uzevši strujno zavisna veličina, ostaje činjenica da će se mjerne i pogonske struje na svom povratnom putu kroz čelične predmete malog presjeka, tj. velikog jediničnog otpora u omima/km u odnosu prema djelatnom otporu tla $\pi^2 \cdot f \cdot \mu'_z \cdot 10^{-4}$ (0,05 oma/km kod frekvencije 50 Hz i $\mu'_z = 1$), zatvoriti u neznatnom apsolutnom iznosu, pa možemo nezavisno od stvarne gustoće struje u njima odrediti najviši iznos induciranog napona u dojavnom vodu $U_{imax} = Z_m \cdot I_{Kr} = U_{imj} \cdot I_{Kr}/3 \cdot I_{omj}$ množenjem iznosa međuimpedancija s iznosom najveće vjerojatne struje dozemnog kvara na kritičnim mjestima u mreži.

Općenito uzevši, kritična su mjesta dozemnih kvarova u elektroenergetskim mrežama počeci i svršeci međusobnog približavanja i usporednog vođenja utjecajnih i utjecanih vodova, no posebno u radijalnim jednostrano napajanim razdjelnim mrežama visokog napona s neizravno uzemljenim zvjezdištima kritična su mjesta jednopolnih kratkih spojeva svršeci međusobnog prjbližavanja i usporednog vođenja navedenih objekata, promatrano sa stajališta pojne točke razdjelne mreže (transformatorske stanice (110/35 (30) — 20 — 10 kV ili 35 (30)/10 kV) u kojoj je i provedeno uzemljenje njezina zvjezdišta.

Poznajemo li, dakle, iznos međuimpedancije Z_m, iz rezultata mjerenja, i iznos kritične struje I_K, iz rezultata proračuna kratkog spoja, imat ćemo na dlanu j potrebni najviši iznos induciranog napona opasnosti, pa nakon usporedbe s njegovim najvišim dozvoljenim iznosom prema propisu koji je na snazi prosuditi o potrebi poduzimanja jedne od propisanih zaštitnih mjera.

Prilikom organizacije ispitivanja izbor objekata za provedbu mjerenja prepušten je korisnicima utjecanih dojavnih mreža, koji su predlagali za ispitivanja najugroženije objekte sa svog stajališta. Elektroprivredna strana je, u načelu, prihvaćala sve takve prijedloge, pa je i sama zahtijevala ispitivanja na vlastitim signalno-komandnim kabelima položenim u istom rovu s elektroenergetskim kabelima. Stoga su provedena ispitivanja zaista obuhvaćala sva očito najnepovoljnija međusobna približavanja i usporedna vođenja utjecajnih i utjecanih objekata na područjima razdjelnih mreža visokog napona nabrojenima u uvodu, osim područja poduzeća PTT saobraćaja Bjelovar i Varaždin, gdje ispitivanja još nisu obavljena.

Mjerenja su provodile dvije ekipe: elektroprivredna i korisnika dojavnih postrojenja, svaka na svojim objektima, pa su za djelotvornost mjerenja bile odlučne dobre pripreme i pouzdana sredstva sporazumijevanja u toku mjerenja. Uz navedene pretpostavke, trajanje prekida pogona ispitivanih objekata iznosi obično oko dvadesetak minuta, koje je vrijeme dovoljno da se ispitivani objekti stave izvan pogona, izvrše potrebni priključci, obave mjerenja, uspostavi prvobitno stanje na ispitivanim objektima i da se ponovno uključe u redoviti pogon.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati ispitivanja najviših napona opasnosti induciranih u dojavnim vodovima strujama jednopolnog kratkog spoja u razdjelnjm mrežama (35) 30 kV s neizravno uzemljenim zvjezdištem prikazani su na tablici 1.

U prve tri kolone spomenute tablice naveden je naziv, vrsta i dužina ispitivanog utjecajnog elektroenergetskog voda nazivnog napona 35 (30) kV.

U slijedeće dvije kolone spomenute tablice navedene su efektivne vrijednosti najviših mogućih iznosa struja jednopolnog kratkog spoja pogonske frekvencije kod neistodobnih kvarova na počecima i svršecima pojedinih utjecajnih vodova nazivnog napona 35 (30) kV, prema rezultatima proračuna struja kratkog spoja iz (L.11—L.21).

U koloni 6. tablice navedene su efektivne vrijednosti ukupne mjerne struje pogonske frekvencije u svim faznim vodičima utjecajnog voda, koje su ustanovljene prilikom ispitivanja od strane elektroprivrednog dijela mjerne ekipe, a u koloni 7. iste tablice navedene su efektivne vrijednosti induciranog napona opasnosti frekvencije 50 Hz što su ih izmjerili predstavnici korisnika dojavnih mreža na utjecanom vodu. Preostaje zapravo da se potonje vrijednosti napona opasnosti preračunaju na iznos stvarne najveće struje jednopolnog kratkog spoja kod kvara na kritičnom mjestu u mreži, tj. na svršetak dionice međusobnog približavanja utjecajnog voda. No kako su proračuni struja kratkog spoja provedeni samo za neistodobne jednopolne kratke spojeve u čvornim točkama mreža, a ne i za različita mjesta kvara uzduž pojedinjh vodova, a budući da nije uvijek jednostavno, bez geodetskih radova, utvrditi točan položaj kritičnog mjesta kvara na stanovitom vodu, preračunati su u zadnje dvije kolone u tablici 1. izmjereni iznosi napona opasnosti jedanput (predzadnja kolona) na najvišu moguću struju jednopolnog kratkog spoja na početku voda, te drugi put (zadnja kolona) na odgovarajuću struju kod kvara na kraju utjecajnog voda. Na taj način smo iskazali dvije vrijednosti iznosa najvišeg napona opasnosti, od kojih je prva sigurno viša od stvarne vrijednosti, a druga vjerojatno niža.

Uvidom u konkretne brojke lako možemo ustanoviti da je zakonom dozvoljen iznos induciranog napona opasnosti od 430 V premašen samo u tri slučaja, i to uz struju na početku voda 35 kV Vinkovci II — Županja te uz struje na početku i svršetku voda 30 kV Cres — Mali Lošinj. Budući da su kod oba navedena voda ustanovljena kritična mjesta kvara na njihovim svršecima, možemo ustanoviti da će u prvom slučaju najviši mogući inducirani napon opasnosti iznositi zapravo $374 < 430$ V, a u drugom slučaju $791 > 430$ V, te zaključiti da prijelaz ispitivanih razdjelnih mreža nazivnog napona 35 kV na pogon s neizravno uzemljenim zvjezdištem ne iziskuje poduzimanje zaštitnih mjera od napona opasnosti, osim u slučaju utjecaja voda 30 kV Cres — Mali Lošinj na susjedne dojavne vodove.

Od navedenih ispitivanja posebno je bio zanimljiv slučaj kabela 35 kV Osijek II — Centar, gdje su inducirani naponi mjereni na žilama signalno-komandnog kabela položenog na udaljenosti od 0,7 do 1,2 m od utjecajnog kabela, i to na čitavoj njegovoj dužini od 4,8 km. Preračunati napon opasnosti jznosi 337 V, iako bi rezultat bio pouzdaniji da su prilike dopuste ispitivanje većim strujama.

4. ZAKLJUČAK

Na temelju rečenoga možemo zaključiti da rezultati dosadašnjih pokusa (v. tablicu 1) provedenih na području SR Hrvatske radi ispitivanja najviših mogućih jznosa induciranih napona opasnosti, koje treba očekivati na žičanim dojavnim postrojenjima nakon prijelaza razdjelnih mreža visokog napona s pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon s neizravno uzemljenim zvjezdištem prema (L.4) pokazuju vrijednosti bitno njže od dozvoljenih 430 V (L.9). Jedinu iznimku čini paralelizam na potezu Cres — Mali Lošinj, dugom oko 50 km, no i tu bi se problem mogao riješiti ugradnjom translatora u dojavnu mrežu negdje u polovici navedenog paralelizma, s napomenom da pojačanje utjecaja treba ovdje očekivatj nakon izgradnje planiranog voda 110 kV na istom potezu.

Napomenimo još da promatrani utjecaji, u pravilu, ne bi trebali biti nikakva zapreka za uzemljenje zvjezdišta postojećih i budućih razdjelnih mreža s visokim iznosom kapacitivne struje zemljospoja.

LITERATURA

L. 1. Pravilnik o tehničkim merama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja, Službeni list SFRJ, br. 19/68.

L. 2. DIN 57228/VDE 0228 - Bestimung für Massnahmen bei Beeinflussung von Fernmerdeanlagen durch Starkstromanlagen (Teil 1/7.75 — Algemeine grundlagen; Teil 2/7.75 — Beeinflussung durch Drehstromanlagen)

L. 3. JUS N. CO. Zaštita telekomunikacionih postrojenja od uticaja smetnji elektroenergetskih postrojenja (101/76 — Pojmovi i definicije; 102/76 — Granične vrednosti i metode procene; 103/76 — Sredstva i merne zaštite;

L. 4. Zaključci sa sastanka tehničkih rukovodilaca poduzeća za distribuciju električne energije SR Hrvatske, Rijeka, 20. IV 1967.

L. 5. La mise à la terre du neutre des reseau n.t. aeriens et souterrains, H-80., Electricite de France, N. 59.

L. 6. Pravilnik o tehničkim nomativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1.000 V, Službeni list SFRJ, br. 4/74.

L. 7. Pravilnik o tehničkim nomativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova, Službeni list SFRJ, br. 51/73 i br. 69/73.

L. 8. Bestimmungen für Erdungen in Wechselstromanlagen für Nennspannungen über 1 kV, VDE 0141/7.76.

L. 9. Propisi za zaštitu vodova elektroveza od induktivnog uticaja električnih vodova, Službeni list FNRJ br. 34/51, br. 6/52, br. 13/60 i br. 24/67.

L. 10. Directives concerning the protection of telecommunication lines againts harmful effects from electricity lines, International telegraf and telephone consultative commitee (C.C.I.T.T.), New Delhi, 1960.

L. 11. Utjecaj struja dozemnog spoja na TT linije kod uzemljenja mreža 30 (35) kV preko niskoomskog otpora. IEP, Zagreb, 1964.

L. 12. Rješenje ujemljenja nultočke u transformatorskim stanicama 110/30 (35) kV — Konkretna primjena na TS 110/30 kV Dugi Rat, IEP, Zagreb, 1964.

L. 13. Mjerenje konstanta vodova 30 (35) kV, IEP, Zagreb, 1964.

L. 14. Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV u Istri (I dio: Mreža u bližoj budućnosti, IEP, Zagreb, 1968; II dio: Mreža oko godine 1975., IEP, Zagreb, 1969)

L. 15. Uzemljenje zvjezdišta mreža 30 kV Rijeke (I dio: Mreža u neposrednoj budućnosti, IEP, Zagreb, 1968; II dio: Mreže oko godine 1976, IEP, Zagreb, 1970)

L. 16. Uzemljenje zvjezdišta mreža 30 kV na otocima Krk, Cres i Lošinj, oko godine 1976, IEP, Zagreb, 1970.

L. 17. Uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja u mrežama 10 i 35 kV »Elektre«-Sisak, IEP, Zagreb, 1970.

L. 18. Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV »Elektroslavonije« i kabelske mreže 10 kV u Osijeku, Dio I. Uzemljenje zvjedišta i proračun kratkog spoja, IEP, Zagreb, 1973.

L. 19. Uzemljenje zvjezdišta mreža 30 (35) kV na području »Elektre« — Zagreb I dio — Uzemljenje zvjezdišta i proračun krakog spoja, IEP, Zagreb, 1975.

L. 20. Uzemljenje zvjezdišta razdjelnih mreža 35 kV na području »Elektre-Zadar«, I dio: Uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja, IEP, Zagreb, 1976.

L. 21. Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV priključene na TS 110/35 kV Komolac, IEP, Zagreb, 1976.

L. 22. Mjerenje unutarnjih prenapona u razdjeljnim mrežama, IEP, Zagreb, I dio/1975. i II dio/1976.

Naslov pisca:
Miroslav J u n g, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

ELEKTROPRIMORJE

»**ELEKTROPRIMORJE**« poduzeće za distribuciju električne energije Rijeka s ovim osnovnim organizacijama udruženog rada:

Elektrodistribucija Rijeka

Elektrodistribucija Skrad

Elektrodistribucija Crikvenica

Elektrodistribucija Opatija

Elektrodistribucija Cres-Lošinj

Elektrodistribucija Rab

Radna zajednica Zajedničke službe.

»ELEKTROPRIMORJE«
RIJEKA

Viktora Cara Emila 2
Telefoni: 31-888
32-333

OPTIMALIZACIJA SISTEMA TRANSFORMATORSKE STANICE 110/10(20) kV I MREŽE 10(20) kV

Rikard Schener, Zagreb

Analizira se optimalizacija sistema transformatorske stanice 110/10(20) kV u mreži 10(20) kV. Najprije se obrazlaže sistem rada, a zatim se za određene cijene elemenata mreže, cijene električne energije i snage analiziraju rezultati i navodi problematika kod odluke o optimalnom sistemu.

DK 621.316.1 : 621.311.42

UVOD

Optimalizaciju sistema transformatorskih stanica 110/10 (20) kV u mreži 10 (20) kV potrebno je provoditi u područjima gdje je opterećenje jednoliko raspoređeno po području napajanja, a to znači na područjima gdje se može računati s određenim gustoćama opterećenja. Takva su područja velikj gradovi i ravničarska područja s jednoliko raspoređenim selima. Za rješenje napajanja električnom energijom u takvim područjima potrebno je obično nekoliko transformatorskih stanica 110/10 (20) kV. Međutim, dilema je kakve nazivne snage transformatorskih stanica odabrati a da se dobije optimalno rješenje.

U literaturi, a i u praksi, nisu se potvrdila određena rješenja, pa se u praksi nije moguće vezati na rezultate analiza ni strane ni domaće literature. Još je veći problem što se kao optimalna rješenja pojavljuju transformatorske stanice s vrlo velikom razlikom u nazivnim snagama, i to od $1 \times 31{,}5$ MVA do 4×63 MVA a za jednake gustoće opterećenja.

Usporedbom podataka i samih rješenja može se vrlo teško zaključiti zašto je odabrano određeno rješenje.

Ovaj je članak pokušaj da se nešto više uđe u tu problematiku i sagledaju razlozi tako različitih rješenja. U prvom dijelu članka obradit će se metoda koja je upotrijebljena za analizu, a zatim će se analizirati rezultati i dati zaključci.

1. METODA ANALIZE

Da se nađe optimalni sistem, izračunavali su se godišnji troškovi transformatorske stanice 110/10 (20) kV i njezine mreže 10 (20) kV. Utjecaj mreže 110 kV se zanemario, jer se pokazalo (L.1) da je vrlo malen. Od mreže 10 (20) kV računali su se godišnji troškovi kabelskih, odnosno zračnih vodova 10 (20) kV. Godišnji troškovi transformatorskih stanica (10 (20)/0,4 kV nisu se uzimali u obzir. Optimalnu veličinu tih transformatorskih stanica određuju godišnji troškovi razvoda 0,4 kV i transformatorske stanice 10 (20)/0,4 kV, a malen je utjecaj mreže odnosno vodova 10 (20) kV. Za ovu analizu potrebno je jedino poznavati prosječno vršno opterećenje jedne transformatorske stanice 10 (20)/0,4 kV. U sprovedenim računima to će se opterećenje pretpostaviti i u svim će slučajevima biti jednako. Na taj su način specifični godišnji troškovi (d/MVA g) za transformatorske stanice 10 (20)/0,4 kV jednaki za sve slučajevi i ne uzjmaju se u obzir.

1.1. Godišnji troškovi TS 110/10(20) kV

Godišnje troškove transformatorske stanice 110/10 (20) kV čine godišnji troškovi investicija i godišnji troškovi gubitaka.

Godišnje troškove investicija potrebno je odredjti u ovisnosti o vršnom opterećenju transformatorske stanice, odnosno o njezinoj izvedbi. Oni su određeni prema jednadžbi

$$T_{ITS} = p_1 \cdot b_t \cdot c_t + p_2 [(b_t + b_{110}) \cdot c_{110} + (b_{10} + b_t) \cdot c_{10}] + + p_3 \cdot [b_t \cdot p_t \cdot (c_z + c_{gt}) + p_{110} (b_{110} + b_t) (c_z + c_{g\,110}) + + (b_{10} \cdot p_{10} + p_0) (c_z + c_{g\,10})] + p_4 \cdot F \text{ d/god.} \quad (1)$$

gdje su:

T_{ITS}	—	godišnji troškovi investicija u TS 110/10 (20) kV
$p_1\ p_2\ p_3\ p_4$	—	faktori godišnjih troškova investicija
b_t	—	broj transformatora
c_t	—	cijena transformatora
$b_{110}\ b_{10}$	—	broj 110 kV odnosno 10 kV polja
$c_{110}\ c_{10}$	—	cijena 110 kV odnosno 10 kV polja
$p_t\ p_{110}\ p_{10}$	—	građevna površina potrebna za transformator i vodna polja 110 kV odnosno 10 kV
p_0	—	građevna površina praktično neovisna o veličini transformatorske stanice (Aku-baterija)
$c_{gt}\ c_{g\,110}\ c_{g\,10}$	—	specifični građevni troškovi (Din/m²) za transformator i vodna polja 110 kV odn. 10 kV čini TS 110/10 kV.
c_z	—	cijena zemljišta
F	—	fiksni troškovi neovisni o veli-

Na taj su način godišnji troškovi investicija transformatorske stanice raščlanjeni na godišnje troškove vodnih polja 110 kV i 10 kV transformatora, građevinske troškove i fiksne troškove. Svaki od tih troškova podijeljen je još na svoje elemente. Sigurno da je moguća još detaljnija podjela, ali se smatralo da nije potrebna jer ne bi utjecala na rezultate.

Ovisnost godišnjih troškova investicija transformatorske stanice o opterećenju iskazana je pomoću broja odabranih transformatora i broja vodnih polja 10 kV.

Godišnji troškovi gubitaka transformatorske stanice su troškovi gubitaka u transformatorima. Oni su određeni jednadžbom

$$T_{GT} = b_t \cdot [P_{Fe} \cdot (c_s + T_p \cdot c_e) + P_{Cu} \left(\frac{S_m}{S_n}\right)^2 \cdot \cdot (c_s + \vartheta_1 \cdot T \cdot c_e)] \text{ d/god.} \quad (2)$$

gdje su:

T_{GT} — godjšnji troškovi gubitaka u transformatorima

P_{Fe} P_{Cu} — gubici u željezu odnosno u bakru

c_s, c_e — cijena snage odnosno energije

T_p — vrijeme trajanja pogona transformatora

S_m — vršno opterećenje jednog transformatora

S_n — nazivna snaga jednog transformatora

ϑ_1 — faktor gubitaka ovisnih o toku opterećenja transformatora kroz godinu dana.

Prilikom određivanja troškova gubitaka upotrijebljena je literatura L 2.

1.2. Godišnji troškovi 10(20) kV mreže

Cijeli proračun godišnjih troškova 10 (20) kV mreže pripremljen je za izračunavanje godišnjih troškova gradske kabelske mreže. Pokazat će se kako je moguća primjena i na seosku zračnu mrežu 20 kV (misli se na mrežu između pojedinih sela, koja spaja ta sela na neku TS 110/20 kV).

Godišnji troškovi 10 (20) kV kabelske mreže sastoje se također od godišnjih troškova investicija i godišnjih troškova gubitaka.

Godišnji troškovi jnvesticija određeni su jednadžbom

$$T_{IK} = p_5 \, (c_p + c_k) \cdot l_i \cdot b_i \text{ d/god.} \quad (3)$$

gdje su:

T_{IK} — investicijski godišnji troškovi kabela

p_5 — faktor godišnjih investicijskih troškova

c_p — cijena polaganja kabela

c_k — cijena kabela

l_i — prosječna dužina jednog izvoda

b_i — broj izvoda jz transformatorske stanice.

Prosječna dužina izvoda određena je jednadžbom

$$l_i = \frac{l_o \cdot k_o}{b_i} \left[(b_{s\,10} \cdot b_i) + \frac{1}{2}\left(\frac{b_i^2}{k_i} + b_i\right) + b_i\right] \text{ km} \quad (4)$$

$$l_o = \sqrt{\frac{s_{10} \cdot 4}{\sigma \cdot \pi}} \text{ km} \quad (5)$$

$$b_i = \frac{S_m \cdot b_t}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10}} \quad (7)$$

$$b_{s\,10} = \frac{S_m \cdot b_t}{S_{10}} \quad (8)$$

$$b_{10} = b_i + k_2 \quad (9)$$

$$S_m = S_n \frac{b_t - 1}{b_t}\left(1 + \frac{k_3}{100}\right) \text{ MVA} \quad (9)$$

gdje su:

$b_{s\,10}$ — broj TS 10 (20)/0,4 kV koje napaja jedna TS 110/10 kV

l_o — promjer kruga čiju površinu napaja jedna TS 10/0,4 kV

k_o — faktor kojim se uzima u obzir realni oblik mreže

k_1 — faktor kojim se uzima u obzir lokacija TS 110/10 (20) kV u odnosu prema konzumu napajanja i obliku konzuma

S_{10} — vršno opterećenje jedne TS 10 (20)/0,4 kV

τ — gustoća opterećenja konzuma

U_{10} — napon 10 kV odnosno 20 kV

I_{10} — maksimalno dozvoljena struja na početku izvoda

k_2 — broj rezervnjh vodnih polja 10 kV odnosno 20 kV

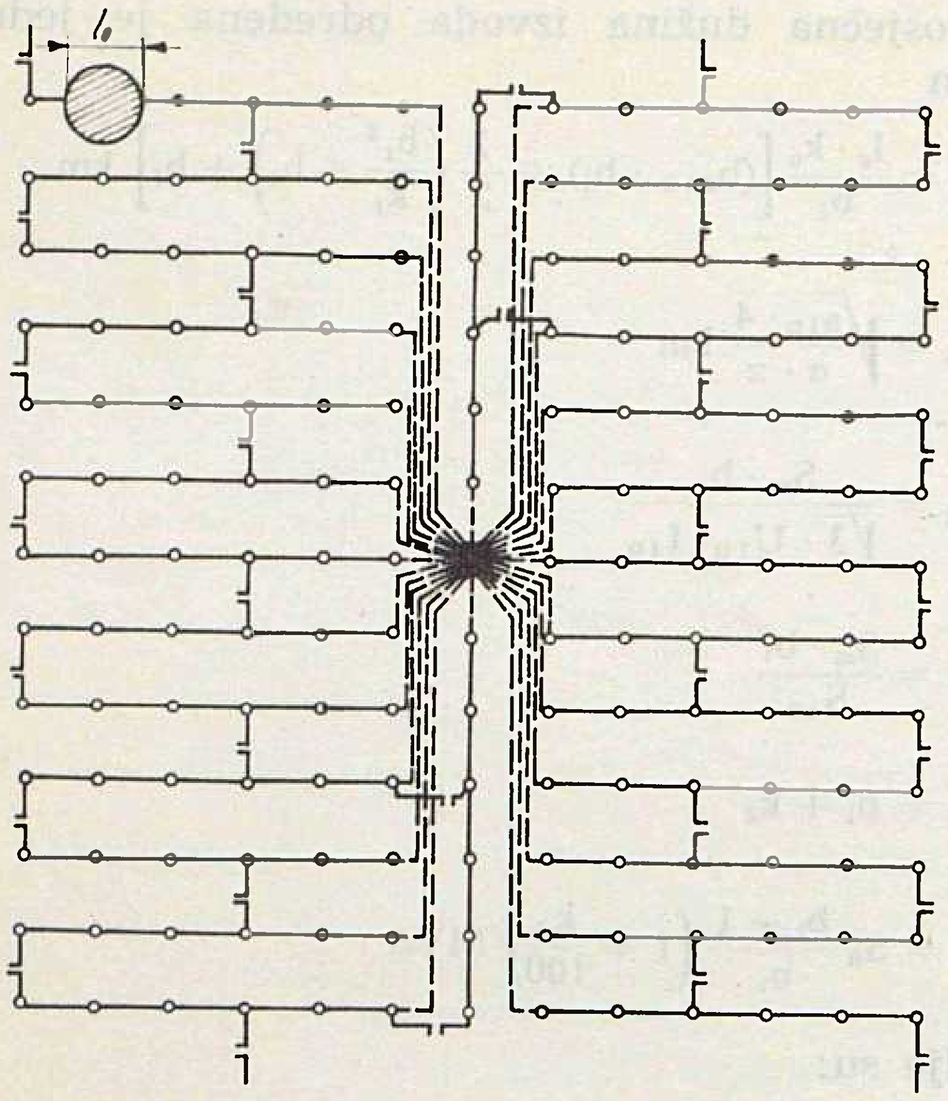
k_3 — dozvoljeno procentualno preopterećenje transformatora u slučaju ispada jednog iz pogona.

Uvrštenjem jednadžbe 4 u jednadžbu 3 dobije se

$$T_{IK} = p_3 \, (c_p + c_k) \cdot l_o \cdot k_o \left[(b_{s\,10} - b_i) + \frac{1}{2}\left(\frac{b_i^2}{k_1} + b_i\right) + b_i\right] \text{ d/god.} \quad (10)$$

Ukupna dužina 10 kV odnosno 20 kV mreže (izraz u uglatoj zagradi jednadžbe 10 pomnožen s $l_o \cdot k_o$) sastavljena je od tri člana. Na sl. 1. principijelno je prikazano kako se dolazi do svakog od članova.

Prvi član je tzv. osnovna mreža. Ona obuhvaća 10 kV mrežu potrebnu da se međusobno spoje sve TS 10 (20)/0,4 kV, ali bez dužine kabela potrebne da se svaka grupa TS 10 (20)/0,4 kV spoji na TS 110/10 (20) kV. Na sl. 1. ona je označena punom crtom. Dužina te mreže linearno je ovisna o broju TS 10 (20)/0,4 kV koja se napaja iz jedne TS 110/10



Dužina osnovne mreže: $L_0 = l_0 \cdot k_0 \cdot b_{s10} - l_0 k_0 \cdot b_i = l_0 \cdot k_0 (b_{s10} - b_i)$

Dužina dodatne mreže: $L_d = l_0 \cdot k_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot k_1 \cdot \frac{b_1}{k_1} \left(\frac{b_1}{k_1} + 1 \right)$

(za ovu sliku $k_1 = 4$*)* $L_d = l_0 \cdot k_0 \cdot \frac{b_i}{2} \left(\frac{b_i}{k_1} + 1 \right)$

Dužina poprečnih veza: $L_v = b_i \cdot l_0 \cdot k_0$

Ukupna dužina mreže: $L_u = l_0 \cdot k_0 \cdot b_i \left[\left(\frac{b_{s10}}{b_i} - 1 \right) + 0{,}5 \cdot \left(\frac{b_i}{ki} + 1 \right) + 1 \right]$

Sl. 1. Određivanje dužine 10 kV odnosno 20 kV mreža

(20) kV, odnosno o vršnom opterećenju TS 110/10 (20) kV.

Drugi član je tzv. dodatna mreža. Ona je zbroj dužina kabela, koja je potrebna da se svaka grupa TS 10 (20)/0,4 kV koju napaja jedan izvod spoji sa TS 110/10 (20) kV. Dužina te mreže raste s kvadratom broja 10 (20) kV izvoda. Osim toga, ta mreža ovisi i o faktoru k_1, kojim se uzima u obzir oblik konzuma i lokacija TS 110/10 (20) kV u odnosu prema njezinu konzumu. Za primjer iz sl. 1. $k_1 = 4$, jer je mreža 10 (20) kV podijeljena na četiri kvadranta i napaja konzum u obliku kvadrata za TS 110/10 (20) kV u centru konzuma. Takav stav prihvaćen je u L 3. Prema L 1 $k_1 = 6$, konzum ima oblik šesterokuta za TS 110/10 (20) kV u centru konzuma. Transformatorske stanice locirane na rubu konzuma računate su sa $k_1 = 2$. To znači da je TS 110/10 (20) kV locirana na rubu konzuma koji ima oblik kvadrata. Na sl. 1. može se to zamisliti ako se zanemari pola konzuma i TS 110/10 (20) kV bude tada locirana na rubu. Zbog tog se faktora kod rubnih TS 110/10 (20) kV naglo povećava dodatna mreža s opterećenjem u odnosu prema istim takvim opterećenjima kod centralnih TS 110/10 (20) kV.

Broj izvoda ovisi o vršnom opterećenju TS 110/10 (20) kV i dozvoljenom vršnom opterećenju jednog izvoda. Dozvoljeno opterećenje jednog izvoda ovisi o načinu pogona 10 (20) kV mreže, naponu distributivne mreže (10 kV odnosno 20 kV), materijalu i presjeku vodiča i izolacjji kabela. Način pogona (odnosno oblik 10 kV mreže L 4) nije se varirao. Računalo se s radijalnom mrežom, s poprečnim vezama i maksimalnim dozvoljenim opterećenjem kabela od 2/3 termički dopuštenog opterećenja. Za neki drugi oblik (L 4 i 5) treba odrediti i drugu jednadžbu za dužine mreže. Radijalni oblik mreže s poprečnim vezama primijenio se zbog toga što se najčešće primjenjuje. Kao izolacija kabela predviđa se papir.

Treći član jednadžbe 10 određuje dužinu poprečnih veza.

Godišnji troškovi gubitaka u kabelima određeni su prema jednadžbi

$$T_{GK} = 3 \cdot \frac{\varepsilon \cdot \rho}{A} \cdot I_{10}^2 (c_s + \vartheta_2 \cdot T_p \cdot c_e) \cdot l_1 \cdot b_1 \text{ d/god.} \quad (11)$$

gdje su:

T_{GK} — godjšnji troškovi gubitaka u kabelu

ε — faktor kojim se uzima u obzir raspored opterećenja uzduž izvoda

ρ — specifični otpor materijala vodiča

A — presjek vodiča

ϑ_2 — faktor gubitaka ovisnih o toku opterećenja kabela kroz godinu dana.

1.3. Specifični godišnji troškovi

Specifični godišnji troškovi cjjelog promatranog sistema određeni su jednadžbom

$$T_{Sp} = \frac{T_{ITS} + T_{GT} + T_{IK} + T_{GK}}{b_t \cdot S_m} \text{ din/MVA} \cdot \text{g.} \quad (12)$$

U brojniku je suma svih godišnjih troškova transformatorske stanice 110/10 (20) kV i kabelske mreže 10 (20) kV, a u nazivniku vršno opterećenje transformatorske stanice. Izraz 12 može se dalje razviti uvrštenjem jednadžbi za svaki od elemenata, ali je izraz koji se dobije nepregledan i prevelik.

Optimalni sistem je onaj koji ima najmanje specifične godišnje troškove. Variranjem veličina koje utječu na mrežu, odnosno veličina koja se želi odabrati dolazi se do optimalnog sistema. Iz analize, koja je postavljena na opisani način, može se za određene cijene elemenata mreže, određene faktore u jednadžbama i gustoće opterećenja dobiti optimalna snaga transformatora, broj transformatora i presjek kabela.

Cijeli obračun pripremljen je za obradu na računskom stroju. Računski stroj ne daje samo podatke za optimalni sistem, nego podatke za sve varijante s kojima se računalo. Na taj način se rezultati mogu uspoređivati, što se pokazalo neobično važnim. Osim toga može se varirati opterećenje transformatorske stanice za isti broj i vrstu transformatora, a ispitivani su i godišnji troškovi investicija i gubitaka za maksimalno opterećenje.

1.4. Primjena na određivanje optimuma TS 110/10(20) kV i zračne mreže 20 kV

Potrebno je napomenuti da se radi o transformatorskoj stanici koja napaja isključivo sela i nije vezana ni za kakav veći centar konzuma. Osim toga se pretpostavlja da su sela jednako raspoređena na površini konzuma. Ta pretpostavka je dovoljno točna za ravničarske krajeve (npr. Vojvodinu ili Slavoniju), a ne vrijedi za brdske predjele.

Uz te pretpostavke mora se u jednadžbama poći od slijedećeg:

— troškovi polaganja kabela c_p jednaki su nuli

— troškovi kabela c_k jednaki su troškovima dalekovoda

— vršno opterećenje TS 20/0,4 kV zamjenjuje se vršnim opterećenjem cijelog sela

— gustoća opterećenja dobije se djeljenjem ukupnog konzuma transformatorske stanice 110/20 kV s ukupnom površinom koja se napaja iz te stanice. To znači da se uzima u obzir i površina između sela.

Ograničenje na pad napona predviđeno je sa 8% u odnosu prema nominalnom naponu 20 kV.

2. ANALIZA REZULTATA

Za analizu je odabrana klasična izvedba transformatorske stanice 110/10 (20) kV. Ispadne li jedan transformator iz pogona, drugi preuzimaju opterećenje. Podaci za cijene pojedinih elemenata odabrani su prema projektima, odnosno katalozima proizvođača opreme, a cijena polaganja kabela prema podacima distribucija. Gubici su računati prema L 2, a cijene gubitaka su uzete prema cijenama distributivnih poduzeća.

Gustoće opterećenja odabrane su prema tablici I. S obzirom na predviđena vršna opterećenja kućanstva, ove gustoće opterećenja mogu se predvidjeti tek u budućnosti, i to u nekim slučajevima uz maksimalnu primjenu električne energije u kućanstvima. Račun se proveo s gustoćama opterećenja 2, 5, 10, 15, 30 i 60 MVA/km².

Broj transformatora u transformatorskoj stanici varirao se od 2 do 4 transformatora, a nazivne snage transformatora su slijedeće: 20, 31,5 40 i 63 MVA.

Vršno opterećenje transformatorske stanice 10 (20)/0,4 kV iznosilo je 500 kVA.

U tablici 2 nisu ispisani svi rezultati analize, nego četiri najpovoljnije varijante i njihov procentualni odnos.

Osnovno što se htjelo pokazati u tablici 2 jesu malene razlike između četiri najpovoljnije varijante, a time je jako otežan izbor najpovoljnije varijante. Računalo se s raznim podacima za cijene, ali, bez obzira na optimalnu veličinu transformatorske stanice većih nazivnih snaga Očito da za voljnijih varijanata bile malene.

Poteškoća je to veća što se kod većih gustoća opterećenja pojavljuju kao optimalne transformatorske stanice većih nazivnih snaga. Očito da za izbor transformatorske stanice nije dovoljna samo ovakva analiza iz ovih razloga:

— Minimalni specifični godišnji troškovi postižu se uvijek kod maksimalnog opterećenja transformatorske stanice. Ako je opterećenje manje od maksimalnoga, a jednako maksimalnom opterećenju neke stanice manje nazivne snage, tada ta manja stanica ima manje specifične troškove bez obzira na gustoću opterećenja. To znači da je takva transformatorska stanica manje ekonomična od drugih u cijelom razdoblju vremena od puštanja u pogon do njezina punog opterećenja.

— Gustoća opterećenja nije jednaka u cijelom razdoblju promatranja pa i zbog toga dolazi u obzir više varijanata.

Stoga je potrebno napraviti ekonomsku analizu odabranih rješenja za cijelo razdoblje promatranja i tada ih usporediti. Kolika je detaljna analiza potrebna, ovisi o razvoju konzuma transformatorske stanice i gustoće opterećenja. Kod ekstremnih

Tablica 1

PREDVIĐENE GUSTOĆE OPTEREĆENJA ZA GRADOVE

Vrsta izgradnje	Br. st. na ha	Br. kuć. na km²	MW/km²				
			2,5 kW/k	3 kW/k	5 kW/k	7,5 kW/k	10 kW/k
pretežno visokogradnja	350	11290	28	34	56	85	113
	300	9677	24	29	48	73	97
	250	8064	17	24	40	60	80
	200	6451	13	19	32	48	65
miješana izgradnja	150	4838	12	15	24	36	48
	125	4032	10	12	20	30	40
	100	3225	8	10	16	24	32
niska izgradnja	80	2580	6	8	13	19	26
	60	1935	5	6	10	15	19
	40	1290	3	4	6	10	13

— visokogradnja oko 7—11 katova
— broj stanovnika kućanstva iznosi prosječno 3,1 st./kuć.

Tablica 2

PODACI ZA TRANSFORMACIJU 110/10 kV

TS u centru konzuma			Br. kuć.	
Gustoća opt. MVA/km²	Nazivna snaga MVA	Procentualni odnos troškova %	Nazivna snaga MVA	Procentualni odnos troškova %
2	3 × 31,5	100	3 × 31,5	100
	4 × 31,5	101	2 × 31,5	100
	3 % 40	102	3 × 20	101
	2 × 63	102	2 × 40	101
5	4 × 31,5	100	3 × 31,5	100
	3 × 63	101	3 × 20	102
	3 × 31,5	101	2 × 63	102
	3 × 40	101	3 × 40	103
10	3 × 63	100	3 × 31,5	100
	4 × 31,5	100	4 × 31,5	102
	4 × 40	101	2 × 63	103
	4 × 63	102	3 × 40	103
15	3 × 63	100	3 × 31,5	100
	4 × 31,5	101	4 × 31,5	102
	4 × 63	101	3 × 40	103
	4 × 40	102	2 × 63	103
30	4 × 63	100	4 × 31,5	100
	3 × 63	100	3 × 31,5	100
	4 × 40	103	3 × 63	102
	4 × 31,5	103	3 × 40	102
60	4 × 63	100	4 × 31,5	100
	3 × 63	103	3 × 63	101
	4 × 40	106	4 × 40	103
	4 × 31,5	107	3 × 40	103

PODACI ZA TRANSFORMACIJU 110/20 kV

2	3 × 63	100	3 × 40	100
	4 × 63	100	3 × 63	100
	4 × 40	101	3 × 31,5	101
	3 × 40	102	2 × 63	101
5	4 × 63	100	3 × 63	100
	3 × 63	100	3 × 40	101
	4 × 40	102	4 × 40	101
	4 × 31,5	105	4 × 31,5	101
10	4 × 63	100	3 × 63	100
	3 × 63	102	4 × 63	101
	4 × 40	104	4 × 40	101
	4 × 31,5	108	3 × 40	103
15	4 × 63	100	3 × 63	100
	3 × 63	103	4 × 63	101
	4 × 40	105	4 × 40	102
	4 × 31,5	110	4 × 31,5	104

slučajeva, tj. kod vrlo jakog razvoja konzuma i velike gustoće opterećenja i obrnuto nije možda niti potrebna ta dodatna analiza. Zbog toga se i pojavljuju različita rješenja za veljke gustoće opterećenja. U L 6 opisana je analiza i izbor transformatorske stanice za jedan velegrad (Hamburg). Pokazala se optimalna transformatorska stanica 110/10 kV nazivne snage 4 × 63 MVA. U drugom primjeru (L 7), gdje se analizira razvoj elektrifikacije jednog malog mjesta od 3000 st. koje se treba razviti u grad od 50 000 st., dolazi se do drugih rješenja. Mora se napomenuti da je grad predviđen s električnim grijanjem stanova i da izračunato vršno opterećenje iznosi noću 180 MW, danju 80 MW, a da je srednja noćna gustoća opterećenja 36 MW/km². Transformatorske stanice 110/10 kV predviđene su s jednim transformatorom od 30 MVA, ali se ispad jednog transformatora nadoknadi preko 10 kV mreže.

Očito se pokazuje potreba za ekonomskom analizom za određeno vremensko razdoblje. Uobičajene su analize sumiranjem investicijja u određenom vremenskom periodu. Međutim, one mogu dati pogrešne rezultate jer ne uzima u obzir intenzitet investiranja u toku vremena. Metode kojima se to uzima u obzir opisane su u L 8. Međutim, te metode se u nas ne primjenjuju, pa bi se trebale razviti jer su neophodne za ovakve analize. To je naročito važno tamo gdje se ne očekuje ekstremno jak porast konzuma, odnosno ekstremno malen porast konzuma. Tada se najteže odlučiti o izboru najpovoljnijeg rješenja.

Problem se može riješiti smanjenjem cijene transformatorske stanice u odnosu prema cijeni kabelske mreže. Pri promjeni vršnog opterećenja transformatorske stanice njezini se specifični troškovi mijenjaju obrnuto razmjerno prema specifičnim troškovima kabelske mreže. Ako opterećenje stanice raste, njezini specifični troškovi padaju, ali rastu specifični troškovi kabelske mreže (povećava se dužina dodatne mreže). Uz smanjenje investicija u transformatorsku stanicu iste nazivne snage postaju ekonomičnije stanice manjih snaga, jer troškovi kabelske mreže tada imaju veći utjecaj.

Jedna od mogućnosti da transformatorske stanice pojeftine postiže se primjenom jednostavnijih shema visokonaponskih postrojenja (L 9). Kod tih rješenja može imati transformatorska stanica maksimalno dva transformatora, a visokonaponsko postrojenje je bez sklopke ii s jednom sklopkom od 110 kV, ovisno o shemi. Smanjenje broja 110 kV sklopki znatno smanjuje specifične troškove transformatorske stanice. Ukupni specifični godišnji troškovi takvih transformatorskih stanica i njihovih kabelskih mreža praktično su jednaki troškovima optimalnih sistema s klasičnom izvedbom visokonaponskog postrojenja. Kod manjih gustoća opterećenja (2 MVA/km²) su dapače i manji, ali su kod velikih (60 MVA/km²) veći nego kod klasičnih stanica.

Navest će se još neki rezultati analize.

Specifični godišnji troškovi sistema transformacije 110/10 kV kod svih su gustoća opterećenja veći nego kod transformacije 110/20 kV. Transformacija 110/10 kV je jedino jeftinija kod manjih vršnih opterećenja kad ne dolazi do izražaja prednost napona 20 kV. Uz lokaciju transformatorske stanice u centru konzuma jeftinija je transformacija 110/20 kV za 10% kod gustoće opterećenja od 2 MVA/km², odnosno za 18% kod 30 MVA/km². Kod rubnih transformatorskih stanica odnos je veći i iznosi 16% kod 2 MVA/km², odnosno 29% kod 60 MVA/km². Primjenom jednostavnijih transformatorskih stanica razlika se u troškovima smanjuje i iznose 7,5% do 9%.

Presjek kabela također utječe na specifične godišnje troškove i postoji korelacija između izbora presjeka kabela i nazivne snage transformatorske

stanice. Uz veće transformatorske stanice ekonomičniji su i veći presjeci kabela, ali od određene nazivne snage naviše, a ona nije jednaka kod 10 kV i kod 20 kV. U provedenim analizama uzeti su u obzir presjeci vodiča od 150, 185 i 240 mm² uz aluminij kao materijal, i to za obje transformacije. Kod ovih je prosjeka razlika troškova razmjerno mala. Međutim, tu povezanost je potrebno uzeti u obzir da se ne odaberu ekstremno oprečni elementi, npr. za stanice malih nazivnih snaga veliki presjeci kabela, i obrnuto.

Procentualni odnos troškova gubitaka i ukupnih troškova kretao se kod transformacije 110/10 kV od 18% do 25%, a kod transformacije 110/20 kV od 16% do 26%. Manji procenti se odnose na manje gustoće opterećenja. Utjecaj troškova gubitaka nije bitan za optimalni sistem.

3. ZAKLJUČAK

Ovako provedenom analizom može se odrediti optimalni sistem, ali samo za određeno opterećenje transformatorske stanice i gustoću opterećenja. Pošto se dobije nekoliko varijanata, potrebno je provesti analizu svake odabrane varijante s realnim opterećenjem kroz cijelo razdoblje promatranja i tada usporediti rezultate.

U članku se ne definira optimalna transformatorska stanica zbog navedenih razloga, a osim toga na optimalnu veličinu stanice uvelike utječe odnos cijena transformatorske stanice i kabelske mreže. Naročito su različiti troškovi polaganja kabela zbog terena, asfalta i sl. Zbog toga je za svaku konkretnu razradu potrebno nanovo definirati cijene i tada tražiti optimum.

LITERATURA

L 1. Umspannunwerksplanung für ein Grosstadt: W. Mollwitz, OZE, S. 33-44, 1974.

L 2. Netzverluste: VDEW, 1968.

L 3. Izbor napetostnih stopenj za razdelovanje električne energije: Elektroištitut, Ljubljana, 1967. R 354

L 4. Wirtschaftliche Netzformen städtischer 10 kV und 110 kV Netze: H. Lipken, Elektrizitätswirtschaft 22, 1972.

L 5. Wirtschaftliche 10 kV — Mittelspannungsnetze in der Grosstadt: W. Kaufmann, Elektrizitätswirtschaft 22, 1974.

L 6. Wirtschaftliche Belastung und Bemessung von Umspannwerken 110/10 kV und deren 10 kV Netze: H. Nagel. Energie 10, 1969.

L 7. Aktivierung und Planung von Netzen für allelektrische Versorgung: VDEW, 1970 (primjer 6 2 13)

L 8. Wirtschaftliche Investitionsplanung in der Elektrizitätswirtschaft: VDEW, 1966.

L 9. Neuzeitliche Netzgestaltung durch vereinfachte Hochspanungsschaltanlagen, VDE Fachber 21, 1960, S I/30 — I/39.

Naslov pisca:
Mr Rikard Schener, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

ELEKTROPRIVREDA
ZAGREB

PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU PRIJENOS I KUPOPRODAJU ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE

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

RJEŠENJE MREŽE 380 kV U SLAVONIJI

Marijan K a l e a, Osijek

Opisan je izbor lokacije TS 380/110 kV, određivanje trasa DV 380 kV, te međuovisnost rješenja i raspleta vodova i dispozicije trafostanice u području Slavonije. Prikazan je, dakle, onaj skup rješenja na koji su izrazit utjecaj imale, osim energetskih, tehničkih i ekonomskih, i šire okolnosti, kao ukupna podobnost za građenje objekata, uvjeti ostalih korisnika prostora i nadležnih zaštita okoline, predviđanje rezervi i sl.

DK 621.316.1 : 621.311.1

1. UVOD

Programom razvoja osnovne 380 kV mreže Jugoslavije određene su makrolokacije transformatorskih stanica i 380 kV vodovi što treba da se izgrade u prvoj etapi razvoja ove mreže. Zadatak je svakog investitora bio da na svojem elektroprivrednom području izgradi pripadne dijelove mreže 380 kV.

Objekti u ovoj etapi izgradnje mreže 380 kV na području Slavonije i Baranje jesu:

— transformatorska stanica 380/110 kV s lokacijom u Đakovu.

— dionice dalekovoda 380 kV od ove transformatorske stanice prema Obrenovcu, Zagrebu i Tuzli.

Razumljivo, bilo je potrebno izgraditi i vodove 110 kV kojima će se transformatorska stanica 380/110 kV povezati s mrežom 110 kV na području radi predaje energije.

Uloga transformatorske stanice 380/110 kV jest povezivanje poteza mreže 380 kV između Beograda i Zagreba, učvorenje poprečnog poteza iz Mostara, Sarajeva, Tuzle i mogućeg njegova nastavka prema Mađarskoj. Ona također omogućuje dalji očekivani razvoj mreže 380 kV. Kako je područje Slavonije i Baranje elektroenergetski posve deficitno, u ovom čvoru trebalo je osigurati transformaciju energije za mrežu 110 kV kao dopunu napajanju iz postojeće TS 220/110 kV Đakovo za rastuće potrebe.

Investitor je morao utvrditi mikrolokacije transformatorske stanice i trasa vodova 380 kV i osnovna tehnička svojstva objekata, prilagođujući se — na najekonomičniji način — prilikama i potrebama na području, ali tako da osigura tražena pogonska svojstva objekata sa stajališta osnovne 380 kV mreže Jugoslavije.

Osnovna tehnička rješenja objekata valjalo je uskladiti s osnovnim parametrima objekata 380 kV mreže Jugoslavije kao što su koordinacija izolacije, opterećenja u kratkom spoju, izvedba užadi za dalekovode, moguće sheme postrojenja, parametri transformatora, prigušnica, osnovne i pomoćne opreme, gromobranske zaštite i sl.

2. LOKACIJA TRANSFORMATORSKE STANICE 380/110 kV

Za ustanovljavanje potencijalnih mikrolokacija TS 380/110 kV osnova je bio očekivani razvoj vršnog opterećenja i godišnje potrošnje električne energije po veličini i geografskom razmještaju, mogući razvoj proizvodnje električne energije na ovom području te mogućnost njegove opskrbe vodovima 110 i 220 kV.

OSTVARENI I OCIJENJENI RAST KONZUMA PODRUČJA SLAVONIJE I BARANJE OD 1965. DO 1985. GODINE

1965.	1970.	1975.	1980.	1985.	
70 MW	144	261	410	620	MW
336 GWh/god.	680	1 300	2 100	3 200	GWh/god.

Geografski raspored ukupnog opterećenja i potrošnje izvršen je po čvorovima mreže 110 kV u 1980. godini.

U daljoj budućnosti pristupit će se izgradnji triju stepenica na Dravi s hidroelektranama manje snage i još skupljih (dakle kasnijih) hidroelektrana na Savi. Dunav na ovom području nije moguće hidroenergetski iskoristiti.

Ekonomičnog ugljena čini se da ovdje nema, a nafta i plin se eksploatiraju. Pretpostavljana je stoga mogućnost gradnje termoelektrane na tekuće gorivo srednje snage u Slavonskom Brodu i plinske elektrane u Podravini. Lokacija nuklearne elektrane u daljoj budućnosti predviđena je na najdonjem toku Drave ili slavonsko-vojvođanskom dijelu Dunava. Konačno, zamisliva je i pumpno-akumulacijska elektrana u području Papuk-Psunj srednje snage, ali opet u daljoj budućnosti i u vezi s nuklearnom elektranom.

Čitavo područje opskrbljivalo se pomoću dva voda 220 kV i dva voda 110 kV usmjerenih k jugu prema mreži na području SR Bosne i Hercegovine, sa samo jednom čvornom transformatorskom stanicom 220/110 kV Đakovo.

Prema vlastitim se energetskim izvorima nije mogla očekivati bitnija autonomija opskrbe u predstojećem bližem razdoblju, te će mreža 380 kV u tom razdoblju postati važna osnovica opskrbe

s drugih područja, upotpunjujući pravce povezanosti s istokom i zapadom. To je povećalo važnost izbora takvog rješenja mreže 380 kV na području koje bi ublažilo nedostatke takvog napajanja.

Utvrđeno je da se težišta vršnog opterećenja i potrošnje električne energije cijelog područja nalaze približno na polovici spojnice Đakovo—Osijek. Radi ispitivanja utjecaja nejednolikog razvoja opterećenja u nekom čvoru prema cjelini, pojedinačno je varirano svako opterećenje čvora u velikom rasponu i ustanovljeno nebitno pomicanje težišta.

Ostali utjecaji razmotreni su kvalitativno. Djelomično napajanje područja iz postojeće TS 220/110 kV Đakovo (uz novu TS 380/110 kV) pomiče težište ostatka opterećenja prema Osijeku. Razvoj hidroelektrana na Dravi i Savi pomaknut će težište od jedne ili druge rijeke, ali će se to na kraju donekle iznivelirati. Gradnja termoelektrane u Slavonskom Brodu pomicat će težište prema Osijeku. Nuklearna elektrana neće utjecati na težište u mreži 110 kV, jer će njezin priključak svakako biti na razini 380 kV.

Preliminarno su stoga izabrane dvije lokacije: oko Đakova i oko Osijeka, jer na tim mjestima postoje i ostale okolnosti potrebne za izgradnju i priključenje transformatorske stanice u mrežu 110 kV. U Đakovu uz postojeću TS 220/110 kV, a druga je lokacija 10 kilometara južno od Osijeka, u blizini sela Ernestinovo.

Te su dvije lokacije uspoređivane s obzirom na:

— udovoljavanje zahtjevima mreže 380 kV,

— udovoljavanje potrebama područja Slavonije i Baranje,

— omogućenje razvoja mreže 110, 220 i 380 kV,

— mogućnost privremenog pogona dijelova mreže 380 kV pod naponom 220 kV,

— ispunjenost općih okolnosti za izgradnju TS 380/110 kV i pripadnog raspleta vodova,

— veličinu investicijskih troškova s dinamikom,

— veličinu pogonskih troškova.

Da bi se na dio pitanja moglo odgovoriti, detaljnije je razrađena prijenosna mreža potrebna za opterećenja u 1980. godini kao srednje reprezentativnoj za pogon TS 380/110 kV. Kontrolno je razmotrena potrebna mreža u 1975. godini (radi ustanovljenja početne veličine izgradnje TS 380/110 kV) i mreža za dvostruko veća opterećenja od onih u 1980. godini, nazvana »2 × 1980« (radi sagledavanja konačne veličine izgradnje). Na istosmjernom modelu (jer se takav program za računalo dospio načiniti) ispitane su mreže za obje lokacije TS 380/110 kV uz istu sigurnost i kvalitetu napajanja čvorova mreže 110 kV. Uz lokaciju Đakovo utvrđena je potreba da se oko 1980. godine gradi TS 220/110 kV kod Osijeka.

Opće okolnosti potrebne za izgradnju postojale su na obje lokacije. Kod lokacije Đakovo poništavala se prednost od mogućeg djelomičnog iskorištenja postojeće infrastrukture manom zbog time suženog projektantskog okvira za najbolje rješenje i poteškoća kod građenja uz postrojenje u pogonu.

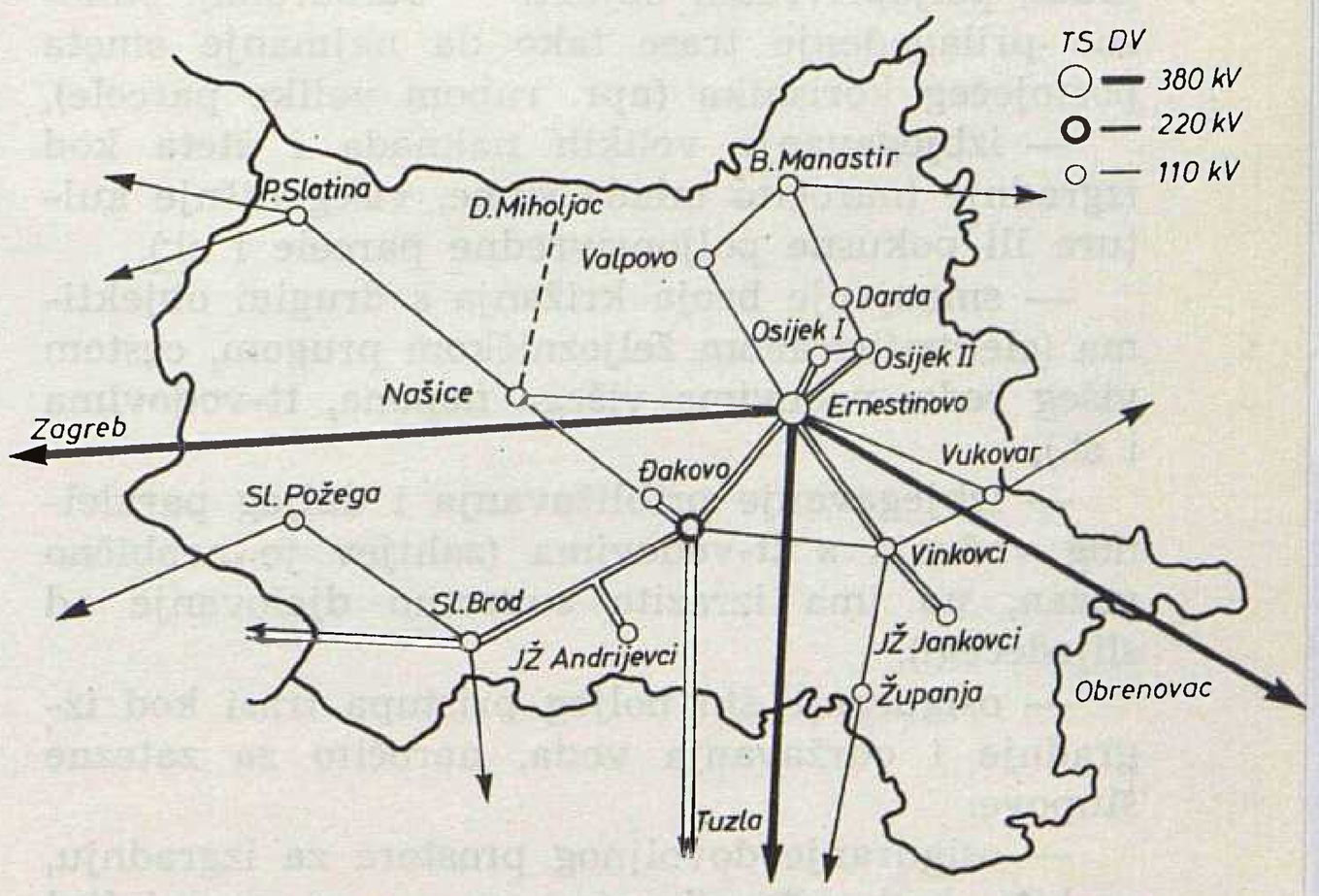
Određene su potrebne investicije za, po prilici, početnu, srednju i daljnju veličinu izgradnje, odnosno godine promatranja razvoja mreže: 1975. 1980. i »2 × 1980«, kao zbroj ulaganja u vodove 110 kV i pripadna polja, te vodove i postrojenja 220 kV i 380 kV jer su ta ulaganja ovisna o lokaciji TS 380/110 kV. U tablici 100 dinara odgovara ukupnim ulaganjima skuplje varijante, prema fiksnim cijenama iz 1971. godine:

Razdoblje	Lokacija TS 380/110 kV	
	Ernestinovo	Đakovo
1971—1975.	47	41
1976—1980.	24	29
1981—»2 × 1980«	25	30
Br. st.	96	100

Prema investicijama u početnu veličinu izgradnje povoljnija je druga, a prema ukupnim ulaganjima prva varijanta. Aktualizacijom budućih ulaganja na trenutak promatranja smjer se razlike ne mijenja uz razumnu kamatnu stopu.

Dakako, valjalo bi odrediti kumulativne pogonske troškove kao najmjerodavnije za ekonomsku usporedbu obaju rješenja. Troškovi amortizacije i troškovi gubitka energije mogu se izračunati. Samo, kako jednostavno a prihvatljivo vrednovati sigurnost, povoljnost za razvoj raspleta ili npr. poteškoće pri gradnji u blizini postrojenja u pogonu? Stoga je odstupljeno od kvantitativnog izražavanja.

Na temelju svega izabrana je mikrolokacija Ernestinovo kao povoljnija za smještaj TS 380/110 kV. Utvrđeno je na terenu mjesto koje je bilo što vodoravnije, dovoljno otvoreno za prihvat raspleta pogodno za postojeće DV 110 kV, u blizini ceste (i željezničke pruge), s dobrom postojećom odvodnjom i u domeni samo jedne organizacije društvenog sektora. Izvršeni su istražni radovi: geometar-



Sl. 1. Prijenosna mreža Slavonije i Baranje oko 1980. godine, prema (D. 7)

sko snimanje terena, geomehaničko i geoelektrično ispitivanje tla. Prikupljeni su hidrometeorološki, vodoprivredni i seizmički podaci. Izvršeni su vodoistražni radovi. Izrađen je hidrološki elaborat i utvrđen način vodoobrane. Načelno je određena zaštita na radu i zaštita od požara. Ishođeni su uvjeti, odnosno načelne suglasnosti postojećih korisnika i nadležnih. Tako je nastala potpuna lokacijska podloga za projektiranje.

Crtežom 1. prikazana je prenosna mreža područja Slavonije i Baranje u 1980. godini za lokaciju TS 380/110 kV u Ernestinovu.

3. TRASE DIONICA DALEKOVODA 380 kV

Određivanjem lokacije TS 380/110 kV jedna je točka svake dionice dalekovoda 380 kV postala poznata. Drugu je valjalo utvrditi zajednički s investitorom preostale dionice istog voda preliminarnim studiranjem mogućih trasa obaju područja. Nakon mikrolokacije spojnih mjesta moglo se pristupiti detaljnom izboru trase svake dionice.

Tu su primijenjeni slijedeći (često sa suprotnim djelovanjem!) kriteriji:

— što kraća duljina trase (uzimajući u obzir prosječnu duljinu zateznog polja od oko 5 km),

— što povoljniji profil trase, s rjeđim i manjim promjenama visine (imajući na umu prosječan raspon od oko 400 metara),

— izbjegavanje lokalnih slabonosivih terena (npr. močvare),

— izbjegavanje nehomogenosti u klimatskim uvjetima,

— potpuno zaobilaženje naselja, privrednih objekata, igrališta i groblja,

— zaštita okoline (izbjegavanje šume u najvećoj mjeri i udaljenosti od izrazito turističkih prirodnih područja),

— izbjegavanje visokovrijednih poljoprivrednih površina (velike uređene parcele, voćnjaci, vinogradi, poljoprivredni objekti — aerodromi), odnosno prilagođenje trase tako da najmanje ometa postojećeg korisnika (npr. rubom velike parcele),

— izbjegavanje velikih naknada i šteta kod izgradnje (naročito mlade šume, višegodišnje kulture ili pokusne poljoprivredne parcele i sl.),

— smanjenje broja križanja s drugim objektima (elektrificiranom željezničkom prugom, cestom višeg reda, vodovima višega napona, tt-vodovima i sl.),

— izbjegavanje približavanja i duljeg paralelnog vođenja s tt-vodovima (zahtjev je neobično važan, no ima izrazito suprotno djelovanje od slijedećeg!),

— osiguranje što boljeg pristupa trasi kod izgradnje i održavanja voda, naročito za zatezne stupove.

— osiguranje dovoljnog prostora za izgradnju, osobito kod zateznih stupova — za razmještaj bubnjeva i mehanizacije za razvlačenje užadi,

— udovoljavanje posebnim zahtjevima što su ih postavili: postojeći korisnici zemljišta, općine, vodoprivreda, organizacije prometa (ceste, željeznica, plovidba, zračni) i veza, narodna obrana, prostorni urbanistički planovi i planovi razvoja elektroprivrede (npr. približavanje lokaciji budućeg objekta).

Podloga za rad je topografska karta u mjerilu 1 : 50 000 i uporno pregledavanje terena. Teren je obiđen terenskim vozilom. Obavezno su pregledana potencijalna mjesta zateznih stupova. Na svakoj su se dionici pojavile varijante trasa, među kojima nije bilo jednostavno izabrati najpovoljniju. Stoga je odlučeno da se izvrši dopunski helikopterski obilazak kako bi se upotpunila osnova za izbor trase.

Kako je iskustvo vrlo povoljno, opisat će se nešto detaljnije. Pripreme su izvršene na topografskim kartama označavanjem područja užeg interesa — oko 500 m širine svih varijanata trase. Označena su i osobito zanimljiva mjesta, prema nekom od nabrojanih kriterija ili prema kakvoj uočenoj osobitosti. Flomasterima raznih boja i pripremljenim simbolima bilo je predviđeno registrirati za vrijeme leta šume, visokovrijedne kulture, obradive površine u društvenom i u privatnom sektoru, livade, neobrađeno zemljište, močvarno i podvodno tlo, sve komunikacije i njihovu kvalitetu, vodotoke, kanale, mostove u blizini i druge objekte koji nisu bili označeni na topografskoj karti, te objekte s karte kojih više nema na terenu. S pilotom helikoptera označeni su kursovi svih zateznih polja, tako da je let mogao voditi prema kompasu nakon identifikacije početne točke i, da kako, uz korekcije prema izrazitim orijentirima.

Upotrijebljen je helikopter spretnih manevarskih sposobnosti s prozirnom loptastom kabinom i mjestom za dva putnika (za takav pregled to je nužni minimum) uz pilota. Najpovoljnijom se pokazala brzina leta od 60-ak km na sat i visina u ravnici 50 do 60 metara. Za dulje obilaske treba planirati mjesto spuštanja radi uzimanja goriva i mehaničkog pregleda. Uz razgledanje pojedinih detalja kruženjem ili prilagođavanjem brzine i visine leta, ipak je efektivno utrošen samo 1 sat leta za obilazak 50 km trase. Cijena jednog efektivnog sata leta helikopterom odgovarala je tada 0,1 promilu vrijednosti tih 50 kilometara budućeg dalekovoda. Prikupljeni materijal bio je izuzetno bogat i uglavnom kvantificiran, te je omogućio definitivnu odluku.

4. OSNOVNA SHEMA I IZVEDBA POSTROJENJA TS 380/110 kV

Osnovna shema TS 380/110 kV Ernestinovo prikazana je na crtežu 2. Dvostruke glavne sabirnice postrojenja 380 kV izabrane su da bi omogućile razdvojen rad pri razmjeni s Mađarskom. Dodane su pomoćne sabirnice 380 kV zbog čvornog položaja ove stanice u mreži 380 kV.

Predviđeno je ukupno 8 vodnih polja 380 kV. U tome 4 određena, 3 rezervna s vjerojatnim namjenama: prema istoku (nakon izgradnje NE), jugu (nakon izgradnje TE Ugljevik ili »Velike Tuzle«), te zapadu (radi povećanog transporta s istoka ili (i juga) i jedno neimenovano rezervno polje.

U konačnoj veličini izgradnje osiguran je smještaj triju 380/110 kV transformatora od po 300 MVA. Uvaživši dva postojeća 220/110 kV transformatora od 150 MVA u TS 220/110 kV Đakovo i povezanost mreže 110 kV s okolinom, predviđeno je da jedan transformator bude izvan pogona. Zbog toga se I etapa izgradnje oprema dvama transformatorima.

Da bi se omogućio razdvojeni rad triju transformatora na 110 kV strani, odnosno grupiranje brojnih 110 kV vodova u konačnoj veličini izgradnje — radi smanjenja struja kratkog spoja, izabrane su trostruke sabirnice u postrojenju 110 kV. Približno na polovici predviđeno je uzdužno rastavljanje u dvije sekcije. To će omogućiti suženje opsega beznaponskog stanja nakon kvara na sabirnicama pri reviziji ili pri dogradnji postrojenja. Pri tome je, prema širem području Osijeka (najznačajniji konzum po veličini), rasplet 110 kV vodova razmješten jednakomjerno na obje sekcije. Pomoćne sabirnice nisu predviđene, jer u svakom pravcu polazi više vodova te zastoj prekidača u polju ne može izazvati bitne neprilike u mreži 110 kV.

Ukupno 20 vodnih polja 110 kV određeno je kao zbroj: 9 vodova koji se priključuje u I etapi izgradnje, 6 vjerojatnih budućih vodova prema predviđenom razvoju mreže 110 kV i 5 neimenovanih rezervi zbog neočekivanih potreba. Razmještaj rezervnih polja izvršen je što ravnomjernije uzduž postrojenja.

Izbor izvedbe vanjskih postrojenja 380 kV i 110 kV značio je utvrđivanje najpovoljnije kombinacije između:

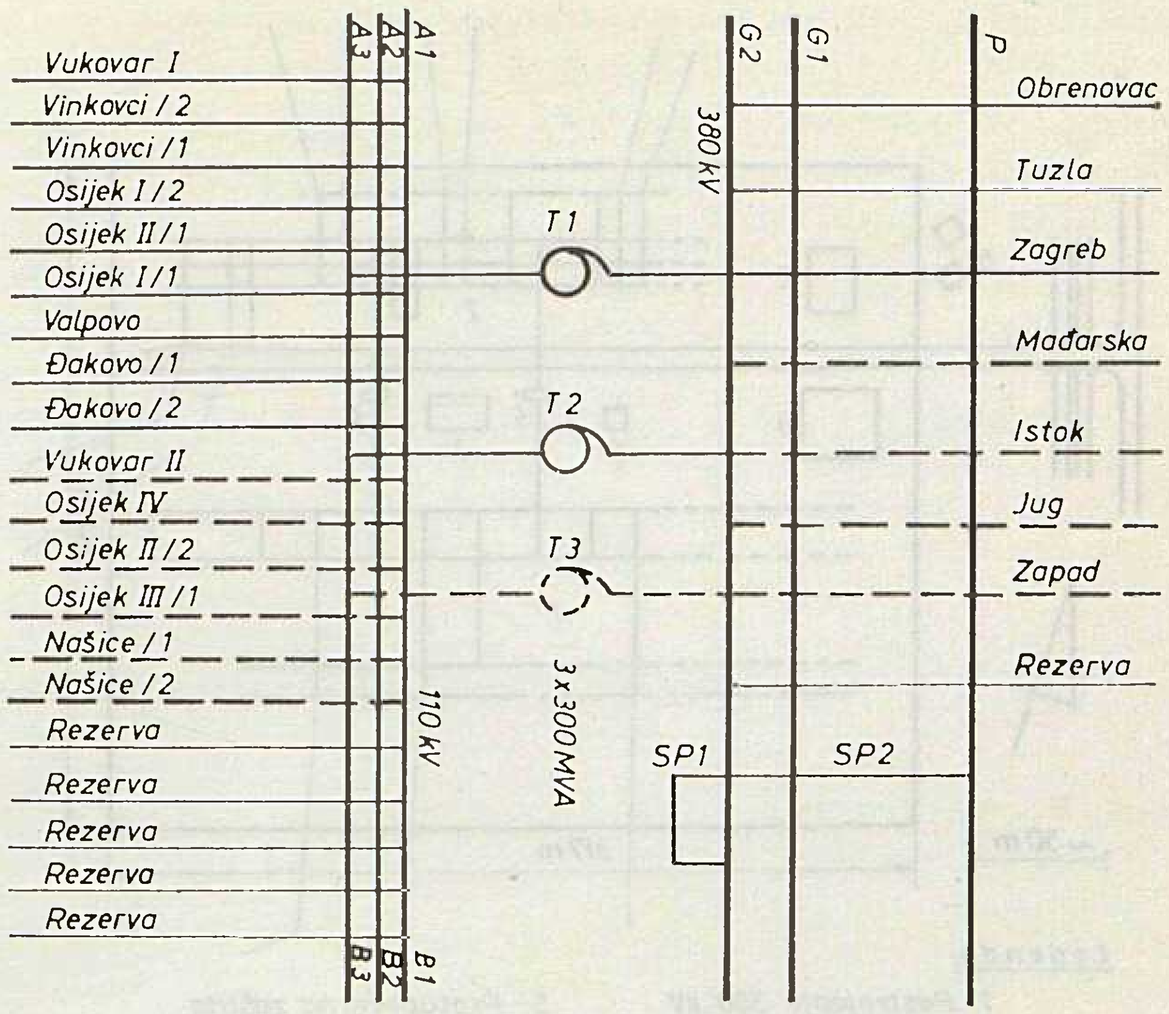
— pridružene ili miješane faze sabirničkih sistema,

— dvaju mogućih rasporeda sabirničkih i vodiča polja, po visini,

— cijevi ili užadi za sabirničke ili/i vodiče polja.

U prvom navratu eliminirana je izvedba sabirnica s miješanim fazama zbog (a) težeg snalaženja osoblja u pogonu i neuobičajenosti rješenja u nas, (b) nepostojanja izrazitog zahtjeva za minimalizaciju tlocrta i (c) potrebe primjene pantografske izvedbe sabirničkih rastavljača za potpuno iskorištenje prednosti ove izvedbe.

Preostala dva svojstva izvedbe rješavana su zajednički. Sabirnički vodiči iznad vodiča u polju povoljniji su radi sigurnosti postrojenja, jer pad vodiča u polju ili rad u polju ne znači izbacivanje sabirnica iz pogona. Međutim, to bi, kod primjene užadi, naročito za sabirnice 380 kV, značilo vrlo visoke i snažne sabirničke portale te bi, investi-



Sl. 2. Osnovna shema TS 380/110 kV Ernestinovo

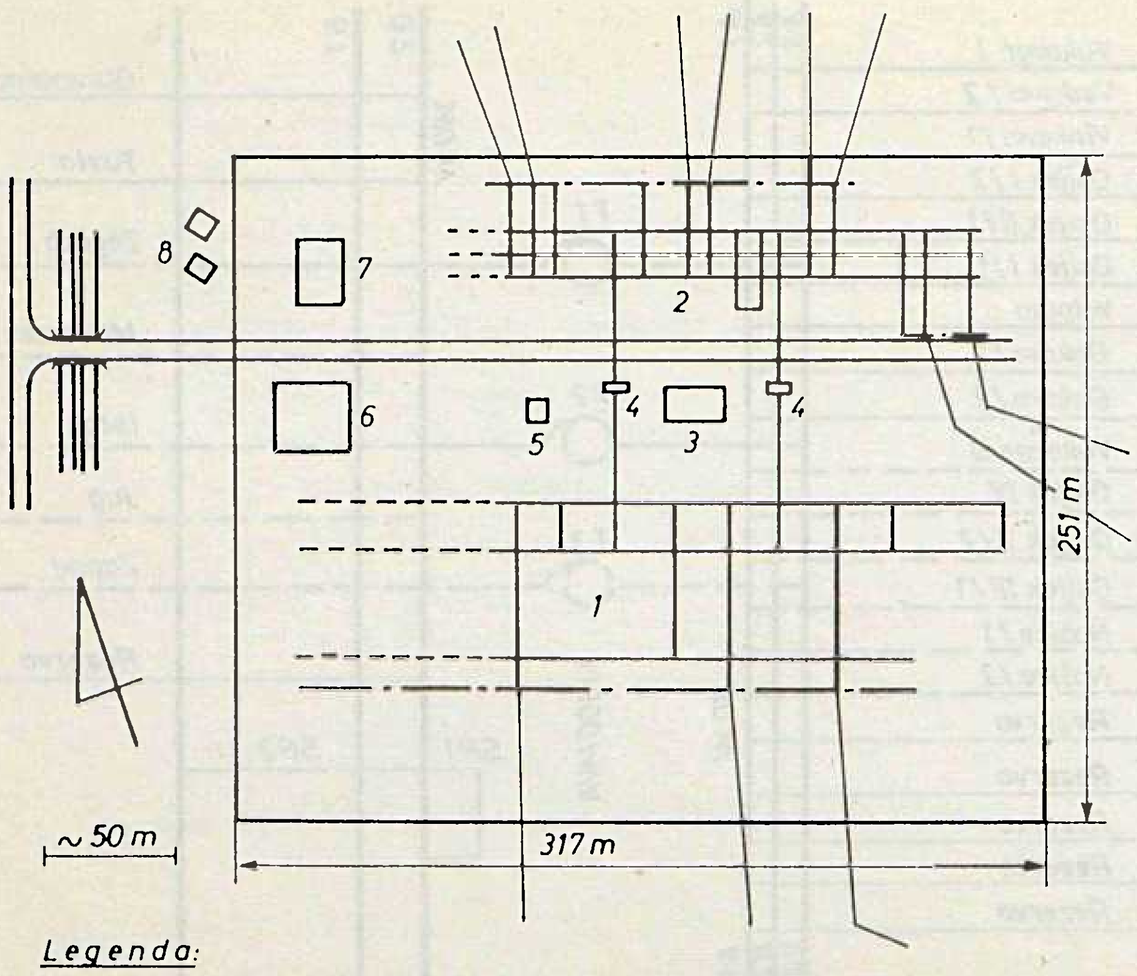
cijski, prikladniji bio raspored vodiča polja iznad sabirničkih. Užad donosi veće tlocrtne i visinske utroške prostora, ali izolatore (a načelno i vodiče, te ovjesnu i spojnu opremu) kao na dalekovodu. Međutim, za veće nazivno strujno opterećenje sabirnica od dalekovoda traži, na 380 kV strani, trostruki ili četverostruki snop. Cijevna se izvedba nešto bolje prilagođava etapnoj izgradnji, ali traži odgovarajuće cijevi, potporne izolatore, nosivu i spojnu opremu, uz povećani broj, ali smanjenu složenost i težinu čelične konstrukcije. Nedostaci cijevne izvedbe bili su: mala dosadašnja primjena kod nas i potreba uvoza.

Stanovito smanjenje tlocrta, smanjenje utroška čelične konstrukcije, sigurniji raspored vodiča (sabirnice iznad vodiča polja) i, naročito, jednostavno prilagođenje dimenzija cijevi visokom nazivnom strujnom opterećenju odlučili su o cijevnoj izvedbi. Da bi se pojednostavnila izgradnja i održavanje, te konzistentno rješenje, nije ni razmatrana miješana izvedba (npr. samo cijevne sabirnice 380 kV i 110 kV, a ostalo užad).

5. RASPLET VODOVA I DISPOZICIJA TS 380/110 kV

Generalna rješenja raspleta i dispozicije trafostanice oblikuju se međuovisno, pri čemu se osnovnom razmještaju postrojenja pretpostavljaju predstojeći i budući dalekovodni pravci pojedinih napona.

Na lokaciji TS 380/110 kV Ernestinovo gotovo svi 380 kV vodovi (osim onog prema Mađarskoj) činit će lepezu što prekriva smjerove: istok — jug — zapad. Velik broj vodova 110 kV usmjeren je između pravaca sjeveroistok — sjeverozapad, uz dvije podjednake grupe prema jugoistoku i prema



Sl. 3. Načelna dispozicija TS 380/110 kV Ernestinovo (prema nacrtu »Elektroprojekta«—Zagreb br. 749.E.205.3 od I 1975)

jugozapadu. Time je linija koja će kao uzdužna os podijeliti tlocrt trafostanice na 380 kV i 110 kV postrojenje položena u pravcu istok — zapad. U istom su smjeru položene sabirnice postrojenja 380 kV južno, a postrojenja 110 kV sjeverno od uzdužne osi. Dio polja u postrojenju 110 kV usmjeren je prema jugu, sva ostala prema sjeveru. Polja 380 kV usmjerena su prema jugu. Načelna je dispozicija prikazana crtežom 3 (s važnijim detaljima i mjerama koje su, dakako, rezultat glavnog projekta, a ne prethodnih radova).

Određeno je da se rasplet idejno razradi za sagledIv budući razvoj (»2 × 1980«), dodajući i stanovite rezervne trase za nepredviđene potrebe, a glavnim projektom da se obrade one dionice vodova 110 kV kojima se TS 380/110 kV Ernestinovo u početnoj izgrađenosti povezuje s mrežom 110 kV »razrezivanjem« postojećih vodova. Cilj je bio stvaranje katastarske podloge o koridorima za budući razvoj raspleta i njihovo osiguranje od drugog zaposjedanja u nadležnoj općini i, dakako, izrada tehničke dokumentacije za vodove koji su neposredno pred izgradnjom.

Za studiranje položaja dolaznih pravaca svih vodova upotrijebljene su topografske podloge u mjerilima 1 : 200 000 i 1 : 50 000, a detalji u blizini trafostanice na geodetskoj snimci 1 : 1000.

Zajednička je na svim topografskim podlogama njihova veća ili manja neažurnost, što je pri raspoređivanju vodova tako velike gustoće neprihvatljivo, pogotovo u području gdje je živa građevna aktivnost. Stoga je izvršeno aero-fotogrametrijsko snimanje šireg područja oko trafostanice, jer se samo tako moglo doći do prave slike o terenu. Snimljeno je područje od oko 300 km², izrađen slog kontaktnih kopija i nekoliko primjeraka slijepljenih fotograma cijelog područja u približnom mjerilu 1 : 15 000. Velika pomoć u radu učinjena je uz nepretjeran trošak (odgovarao je tadašnjoj godišnjoj neto-zaradi jednog inženjera).

U području većih čvorova mreže 110 kV također su idejno riješeni budući raspleti da bi se istražio najvjerojatniji raspored vodova 110 kV i 380 kV pri ulasku u bližu okolinu TS 380/110 kV Ernestinovo. Iskorišten je i rad oko urbanističkog plana »Osijek-2000« rješavanjem pojne mreže tadašnjeg grada.

Vodovi u pojedinom koridoru su kategorizirani kao: (a) koji se grade u početnoj etapi, (b) koji će se vjerojatno graditi do »2 × 1980« godine i (c) rezerva. U svakom je koridoru ostavljen prostor za bar jednu rezervu, tako da je (a) pouzdano omogućen izvod iz svakog neimenovanog rezervnog polja u trafostanici i (b) omogućena stanovita preraspodjela vodova u budućnosti, jer razvoj neće teći baš prema zamišljenoj mreži »2 × 1980«, odnosno prema planu »Osijek-2000«.

6. ZAKLJUČAK

Prethodni radovi u izgradnji elektroenergetskih objekata sastoje se od studija razvoja elektroenergetskog sistema i određivanja potrebnih mreža s makrolokacijama čvorova i poteza vodova, utvrđivanja mikrolokacija čvorova i trasa vodova, ispitivanja terena i prikupljanja uvjeta za izgradnju, određivanja osnovnih shema i parametara objekata i opreme, izrade investicijskog programa i osiguranja financijskih sredstava, utvrđivanja projektnih zadataka i projektiranja, rješavanja imovinsko-pravnih odnosa, ishođenja konačnih potrebnih suglasnosti, pripreme tenderske dokumentacije, licitacija, analize ponuda i ugovaranja isporuke opreme, te izbora izvođača radova i zaključivanja ugovora.

Zatim slijedi neposredno građenje (građevinski i elektromontažni radovi) pa ispitivanje, tehnički pregled i ishođenje uporabne dozvole. Paralelno se priprema organizacija i kadrovi za budući pogon i održavanje objekata.

Investitor treba osigurati radnike za provođenje njegova dijela posla u izgradnji U našem je primjeru formirana posebna ekipa za kompletan posao: izbor ekonomsko-tehničkih rješenja, financijsko-komercijalni poslovi, imovinsko-pravni poslovi, nadzor nad projektiranjem i građenjem, koristeći se naravno širom pomoći organizacijskih jedinica u radnoj organizaciji koji se takvim poslovima inače bave.

Prosječni broj neposredno uključenih radnika u izgradnju mreže 380 kV bio je od 1 radnika u 1972. do 14 radnika u 1976. godini. Prema do sada neposredno utrošenom radnom vremenu investitora

u ovaj posao, može se ocijeniti da će se do kraja izgradnje utrošiti oko 100 000 radnih sati.

Organizacija posla započela je s obradom mrežnim dijagramom, uz pokušaj da se obrada prenese na računalo. Primijenjen je IBM-ov program PCS-360. Rezultati su bili doista vrlo upotrebljivi, no nije se smoglo snage da se to pretvori u rutinski postupak. Prigovorima da »kod nas to nije moguće jer sve je toliko nesigurno« suprostavlja se tvrdnja da je baš u takvim okolnostima najbolje snalaženje uz pomoć suvremenih metoda.

Naime, u organizaciji ovako velikog posla vrlo je važno znati svakog trenutka što je na kritičnom putu (zbog promjena okolnosti, kritični se put »seli« po toku aktivnosti), jer uvijek ograničene kadrovske, financijske i materijalne izvore treba neprestano usmjeravati na pravi put radi najbržeg i najjeftinijeg dostizanja cilja.

Naslov pisca:
Marijan K a l e a, dipl. ing.
Elektroslavonija, Osijek

RADNA ORGANIZACIJA

ELKA

TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA

ZAGREB, Šubićeva 38

OOUR »K A B E L«, Zagreb • OOUR »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

PROIZVODI:

— Termoplastikom izolirane instalacione kabele i vodove,
— Gumom izolirane instalacione kabele i vodove,
— Energetske kabele s izolacijom i plaštem od plastičnog materijala za 1 kV,
— Energetske kabele s izolacijom od EPR-a i PVC-a za 10 kV,
— Energetske kabele s izolacijom od polietilena za 20 kV,
— Brodske kabele izolirane EPR-om i plaštem od neoprena,
— Samonosive kabelske snopove ELKALEX - 1,
— Telefonske kabele i žicu s izolacijom i plaštem od plastičnih materijala
— Lak žicu,
— Aluminijsku i alu-čeličnu užad.

PRESJEK VODIČA S KOJIM SE UZEMLJUJE I KRATKO SPAJA NA MJESTU GDJE SE RADI
(Promjena propisa)

Mario Padelin — Egon Mileusnić, Zagreb

Zbog nejasnoća u jugoslavenskim propisima način uzemljenja dalekovoda i transformatorskih stanica pri radu na postrojenju nije jasno određen. U članku su dane i obrazložene preporuke za pravilno uzemljenje i dani prijedlozi na promjenu propisa.

DK 621.315.21.004

UVOD

U našim tehničkim propisima za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja iznad 1000 V malo su i neprecizno razrađene zaštitne mjere za osiguranje mjesta gdje se radi, bilo to na dalekovodima, bilo u transformatorskim stanicama. Za uređaje koji za to služe ne postoje standardi. Zbog toga nastaju poteškoće pri uzemljenju i kratkom spajanju, što su u osnovi vrlo jednostavni načini osiguranja.

Poteškoće se naročito javljaju kada je u pitanju odabiranje presjeka vodiča kojim se uzemljuju i kratko spajaju fazni vodiči na mjestu rada. U članku se predlaže da se za osiguranje mjesta rada upotrebljava samo presjek bakrene fleksibilne užadi 25 mm² kada su rastavna mjesta uzemljena i kratko spojena vodičima dimenzioniranim za punu struju kratkog spoja.

PRESJEK VODIČA S KOJIM SE PROVODI UZEMLJENJE I KRATKO SPAJANJE NA MJESTU GDJE SE RADI

Uzemljenje i kratko spajanje vodiča na mjestu gdje se radi jedna je od osnovnih mjera kojima se osigurava život ljudi koji taj čas rade na elektroenergetskim postrojenjima. U našim tehničkim propisima taj relativno jednostavan način kojim se onemogućuje djelovanje opasnih napona i struja nije dovoljno jasno razrađen, a za uređaje koji se upotrebljavaju nema odgovarajućih standarda.

Prema dosadašnjim shvaćanjima, kada se vrši uzemljenje i kratko spajanje vodiča nekog dalekovoda ili pak različitih dijelova aparata u nekoj transformatorskoj stanici ili rasklopnom postrojenju, bakrena užad mora imati takav presjek da izdrži struju jednopolnog ili tropolnog kratkog spoja barem 1 sekundu. Ta struja bi se, naime, mogla pojaviti na tom mjestu gdje se radi ako bi došlo nehotice do ukapčanja dalekovoda ili pak drugih aparata u transformatorskoj stanici.

Naravno da onda i presjeci tih vodiča postaju sve veći, isto tako kao što struja kratkog spoja postaje sve veća. To je dovelo do toga da su presjeci bakrene užadi poprimili i vrijednosti 25 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm² itd. To možda ne bi smetalo kad i njihova težina ne bi rasla do te mjere, pa su postali preteški i nespretni za manipulaciju, naročito onda kad se upotrebljavaju na nadzemnim vodovima i kad se moraju prenositi s jednog mjesta na drugo i podizati na određenu visinu. Tako po jednom približnom računu težina bakrene užadi presjeka 70 mm² na uređaju kojim se vrši uzemljenje i kratko spajanje iznosi oko 25 kg, a za presjeke 100 mm² ta težina iznosi približno 35 kg. Ako se bude gledalo na ovaj problem dalje kao što se danas gleda, onda, budući da se već danas javljaju struje kratkog spoja vrlo visokih vrijednosti, bakreno uže koje bi ih odvodilo morat će imati presjek i 200 mm². To, naravno, povećava težinu te užadi na 60 do 70 kg.

Dakle, već prema tome gdje se radi, ta užad koja treba štititi čovjeka i koja se privremeno upotrebljava na različitim mjestima postaje vrlo nespretna za manipulaciju. Nije ni sigurno da je uvijek dobro izabran presjek te užadi s obzirom na struju kratkog spoja i vrijeme djelovanja relejne zaštite, pa može doći do zagrijavanja i uništavanja tih vodiča.

Da bi se izbjegle spomenute tehničke poteškoće pri upotrebi tih fleksibilnih bakrenih vodiča, zaključeno je da oni ne bi trebali imati takav presjek da moraju izdržati struju jednopolnog i tropolnog kratkog spoja na svakom mjestu gdje se postave, odnosno na svakom mjestu gdje se vrše radovi na elektroenergetskom sistemu. Nadalje se utvrdilo da bi oni trebali imati takav presjek da izdrže samo struje koje bi se za vrijeme rada mogle pojaviti zbog djelovanja napona izazvanog vanjskim utjecajima (kao što su direktni ili indirektni udarci groma u postrojenja ili pak djelovanja druge mreže itd.). U tom bi pak slučaju, kod nehotičnog ukapčanja, struje kratkog spoja koje bi se mogle pojaviti na mjestu gdje se radi trebali prije toga preuzeti noževi za uzemljenje prigrađeni na rastavljačima, prekidačima, prijenosnim uređajima za uzemljenje ili pak štapni uzemljivači. Naravno da tada svi ti uređaji za uzemljenje i kratko spajanje, na mjestu gdje smo iskopčali dionicu postrojenja ili dalekovod, moraju imati i potrebne pre-

sjeke koji se u propisima i navode (16 mm², 25 mm², 35 mm², 50 mm² . . . 95 mm², 100 mm²). Upotreba tih presjeka mora biti u skladu s vremenom trajanja struje kratkog spoja, odnosno u skladu s vremenom djelovanja relejne zaštite.

Pošto smo rekli da užad za uzemljenje i kratko spajanje na mjestu gdje se radi treba da odvode samo struje groma, odnosno struje koje izazivaju vanjski izvori napona, onda njihov presjek mora biti takav da izdrži samo tu struju koja bi se mogla pojaviti na mjestu gdje se radi. Dovoljno je da taj presjek iznosi samo 25 mm² (Lit. 1).

Prema izvršenim proračunima presjek fleksibilnog bakrenog užeta od 25 mm² može izdržati i najjače struje groma jer one vrlo kratko traju (najviše 100 do 120 mikrosekundi). Koliko zagrijavanje može izdržati bakreno uže presjeka 10 mm², 16 mm² i 25 mm², vidi se iz priloženog dijagrama na slici 1.

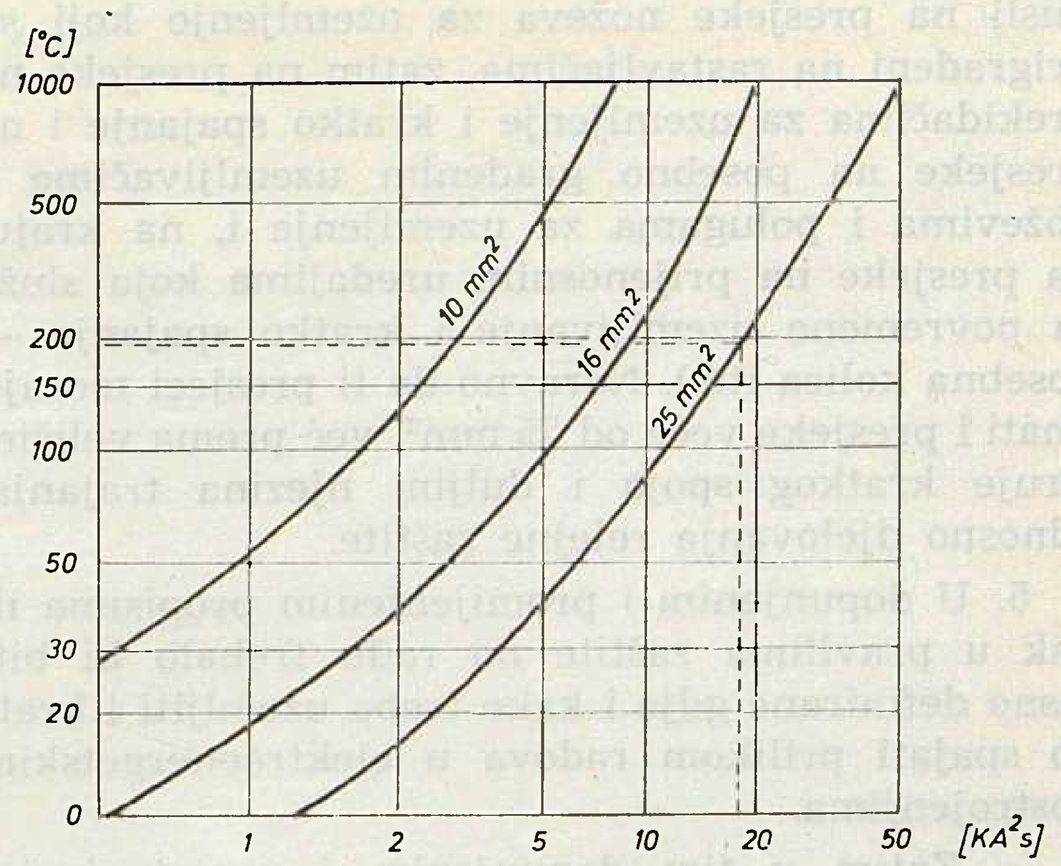
Na ordinati su zato navedene temperature zagrijavanja bakrenih vodiča koje takvi vodiči mogu poprimiti kad kroz njih protječu različite vrijednosti struje groma ili, što je isto, kada na tu bakrenu užad djeluju različite vrijednosti vremenskog integrala kvadrata struje groma označene na apscisi s $\int i^2dt$. Ta je veličina, naime, mjerodavna za račun potrošene energije $E = R \int i^2dt$ [Ws] koju struja groma »i« proizvodi na nekom vodiču koji ima omski otpor R i koja, naravno, zagrijava taj vodič u vremenu dok kroz njega prolazi.

Veličine prikazane na dijagramu na slici 1. izračunate su tako da su se u izraz iz (Lit. 2)

$$\int i^2dt = \frac{q^2\gamma \cdot c}{\rho \cdot \alpha} \ln(1 + \alpha \cdot \vartheta) \qquad (1)$$

uvrstile različite vrijednosti temperature $\vartheta° = 20°$, 30°, 50°, 100°, 150°, 200°, a kao rezultat smo onda dobivali različite vrijednosti vremenskog integrala kvadrata struje groma $\int i^2dt$ u [kA²S]. Prethodno su se u taj izraz uvrstile konstantne vrijednosti koje iznose: za specifičnu masu $\gamma = 8.900 \cdot 10^{-9}$ kg/mm³, za specifičnu toplinu c = 388,4608 Ws/kg step., za pecifični otpor $\rho s_0 = 0{,}0172 \cdot 10^{-3}\ \Omega$ mm; temperaturni koeficjent $\alpha = 0{,}00393 \frac{1}{o}$, (Lit. 3). To je izračunato za presjeke bakrene užadi 10 mm², 16 mm² i 25 mm².

Poznato nam je iz literature (vidi Lit. 3) da bakreno uže zagrijano otprilike na 200 °C gubi pomalo svoja mehanička svojstva, pa je zato temperatura od 200 °C uzeta kao maksimalno dozvoljena temperatura koju još smije poprimiti bakrena užad pomoću koje uzemljujemo i kratko spajamo. Pri tome se pazilo da užad nije mehanički jako napregnuta. Na dijagramu na slici 1, kako je to crtkano označeno, vidimo da će bakreni vodič presjeka 25 mm² poprimiti temperatura od 200 °C tek onda kada kroz njega bude prolazila vrlo jaka struja groma koja ima vremenski integral svoga kvadrata preko 20 kA²s. A tako jake struje groma s tako visokim vrijednostima vremenskog integrala javljaju se vrlo rijetko. U Lit 3. i Lit. 4. može se



Sl. 1. Zagrijavanje bakrenih vodiča ovisno o vremenu integrala kvadrata struje groma

naći da je vjerojatnost da će se pojaviti vrijednosti vremenskog integrala kvadrata struje groma $\int i^2dt = 20$ kA²s ili veća samo u 1% slučajeva od svih udara groma. Dakle, ako se odlučimo da 25 mm² bude presjek bakrene užadi koju upotrebljavamo za uzemljenje i kratko spajanje na mjestu gdje se radi, onda, prema ovome što smo do sada naveli, možemo biti mirni da će taj presjek biti dovoljan da provede i najjače struje groma.

Prema tome se predlaže da se postojeći propisi dopune i promijene otprilike u ovom smislu:

1. Mjesta gdje se radi, na dalekovodima i postrojenjima iznad 1000 V, koja se prethodno nalaze u propisano iskopčanom stanju, mogu biti ugrožena od struja koje su izazvane direktnim ili indirektnim udarcima groma ili djelovanjem druge mreže koja se nalazi u blizini mreže ili postrojenja na kojemu se taj čas radi.

2. Zbog toga mjesto gdje se radi mora biti osigurano od tih opasnosti pomoću užadi za uzemljenje i kratko spajanje koja se postavlja na mjestu rada. (vrše popravci, preinake itd.).

Presjek užadi za uzemljenje i kratko — spajanje, za razliku od onoga što današnji propisi predviđaju, mora imati presjek 25 mm².

Nije potrebno upotrebljavati veće presjeke od 25 mm², a manji presjeci bakrene užadi od 25 mm² ne smiju se upotrebljavati.

3. Užad s kojom vršimo uzemljenje i kratko — spajanje, zajedno sa svim priborom (motkama, spojnicama itd.), treba smatrati uređajem za privremeno uzemljenje i kratko spajanje.

4. Takvi uređaji za uzemljenje i kratko spajanje ne moraju izdržati struje ni jednopolnog ni tropolnog kratkog spoja. Da bi se to postiglo, moraju se zato sva mjesta gdje je dalekovod ili postrojenje iskopčano od napona propisno uzemljiti i kratko spojiti sa zato predviđenim uređajima, koji moraju imati presjeke koji će moći na tim mjestima izdržati struju kratkog spoja. (Ovdje se

misli na presjeke noževa za uzemljenje koji su prigrađeni na rastavljačima, zatim na presjeke na prekidačima za uzemljenje i kratko spajanje i na presjeke na posebno građenim uzemljivačima s noževima i polugama za uzemljenje i, na kraju, na presjeke na prijenosnim uređajima koja služe za povremeno uzemljivanje i kratko spajanje — posebna kolica itd.). Naravno da ti presjeci moraju imati i presjeke veće od 25 mm², već prema veličini struje kratkog spoja i duljini njezina trajanja, odnosno djelovanja relejne zaštite.

5. U dopunjenim i promijenjenim propisima ili pak u pravilima zaštite na radu trebalo bi biti jasno definirano gdje i kako treba uzemljiti i kratko spajati prilikom radova u elektroenergetskim postrojenjima.

— Zatim u tim dopunjenim i promjenjenim propisima morala bi biti izvršena klasifikacija uređaja za uzemljenje i kratko spajanje, i to otprilike na prijenosne i stalne uređaje za uzemljenje i kratko spajanje koji moraju izdržati struju kratkog spoja i na prijenosne uređaje koji ne moraju izdržati struju kratkog spoja.

— Važno je da se i propisima ili drugim pravilima zaštite osigura gdje sve moraju postojati mjesta za uzemljenje i kratko spajanje, kakve presjeke moraju imati uređaji za uzemljenje i kratko spajanje na tim mjestima i koja vrsta uređaja za uzemljenje i kratko spajanje pripada pojedinom mjestu.

6. U našim Propisima o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl. list SFRJ 19/61) i u Pravilniku o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V (Sl. list SFRJ 4/74). postoji nekoliko članova koji u vrlo ograničenom opsegu razmatraju ta pitanja. Ali i to malo što je o tome napisano nije precizno razrađeno, pa se može dogoditi da zbog toga dođe do zabune kada se primjenjuju ove mjere sigurnosti. Posebno pak treba istaknuti da se ove odredbe odnose na elektroenergetske nadzemne vodove, a da o uzemljivanju i kratkom spajanju u transformatorskim stanicama i rasklopnim postrojenjima nema ni riječi. Naravno da sve to skupa dovodi do toga da se u radnim organizacijama polazi onda s raznih stajališta, pa se događa da se u nekim organizacijama s tim zaštitnim mjerama pretjerava, a u nekim se te zaštitne mjere uopće ne provode.

Da bi se znao točan broj mjesta gdje treba uzemljiti i kratko spojiti, moraju se utvrditi izvori opasnosti, odnosno mora se znati odakle dolazi napon ili struja koji mogu ugroziti mjesto gdje se radi.

— Treba pripaziti da li je to pogonski napon i da li može doći s jedne ili s više strana do mjesta gdje se radi;

— da li postoji mogućnost povratnog napona;

— da li se vodiči ili dijelovi postrojenja na kojima se radi nalaze pod utjecajem drugih vodiča koji su pod naponom, odnosno da li na mjestu gdje se radi može doći do kapacitivne ili induktivne veze s drugom mrežom.

— da li do mjesta gdje se radi mogu doprijeti naponski i strujni valovi atmosferskog porijekla,

— da li vodiči na kojima se momentano radi mogu doći pod napon zbog vlastitog gibanja ili gibanja drugih vodiča pod naponom (ovdje se misli na kidanje vodiča ili odskok vodiča i sl.).

Da bi se izbjegle sve navedene opasnosti i da bismo bili sigurni da nam neće na mjestu gdje se radi doći do neželjenih većih napona, moramo se držati ovih načela:

— na svakom mjestu gdje se radi moraju fazni vodiči ili dijelovi postrojenja biti prvo uzemljeni a zatim kratko spojeni;

— ako se za vrijeme rada vodiči na kojima se radi rastavljaju na više galvanski odvojenih dionica, mora se svaka galvanski odvojena dionica posebno uzemljiti i kratko spojiti, ukoliko napon bilo kojeg porijekla može doći na tu galvanski odvojenu dionicu;

— osim uzemljivanja i kratkog spajanja, na mjestu gdje se radi moraju se dalekovodi uzemljiti kratko spojiti na svim rastavnim mjestima (mjestima vidljivog odvajanja od napona).

7. Budući da današnji naši propisi ne razlikuju mjesta gdje se radi po njihovim bitnim karakteristikama, trebalo bi da novi dopunjeni propisi ipak nešto posebno kažu o tome kada se radi na dalekovodima, a posebno na transformatorskim stanicama i rasklopnim postrojenjima. To bi trebalo posebno razraditi, jer se pri radovima na dalekovodima mjere sigurnosti ponešto razlikuju za vrijeme rada u transformatorskim stanicama i rasklopnim postrojenjima.

8. Za vrijeme radova na dalekovodima treba imati na umu to da li dalekovod na kome se radi može biti napajan energijom s jedne, s dviju ili čak s više strana. U tim slučajevima treba najprije točno odrediti gdje i na koliko rastavnih mjesta treba uzemljiti i kratko spojiti. Zatim treba na samom mjestu rada odrediti udaljenost između uređaja za privremeno uzemljivanje i kratko spajanje koja se postavljaju s jedne i s druge strane dionice na kojoj se radi. (Ta udaljenost smije iznositi najviše 1—2 km.)

Posebno treba razraditi slučaj osiguranja mjesta gdje se radi na dalekovodima ako se moraju razdvajati vodiči dalekovoda (kao što je to slučaj npr. razdvajanjem strujnih mostova). Ovdje treba imati na umu to da razdvojene dionice mogu poprimiti različite potencijale, pa to traži posebna rješenja (isto uzemljenje). Još treba voditi posebno brigu o osiguranju mjesta gdje se radi na nekom dalekovodu kada se taj dalekovod nalazi u zoni utjecaja drugog dalekovoda. (Onda treba uzemljiti više stupova.)

9. Radovi u transformatorskim stanicama i rasklopnim postrojenjima traže u praksi nešto malo drukčija osiguranja mjesta, gdje se radi iako su

u načelu te mjere sigurnosti iste kao pri radovima na dalekovodima. I tu treba razlikovati da li su npr. ćelije visokog napona napajane s jedne strane ili su pak napajane s dviju strana. I ovdje treba paziti da osim mogućnosti ugrožavanja mjesta gdje se radi od napona sa sabirnica postoji mogućnost i da se ugrozi mjesto gdje se radi i od atmosferskog prenapona itd.

Što se tiče ugrožavanja mjesta gdje se radi od napona sa sabirnica dobro bi bilo razmisliti o tome da li bi trebalo i sabirnice opremiti ugrađenim noževima s kojima bi se izvršilo uzemljenje. Određivanje mjesta gdje treba uzemljiti i kratko spajati, te izbor uređaja za uzemljivanje i kratko spajanje neophodno je izvršiti u toku projektiranja u uskoj suradnji između projektanta i pogonskog osoblja koje će održavati postrojenje.

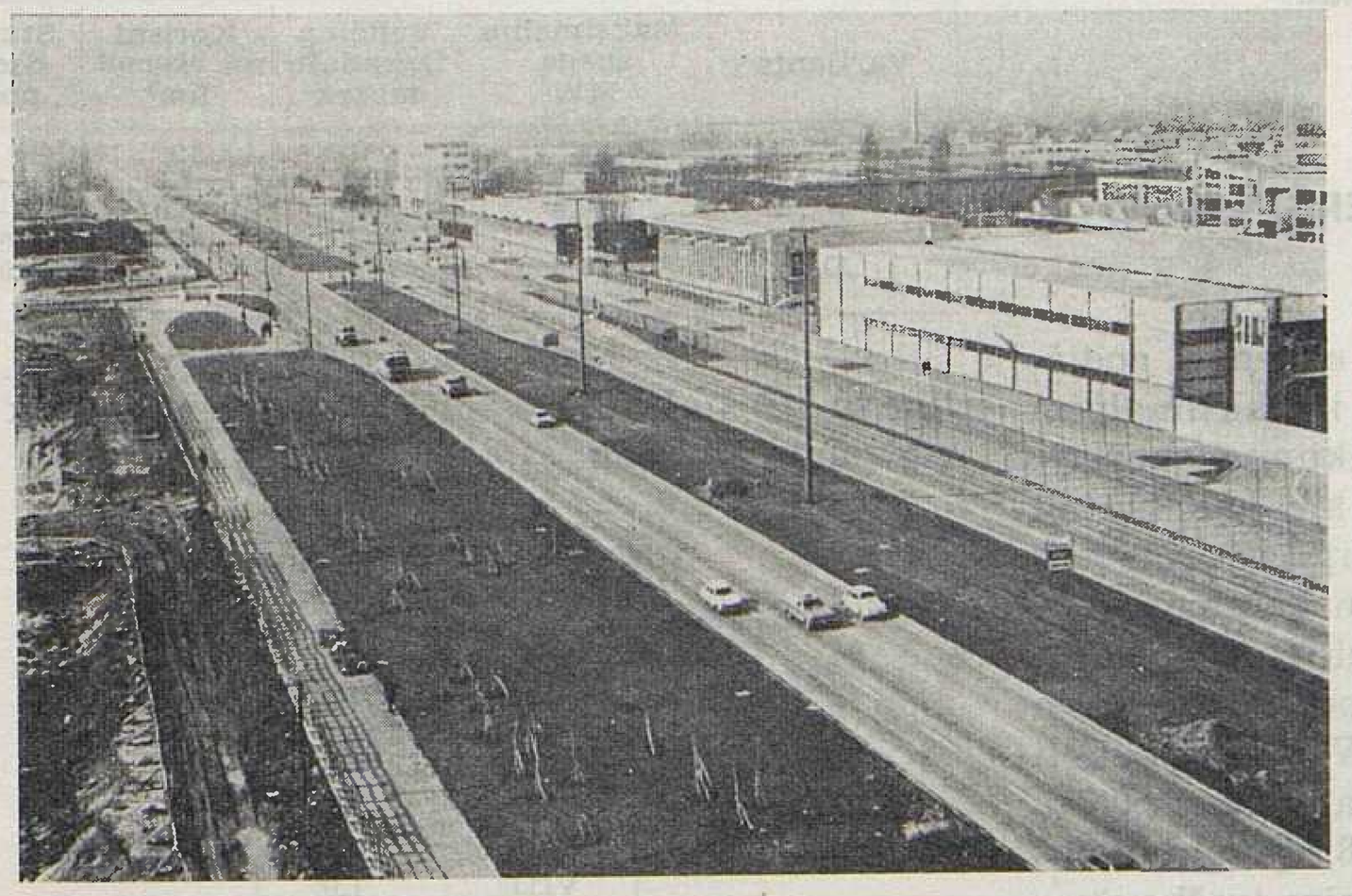
LITERATURA

1. V.D.E. 0105, Teil 1/5.75.
2. K. Berger: Messungen und Rezultate der Blitzforschung der Jahre 1955—1963. auf dem Monte San Salvatore Bull Sev 56 (1965)
3. D. Kaiser: Elektrotehnički priručnik, Zagreb 1964.
4. J.Wiesinger: Blitzforschung und Blitzschutz Deutsches Museum Abhandlungen und Berichte, 40 Yahrgong 1972, Heft 1/2
5. E. Mileusnić: Uzemljenje i kratko spajanje na mjestu rada u elektroenergetskim postrojenjima visokog napona (Referat održan na VII Savjetovanju prenosnih poduzeća SFRJ 1976. godine u Dubrovniku)
6. M. Padelin: Izbor presjeka vodiča za uzemljenje i kratko spajanje na mjestu rada (Interni elaborat za poduzeće »Elektroprenos« — Zagreb)

Naslov pisaca:
Dr Mario P a d e l i n, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb
Egon M i l e u s n i ć, dipl. ing.
Elektroprenos, Zagreb

Hidroelektra GRAĐEVNO PODUZEĆE

41000 **ZAGREB, LESKOVAČKA 10**
TELEFON: 041 — 512-122, TELEX: 21-603 YU HIDREL PP 247



ALEJA BORISA KIDRIČA U ZAGREBU

IZVODI SVE VRSTE OBJEKATA:

HIDROELEKTRANE
NUKLEARNE ELEKTRANE
TERMOELEKTRANE
AUTOPUTEVE
CESTE
MOSTOVE
VIJADUKTE
KANALE
INDUSTRIJSKE OBJEKTE
HOTELE
I OSTALO.

USPOREDBA KONCEPCIJE ENERGETSKOG ISKORIŠTENJA JEDNOG VODOTOKA

Božo Udovičić — Slavko Alerić, Zagreb

U referatu su analizirane različite mogućnosti energetskog iskorištenja određenog vodotoka. Provedene su slijedeće analize: protočno korištenje voda, izgradnja akumulacije i izgradnja pumpno-akumulacijskog postrojenja uz dva različita instalirana protoka. Metodom simulacije prilika u elektroenergetskom sistemu provedene su analize za točno određen elektroenergetski sistem.

DK 621.22 : 621.311.21

1. UVOD

Primjenom metode simulacije prilika u elektroenergetskom sistemu, koja je opisana u L1, analiziran je utjecaj energetskog iskorištenja nekog vodotoka u točno definiranom elektroenergetskom sistemu Postrojenje koje bi se izgradilo na promatranom vodotoku neka se zove HE A.

Da bi se omogućilo određivanje utjecaja izgradnje HE A na prilike u promatranom elektroenergetskom sistemu, potrebno je poznavati odnose u sistemu kad ne postoji promatrano postrojenje. Ako se usporede prilike u sistemu, jednom kad nije izgrađena HE A, a drugi put kad je ta elektrana izgrađena (uz različita iskorištenja vodotoka), dolazi se do razlika npr. proizvodnje u termoelektranama, preljeva u hidroelektranama, stalnih i promjenljivih troškova itd., pa se na temelju tih razlika mogu odrediti pozitivni ili negativni efekti promatrane elektrane — različito energetsko iskorištenje vodotoka — na sistem, a odatle i smanjenje ili povećanje troškova u elektroenergetskom sistemu To je zapravo metoda simulacije, jer se simuliraju prilike u sistemu uz različite pretpostavke energetskog iskorištenja vodotoka.

2. KARAKTERISTIKE ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Promatran je elektroenergetski sistem s godišnjom potrošnjom od 18 058,0 GWh i maksimalnim opterećenjem od 3044,5 MW. Od ukupne energije potrebno je 13 128,0 GWh proizvesti kao konstantnu energiju, što znači da se ta energija proizvodi konstantnom snagom u osnovnom vremenskom razdoblju. U sistemu postoje hidroelektrane s prosječnom godišnjom proizvodnjom od 6 325,8 GWh i maksimalnom snagom 1 364,6 MW i termoelektrane ukupne maksimalne snage na pragu 2 065,4 MW. U termoelektranama postoji 18 agregata snage 10,0 MW do 313,3MW sa specifičnim troškovima za gorivo od 0,03 d/kWh do 0,76 d/kWh.

Dopunska snaga u termoelektranama, ako bude potrebna, ostvarit će se izgradnjom agregata snage 280,0 MW na pragu sa specifičnim troškovima za gorivo od 0,14 d/kWh. Nadalje, računato je s faktorom raspoloživosti od 0,81, što znači da raspoloživa snaga termoelektrana iznosi 81% od maksimalne snage na pragu, te remontom agregata u termoelektranama, rotirajućom rezervom od 250 MW i sigurnošću opskrbe potrošača od 0,95, znači u 95% slučajeva potrošači će biti potpuno opskrbljeni, a u preostalih 5% slučajeva potrebno je provesti redukciju potrošnje (obično lučne peći i elektrolize aluminija).

Sve analize su provedene s mjesecom kao osnovnim vremenskim razdobljem, i to za 40 hidroloških godina. Prema tome, promatrane su prilike za 480 osnovnih vremenskih razdoblja.

3. VARIJANTE IZGRADNJE HE A NA PROMATRANOM VODOTOKU

Osnovni podaci s kojima se ušlo u račun da bi se odredile mogućnosti proizvodnje u pojedinim varijantama jesu:

Varijanta	Maksimalna snaga MW	Veličina izgradnje m³/sek	Korisni vol. akumul. hm³	Stupanj djelov. postr.
A	185,0	40,0	3,2	—
B	185,0	40,0	96,0	—
C	185,0	40,0	3,2	0,7
D	277,5	60,0	3,2	0,7

dok su prosječne mjesečne vrijednosti m³/sek promatranog vodotoka

Mjesec	Q m³/sek
I	16,5
II	17,4
III	20,0
IV	15,5
V	10,3
VI	5,3
VII	2,0
VIII	1,0
IX	2,0
X	9,6
XI	24,6
XII	24,2
God. pr.	12,36

Za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu pretpostavljene su slijedeće varijante izgradnje:

0 — polazno stanje (bez izgradnje HE A)

A — protočno korištenje voda promatranog vodotoka $Q_i = 40$ m³/sek

B — izgradnja akumulacije 96,0 hm³ $Q_i = 40$ m³/sek

C — izgradnja HE A kao pumpno-akumulacijsko postrojenje $Q_i = 40$ m³/sek

D — izgradnje HE A kao pumpno-akumulacijsko postrojenje $Q_i = 60$ m³/sek.

Uz navedene pretpostavke i osnovne podatke HE A prosječne mjesečne mogućnosti proizvodnje donosimo u tablicama.

Ovdje treba napomenuti da je ukupna proizvodnja dobivena kao sumarna proizvodnja prirodnim dotokom i proizvodnje crpljenom vodom (varijanta C i D).

VARIJANTA A

Mjes.	Maks. snaga MW	Ukupna energ. GWh	Konst. energ. GWh
I	185,0	50,7	11,1
II	183,4	50,0	16,2
III	185,0	59,6	25,2
IV	185,0	47,5	7,2
V	181,6	31,6	1,3
VI	173,3	16,4	—
VII	138,2	6,2	—
VIII	93,9	3,2	—
IX	102,1	6,3	—
X	162,4	29,2	6,9
XI	185,0	72,0	35,3
XII	185,0	65,5	31,0
God.	185,0	438,3	134,2

VARIJANTA B

Mjes.	Maks. snaga MW	Ukupna energ. GWh	Konst. energ. GWh
I	185,0	52,3	3,3
II	183,4	51,9	10,4
III	185,0	50,5	9,5
IV	183,4	36,4	0,8
V	165,0	23,5	0,7
VI	179,8	16,7	—
VII	185,0	15,7	—
VIII	185,0	22,5	—
IX	176,8	32,2	—
X	179,1	37,1	0,8
XI	185,0	48,1	7,1
XII	185,0	61,3	18,4
God.	185,0	448,3	51,1

VARIJANTA C

Mjes.	Maks. snaga MW	Ukupna energ. GWh	Konst. energ. GWh
I	185,0	52,6	11,1
II	185,0	52,1	16,2
III	185,0	61,5	25,2
IV	185,0	49,8	7,2
V	185,0	36,9	1,3
VI	185,0	20,1	—
VII	185,0	11,1	—
VIII	185,0	8,8	—
IX	185,0	10,7	—
X	185,0	33,3	6,9
XI	185,0	73,0	35,3
XII	185,0	66,7	31,0
God.	185,0	476,6	134,2

PROSJEČNE MJESEČNE PROIZVODNJE PRIRODNIM DOTOKOM ZA VARIJANTU C

Mjes.	Maks. snaga MW	Ukupna energ. GWh	Konst. energ. GWh
I	185,0	50,8	11,1
II	183,4	50,1	16,2
III	185,0	59,6	25,2
IV	185,0	47,5	7,2
V	181,6	31,7	1,3
VI	173,5	16,5	—
VII	138,2	6,3	—
VIII	93,9	3,2	—
IX	102,6	6,4	—
X	162,4	29,3	6,9
XI	185,0	72,0	35,3
XII	185,0	65,5	31,0
God.	185,0	438,9	134,2

PROSJEČNE MJESEČNE PROIZVODNJE CRPLJENOM VODOM, TE PROSJEČNI MOGUĆI I OSTVARENI BROJ SATI RADA ZA VARIJANTU C

Mjes.	Proizv. crp. vodom GWh	Mogući rad h	Ostvareni rad h
I	1,9	0,7	0,4
II	2,1	0,6	0,4
III	1,8	0,6	0,4
IV	2,3	0,7	0,5
V	5,2	1,4	1,1
VI	3,5	2,8	0,8
VII	4,8	4,6	1,0
VIII	5,6	5,3	1,2
IX	4,3	4,7	0,9
X	4,0	2,1	0,9
XI	1,0	0,3	0,2
XII	1,2	0,3	0,3
God.	37,7	24,0	8,1

VARIJANTA D
PROSJEČNE MJESEČNE MOGUĆNOSTI

Mjes.	Maks. snaga MW	Ukupna energ. GWh	Konst. energ. GWh
I	277,5	53,9	0,8
II	277,5	57,4	8,4
III	277,5	64,3	8,3
IV	277,5	53,0	0,8
V	277,5	39,5	—
VI	277,5	21,9	—
VII	277,5	14,3	—
VIII	277,5	10,8	—
IX	277,5	13,4	—
X	277,5	35,3	1,7
XI	277,5	77,0	8,6
XII	277,5	75,7	24,6
God.	277,5	516,7	53,2

PROSJEČNA PROIZVODNJA PRIRODNIM DOTOKOM ZA VARIJANTU D

Mjes.	Maks. snaga MW	Ukupna energ. GWh	Konst. energ. GWh
I	277,5	50,8	0,8
II	273,6	52,9	8,4
III	276,0	61,5	8,3
IV	273,1	47,7	0,8
V	267,1	31,8	—
VI	243,4	16,6	—
VII	169,0	6,5	—
VIII	106,3	3,3	—
IX	123,8	6,4	—
X	236,5	29,7	1,7
XI	277,5	74,2	8,6
XII	275,3	72,9	24,6
God.	454,4	277,5	53,2

PROSJEČNA PROIZVODNJA CRPLJENOM VODOM, TE PROSJEČNI MOGUĆI I OSTVARENI BROJ SATI RADA ZA VARIJANTU D

Mjes.	Proizv. crp. vodom GWh	Mogući rad h	Ostvareni rad h
I	3,1	1,1	0,4
II	4,5	1,2	0,7
III	2,8	1,0	0,4
IV	5,3	1,0	0,8
V	7,7	2,0	1,1
VI	5,2	3,5	0,8
VII	7,9	5,0	1,1
VIII	7,5	5,5	1,1
IX	7,0	5,0	1,0
X	5,6	2,8	0,8
XI	2,7	0,5	0,4
XII	3,0	0,6	0,4
God.	62,3	29,3	9,0

4. ELEKTROENERGETSKE BILANCE

Rezultati prosječnih godišnjih elektroenergetskih bilanci za promatrane varijante izneseni su u tablici dolje.

Snaga dopunskih termoelektrana na generatoru određena je množenjem raspoložive snage faktorom 1,322 75, što odgovara recipročnoj vrijednosti produkta faktora raspoloživosti (0,81) i recipročnom omjeru snage na pragu i snage na generatoru dopunske termoelektrane (0,9333).

5. USPOREDBA REZULTATA PROVEDENE ANALIZE ENERGETSKOG ISKORIŠTENJA PROMATRANOG VODOTOKA

Iz provedenih analiza vidljivo je da se izgradnjom HE A s akumulacijom od 96 hm³ postiže povećanje proizvodnje od 10 GWh, a izgradnjom HE A kao pumpno-akumulacijskog postrojenja povećanje proizvodnje od 38,3 GWh uz instalirani protok od $Q_i = 40$ m³/sek, a 78,4 GWh za $Q_i = 60$ m³/sek.

Za povećanje navedene proizvodnje potrebna je količina energije za crpljenje 53,8 GWh, odnosno 89,0 GWh za $Q_i = 60$ m³/sek. Uz sigurnost opskrbe potrošača od 95% potrebna je dodatna izgradnja snage u termoelektranama:

Varijanta	Potrebna izgradnja TE	
	Raspol. snaga MW	Snaga na gener. MW
0	263,0	348,5
A	163,5	216,3
B	126,8	167,7
C	88,1	167,7
D	30,4	40,2

Ako se načine razlike između pojedinih varijanti izgradnje HE A dobivaju se slijedeće uštede u snazi (na izgradnji termoelektrana):

Varijanta	Raspol. snaga MW	Snaga na gener. MW
A (0 — A)	99,5	132,2
B (0 — B)	136,2	180,8
C (0 — C)	174,9	232,0
D (0 — D)	232,6	308,3

Međutim, ako se varijanta A (protočno korištenje promatranog vodotoka) odabere kao polazna, dobivaju se slijedeće uštede u izgradnji elektroenergetskog sistema:

REZULTATI PROSJEČNIH GODIŠNJIH ELEKTROENERGETSKIH BILANCI

	0	A	B	C	D
hidroelektrane bez HE A	6 290,9	6 271,4	6 292,9	6 283,2	6 298,7 GWh
termoelektrane	11 739,7	11 303,6	11 270,6	11 308,3	11 285,2 GWh
proizv. HE A prirod. dotok	—	438,3	448,3	438,9	454,4 GWh
proizv. HE A crp. vodom	—	—	—	37,3	62,3 GWh
redukcije	27,4	36,7	46,2	43,7	46,4 GWh
ukupno	18 058,0	18 058,0	18 058,0	18 111,8	18 147,0 GWh
energija za crpljenje	—	—	—	53,8	89,0 GWh
konzum	18 058,0	18 058,0	18 058,0	18 058,0	18 058,0 GWh
preljevi u HE bez HE A	34,9	36,4	32,9	42,6	27,1 GWh
raspoloživa snaga TE	1 757,0	1 757,0	1 757,0	1 757,0	1 757,0 MW
raspoloživa snaga za 95 % sig.	2 020,0	1 920,5	1 883,8	1 845,1	1 787,4 MW
raspol. snaga dop. TE	253,0	163,5	126,8	88,1	30,4 MW
snaga dop. TE na gener.	348,5	216,3	167,7	116,5	40,2 MW
troškovi za gorivo	2 342,040	2 275,740	2 298,873	2 366,724	2 407,941 10⁶ d

Varijanta	Raspol. snaga MW	Snaga na gener. MW
B (0 — B)	36,7	48,6
C (0 — C)	75,4	99,8
D (0 — D)	133,1	176,8

Promatrajući rezultate o uštedama na izgradnji elektroenergetskog sistema uz različito energetsko korištenje promatranog vodotoka, može se zaključiti:

U elektroenergetskom sistemu postiže se ušteda na izgradnji za 38,7 MW raspoloživih, odnosno 51,2 MW na generatoru, ako se umjesto akumulacije od 96 hm ^{3} gradi pumpno-akumulacijsko postrojenje instaliranog protoka od 40 m^3/sek, a 96,4 MW raspoloživih odnosno 127,7 MW snage na generatoru ako se gradi pumpno-akumulacijsko postrojenje instaliranog protoka 60 m^3/sek.

Uz pretpostavku da za potrebnu izgradnju 1 MW u termoelektranama investicije iznose $7 \cdot 10^6$ dinara, a kvota godišnjih troškova 18%, dobivaju se uštede u godišnjim troškovima zbog potrebne manje izgradnje termoelektrana s obzirom na protočno korištenje voda, kako slijedi:

Varijanta	Uštede u troškovima
B (0 — B)	$61{,}236 \cdot 10^6$ d
C (0 — C)	$125{,}748 \cdot 10^6$ d
D (0 — D)	$222{,}768 \cdot 10^6$ d

Troškovi za gorivo za pojedine varijante jesu:

Varijanta	Troškovi goriva
0	$2\,342{,}040 \cdot 10^6$ d
A	$2\,275{,}740 \cdot 10^6$ d
B	$2\,298{,}873 \cdot 10^6$ d
C	$2\,366{,}724 \cdot 10^6$ d
D	$2\,407{,}941 \cdot 10^6$ d

Kako se vidi, troškovi za gorivo u varijanti A i B (protočno korištenje vode, odnosno korištenje akumulacije) su manji, a kod pumpno-akumulacijskog postrojenja (varijante C i D) postižu se veći troškovi za gorivo u sistemu nego kod izgradnje samo termoelektrana (varijanta 0). Razlog takvih odnosa u elektroenergetskom sistemu jest u tome što se u varijanti 0 za podmirenje potreba gradi veća snaga dopunskih termoelektrana, koje imaju veoma male troškove za gorivo, te one po redoslijedu angažiranja idu ispred skupljih termoelektrana (više proizvode), a termoelektrane s većim troškovima za gorivo rade kraće vrijeme, odnosno manje proizvode. Izgradnjom pumpno-akumulacijskih postrojenja potrebna je manja snaga iz dopunskih termoelektrana, a veća proizvodnja iz termoelektrana zbog potrebnog pumpanja, pa su više angažirane termoelektrane s višim troškovima za gorivo.

Ako prema naprijed navedenim vrijednostima o troškovima goriva odaberemo varijantu A (protočno korištenje vode) kao referentnu, u tom slučaju izgradnje HE A, bilo uz korištenje akumulacije, bilo kao pumpno-akumulacijsko postrojenje, povećavaju se troškovi za gorivo kako slijedi:

Varijanta izgradnje	Razlika troškova za gorivo
	10^6 dinara
B (A — B)	— 23,133
C (A — C)	— 90,984
D (A — D)	—132,201

Ako se zbroje uštede u izgradnji elektroenergetskog sistema i povećanje troškova za gorivo, dobiju se ukupne uštede u sistemu koje za pojedine varijante iznose:

Ukupne uštede	Var. B	Var. C	Var. D	Dinara
uštede u izgr. TE	+ 61,236	+ 126,748	+ 222,768	10^6
poveć. troš. gor.	— 23,133	— 90,984	— 132,201	10^6
U k u p n o	+ 38,103	+ 37,764	+ 90,567	10^6

6. ZAKLJUČAK

Numerički rezultati provedene analize energetskog iskorištenja vodotoka vrijede egzaktno za promatrani elektroenergetski sistem i promatrani vodotok. Rezultati pokazuju da su uz isti instalirani protok $Q_i = 40$ m^3/sek uštede u sistemu za oko 10% veće ako se načini akumulacijska hidroelektrana umjesto pumpno-akumulacijskog postrojenja. Međutim, za kvalitativnu sliku energetskog korištenja vodotoka moraju se uključiti i troškovi izgradnje akumulacijskog bazena, koji čine znatan dio investicijskih troškova. Budući da se u sistemu gradi sve više termoelektrana, to će značaj akumulirane energije u akumulacijskim bazenima biti od manjeg značenja u elektroenergetskom sistemu. U sistemu u kojem će udio hidroenergije biti manji od udjela termoenergije akumulacije su potrebne zbog osiguranja snage u doba velikih opterećenja, znači bit će potrebno graditi manje akumulacijske bazene, a to su upravo pumpno-akumulacijska postrojenja.

Načinjena je bila još jedna analiza za godišnju potrošnju od 22 635,0 GWh, koja je pokazala da su ukupne uštede za var. B 56,758.^{6} d, za var. C. 64,234.10^6 d i za varijantu D 187,133.10^6 d. Kako se vidi, ovdje su uštede u varijanti C u odnosu na varijantu B 13% veće. Znači, razvojem sistema dobivaju se veće uštede izgradnjom pumpno-akumulacijskih postrojenja.

LITERATURA

1. Požar H.: Metodološki principi optimatizacije vremena ulaska u pogon pumpno-akumulacijskih postrojenja u mješovitom elektroenergetskom sistemu, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1975. god.

Naslov pisaca:
Dr Božo U d o v i č i ć, dipl. ing.
Slavko A l e r i ć, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

RAZVOJ KABELA ZA VISOKI I NAJVIŠE NAPONE NA ZASJEDANJU CIGRÉ 1976. GODINE

1. UVOD

Od 25. kolovoza do 2. rujna 1976. održana je u Parizu 26. internacionalna konferencija CIGRÉ. U grupi 15 (izolacija) i 21 (visokonaponski kabeli) govorilo se o kabelima za najviše napone i kabelima s krutim dielektricima. U svijetu je sve veća potreba za kabelima za najviše napone, a kod nas u zemlji za kabelima visokog napona. Zajednička izjava domaćih proizvođača kabela u Zadru 1976. godine, da namjeravaju proizvoditi 110 kV kabele s krutim dielektrikom, smjernica je onima koji 110 kV kabele trebaju, a sigurno povećava interes za sve što se u svijetu događa s takvim kabelima, kod nas još nedovoljno poznatima.

Stoga smatramo korisnim da sve potencijalne korisnike kabela s krutim dielektrikom obavještavamo o najnovijim dostignućima na tom području, a to je sigurno slučaj i sa zasjedanjima CIGRÉ.

2. KABEL S KRATKIM DIELEKTRIKOM

2.1. Umrežena ili neumrežena izolacija

U svijetu je sve veća količina isporučenih kabela s krutim dielektricima. Takvi su kabeli i sve duže u pogonu, pa se već može govoriti i o iskustvu s njima. Potrebno je istaknuti da za sve to vrijeme nije bilo na kabelima velikih kvarova koji bi se mogli pripisati izolaciji ili konstrukciji kabela.

Na srednjem naponu (SN) i visokom naponu (VN) ($\leqslant 60$ kV) dobrom se pokazala izolacija od polietilena (PE) i umreženog polietilena (UPE). Po mišljenju proizvođača i korisnika kabela, PE je veoma pouzdan dielektrik, čije mogućnosti još nisu potpuno iskorištene. Računa se da će se od sadašnjih električnih polja 10 kV/mm za PE vrlo brzo postići 15 kV/mm. Tako će se smanjiti debljina izolacije, što će omogućiti konkurentnu proizvodnju 400 kV kabela s izolacijom od PE. Za sada se proizvode s izolacijom od PE kabeli do napona od 225 kV. Kod UPE su trenutne mogućnosti 7 kV/mm, i ne vide se mogućnosti povećanja polja. Kabeli s izolacijom od UPE za sada se proizvode za napone od 170 kV.

Unatoč mogućnosti kabela izoliranih s PE — dobrih kvaliteta i pouzdanosti izolacije i dobrih iskustava u pogonu — proizvođači i korisnici kabela predviđaju sve veću upotrebu kabela s umreženom izolacijom. Razlog je veća dopustiva radna temperatura kabela: 100 °C trajno u pogonu, 120 °C kod kratkotrajnih preopterećenja, a 250 °C kod kratkog spoja.

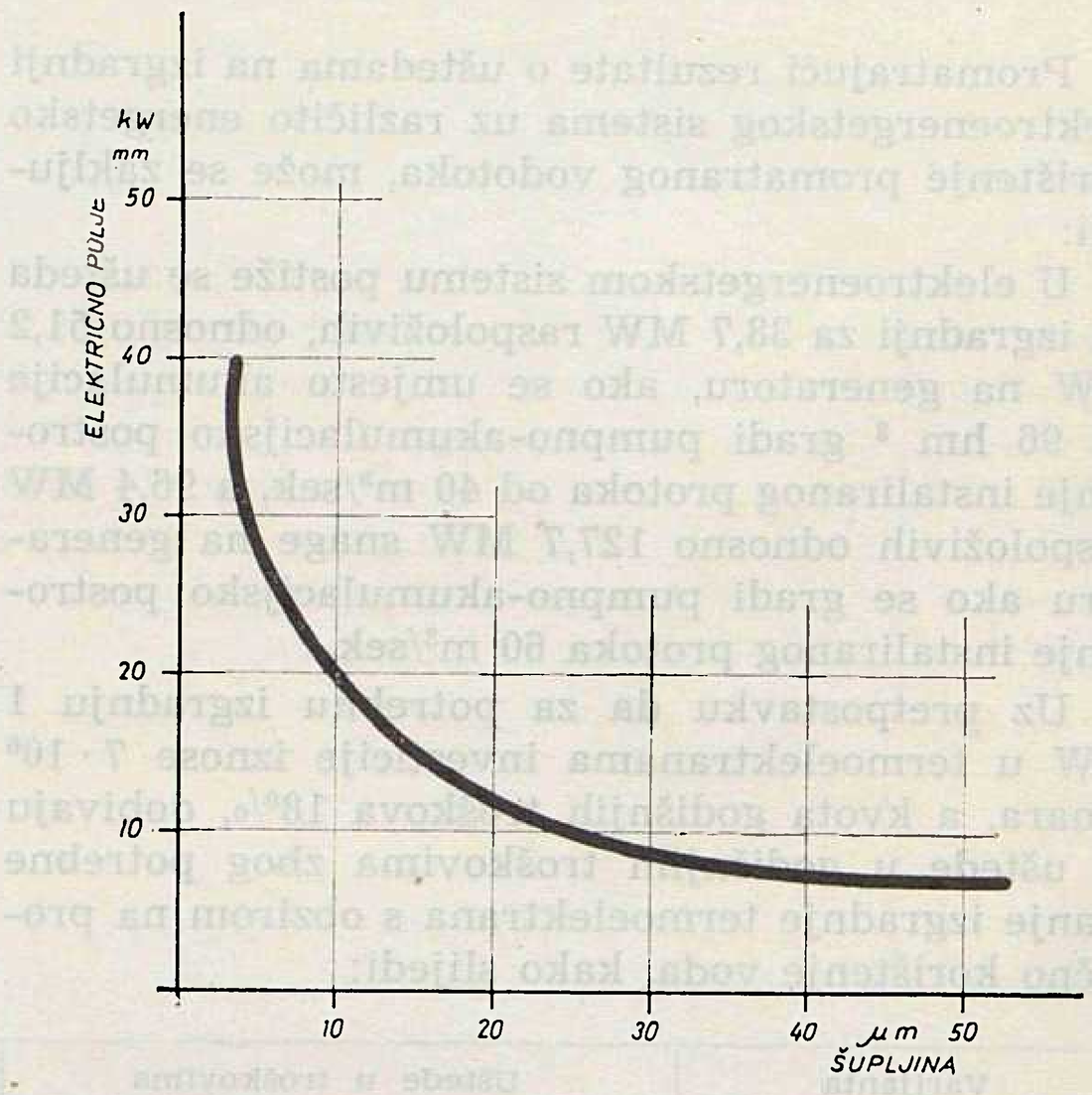
Pogon kod takvih temperatura je ipak problematičan, jer dolazi do isušivanja zemljišta oko kabela i do povratnog pregrijavanja kabela, što sigurno skraćuje vijek trajanja kabela. Tako se, na primjer, Electricité de Francé (EDF) odlučila da 20 kV kabele radi s izolacijom od UPE, predviđa primjenu UPE do 225 kV, a PE za kabele od 400 kV.

2.2. Građa izolacije

Na građu izolacije utječe način ekstrudiranja i hlađenja. »Tekuća« izolacija, nastala zbog konstrukcije uređaja za ekstruziju, ne utječe na električne osobine. Kod kraćeg hlađenja izolacije povećavaju se unutrašnje napetosti, dobiva finija kristalna struktura, koeficijent gubitaka raste, a pada probojna vrijednost.

Još nije potpuno razriješena uloga aditiva kod kemijski stabiliziranih PE. S dodatkom aditiva se parcijalna izbijanja ipak smanjuju za 1,5—3,0 puta.

Vodljive i nevodljive nečistoće u izolaciji razlog su defektima. Zato je neophodno da sirovina za izolaciju bude što čišća (superclean) i da su uvjeti rada uzorno čisti. Na svaki način, u izolaciji ne bi smjelo biti nečistoća većih od 100 μm. Vrlo je važno da su krajevi izolacije, tj. prema vodiču i prema vani, glatki. Vodljive i poluvodljive trake za stvaranje homogenog polja su u više slučajeva bile razlog proboja kabela.



Sl. 1. Probojna čvrstoća UPE u ovisnosti od promjera mikro-šupljina (prema: Kojimi)

Na slici 1. vidi se utjecaj šupljina na probojnu čvrstoću izolacije. Prema Paschenovu pravilu vrlo malene šupljine (microvoids), veličine 2—8 μm, ne utječu na kvalitetu i vijek trajanja izolacije od UPE, pogotovo ako je kabel impregniran plinom pod pritiskom. Kod ispitivanja kabela udarnim valom te malene šupljinice smanjuju probojnu čvrstoću.

Računa se da su takve šupljinice u izolaciji do 80 μm neopasne za pouzdani pogon kabela do 70 kV, a od 50 μm za kabele do napona od 150 kV.

V l a g a. Prije nekoliko godina prvi je put spomenuta pojava »krošnji« u izolaciji nastalih zbog vlage u izolaciji i djelovanjem električnog polja, što nije još potpuno razjašnjeno. Konačno, svi se i ne slažu o štetnom djelovanju »krošnji« na kvalitetu i vijek trajanja izolacije.

Čini se da krošnje (mikroskopske pukotine ili mjehurići u izolaciji) nastaju na mjestima defektne izolacije (nečistoće, šupljinice, neispravni poluvodljivi ekran, neravni krajevi kabela) uz prisutnost vlage i električnog polja. Vlaga može doći u kabel pri proizvodnji kabela (pri umreženju izolacije u vodenoj pari, hlađenja izolacije nakon ekstruzije u vodi) ili prilikom montaže.

Dokazano je da se krošnje u izolaciji stvaraju i razvijaju u prisutnosti vlage. Čini se da u vodi otopljene soli ubrzavaju stvaranje krošnji.

Naročito su opasne krošnje na mjestima u izolaciji gdje postoji stalan kontakt s vlagom (vented-trees), jer se stalno šire i rastu dok ne premoste čitavu izolaciju.

U unutrašnjosti izolacije stvaraju se trokutaste krošnje (bow-tie-trees), koje nisu opasne za kabel. One u početku odmah narastu do određene veličine i dalje se ne razvijaju. Konačno, postoje vrlo malene i ograničene krošnje koje uopće ne utječu na kvalitetu kabela.

Svi autori se s takvim postavkama ne slažu. Grupa mađarskih istraživača ispituje 120 kV PE kabel koji nema vanjskog izjednačenja polja. Kabel je izvana hlađen vodom koja ujedno služi i za izjednačenje polja. Dosadašnji rezultati ispitivanja kod polja od 10 i 16 kV/mm dali su dobre rezultate. Autori tvrde da i vanjski grafitni poluvodljivi sloj kod kabela položenog u zemlju dolazi u kontakt s vlagom zemlje ili podzemnim vodama, pa prema tome nema razloga da se sa PE izolirani kabel ne položi izravno u vodu.

No dok se sa sigurnošću ne utvrdi djelovanje vode na trajnost kruto izoliranih dielektrika, treba spriječiti kontakt takve izolacije s vodom.

U praksi se to postiže izradom vodonepropusnog plašta preko izolacije.

Kod proizvodnje kabela umjesto izrade umreženja izolacije pomoću vodene pare sve više se upotrebljavaju suhi postupci (grijanje plinom, ultrazvukom, zračenjem, trenjem u sapnici).

Kod tako suho umrežene izolacije izostaju i mikroskopske šupljinice 0,5—5,0 μm (micro-voids), što je lako ustanoviti u laboratoriju, jer se električna čvrstoća kabela povećava.

2.3. Kabelski pribor

Iznenađuje maleni broj referata koji govore o kabelskim glavama i spojnicama, kada se zna koliko je to važno za dobar rad kabela. Kabelske glave, spojnice i kabel čine cjelinu od kojih je svaki dio jednako važan za sigurnu i neprekidnu opskrbu.

Za kabele 110 i 154 kV upotrebljavaju se tvornički izrađene kabelske glave koje se navlače na kabel. Za napone 150—225 kV lijevaju se kabelske glave na licu mjesta, što zahtijeva iskusne i kvalificirane montere.

Spojnice za VN kabele se još rade sa samoljepljivim i samovulkanizirajućim trakama ili lijevanjem na licu mjesta. U pripremi je i 138 kV tvornički izrađena kabelska spojnica, koja se gotova navlači na kabel, ali treba još izvršiti neka poboljšanja na njoj.

2.4. Ispitivanje

Iz diskusija i referata vidi se da još uvijek nisu riješeni svi problemi, npr. izrada izolacije, pojava nečistoće, mjehurića kod krutih dielektrika, a kabeli s takvim dielektricima se sve više i više upotrebljavaju. Iskustvo od oko 10 godina, koliko su takvi kabeli u pogonu, ipak ne može potpuno garantirati njihovu kvalitetu i u budućnosti. Korisnici traže da svaki novi materijal, pa i kabel izoliran krutim dielektrikom, ima u pogonu za vrijeme njegova vijeka trajanja barem isti, ako ne i manji broj kvarova od kabela koji su sada u pogonu. Vjerojatni broj kvarova novih kabelskih konstrukcija računa se po Weibullovoj formuli, koja vodi računa o dužini postojećih kabela i godišnjem broju kvarova, dužini ispitivanih kabela, uvjetima u kojima se ispituju i rezultatima ispitivanja. Sigurno je da pri tome mora postojati i neko povjerenje prema proizvođačima.

U Francuskoj i Americi su izgrađene ispitne stanice gdje se vrlo strogo ispituju i krutim dielektricima izolirani kabeli. Tako je, na primjer, s 1/3 puta većim naponom priključen na mrežu, dakle izložen svim unutrašnjim i vanjskim prenaponima preko 60 000 sati 65 kV kabel, a preko 30 000 sati 225 kV kabel.

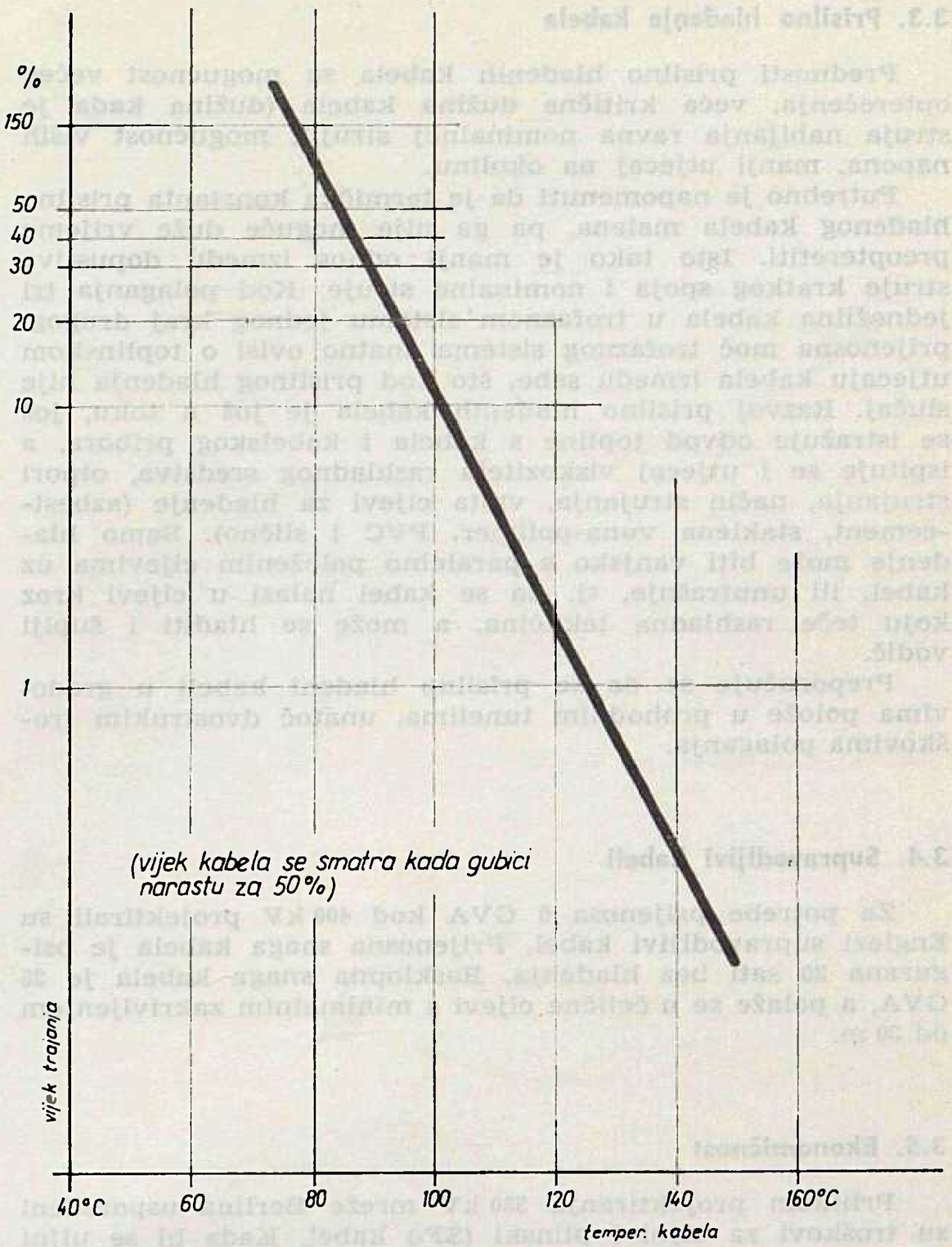
Mjerenje parcijalnih izbijanja još je uvijek najvažnije mjerenje za kontrolu kvalitete kabela i pronalaženje eventualnih pogrešaka. Napominje se da sada maksimalna dopuštena parcijalna izbijanja nisu ni u kakvom odnosu s vijekom trajanja kabela. Kao bolje rješenje predlaže se napon kod kojega još ne smije doći do parcijalnih izbijanja. Isto tako se predlaže da se ispitivanje s parcijalnim pražnjenjem proširi i s optičkom kontrolom izolacije, i tako točnije ispita mjesto i veličina oštećenja, da bi se dobili precizniji podaci o opasnosti parcijalnih izbijanja za kabel.

3. KABELI ZA NAJVIŠE NAPONE

3.1. Uljni kabeli

Već sada se pojavljuje potreba za, istina kratkim, kabelskim dionicama koje bi prenosile do 600 MVA. Za oko 10 godina računa se da će potreba prijenosa iznositi do 1600 MVA. Mogućnosti kabela s izolacijom papir-ulje iznose danas oko 600 MVA. Očito je da će se tražiti kabeli za sve više napone, pa je pitanje do kojih električnih polja i temperatura je moguće konstruirati kabele s izolacijom papir-ulje.

S današnjim znanjima moguće je raditi uljne kabele za napone do 1100 kV s poljem do 30 kV/mm. Za dalje povećanje polja trebat će upotrijebiti slojevitu izolaciju (laminate) papira i sintetskih materijala.



Sl. 2. Vijek trajanja uljno-papirnog kabela u ovisnosti o temperaturi (prema: Arkell[11])

Današnje izolacije dopuštaju trajno opterećenje kabela do 90 °C. Moguć je i kratkotrajni pogon kabela kod viših temperatura. No treba imati na umu da se takvim pogonom skraćuje životna dob kabela. Ispitivanja su pokazala da je 115 °C termička granica za kabelske spojnice. Tada, naime, dolazi do aksijalnog pomicanja slojeva papirne izolacije i oštećenja spojnice.

Prema današnjim pogledima čini se da bi kabele za veća električna polja i više temperature trebalo izvesti s prisilnim hlađenjem.

3.2. Plinom izolirani kabeli

Plinom izolirani kabeli kod vrlo visokih napona i prijenosa velikih snaga imaju neke prednosti pred klasičnim kabelima, a kod najviših napona su i jeftiniji od uljnih. Sada je u pogonu 550 kV kabel izoliran sa SF_6, a projektira se takav kabel za 1200 kV. Plinski kabeli s fleksibilnim plaštom bit će znatno jeftiniji, a i lakše će se raditi s njima.

Plinom izolirani kabeli imaju manji toplinski otpor, manje gubitke u dielektriku, bolji odvod topline i mogućnost upotrebe većih presjeka za vodiče. Sve to omogućuje da se plinom izolirani kabel uz iste gubitke, ali različite načine hlađenja može opteretiti za 90—130% više od klasičnog kabela.

Kod plinskih kabela posebno je obrađivan problem kretanja sićušnih nečistoća prema unutrašnjoj elektrodi, što je moguće izračunati. Električna probojnost SF_6 raste s pritiskom, a manja količina dušika ne smanjuje bitno probojnost. Ovo posljednje je važno za praksu u slučaju da dođe do prodora zraka u kabel ili ako plin nije naročito čist.

Da se spriječe kvarovi, potrebno je mjeriti količinu nečistoća u plinu na nerazarajući način. Zbog malenih parcijalnih pražnjenja kod pogonskih napona to nije moguće. Kod nižih napona su pražnjenja mnogo jača, a postoji odnos između proboja kod pogonskog napona i parcijalnog izbijanja kod nižeg napona. Opaženo je da probojna vrijednost izolacijskog plina nakon nekoliko proboja raste za 30—500%, što pokazuje da je s povišenjem napona moguće ispraviti neku neispravnost u kabelu.

3.3. Prisilno hlađenje kabela

Prednosti prisilno hlađenih kabela su mogućnost većeg opterećenja, veća kritična dužina kabela (dužina kada je struja nabijanja ravna nominalnoj struji), mogućnost viših napona, manji utjecaj na okolinu.

Potrebno je napomenuti da je termička konstanta prisilno hlađenog kabela malena, pa ga nije moguće duže vrijeme preopteretiti. Isto tako je manji odnos između dopustive struje kratkog spoja i nominalne struje. Kod polaganja tri jednožilna kabela u trofaznom sistemu jednog kraj drugog, prijenosna moć trofaznog sistema znatno ovisi o toplinskom utjecaju kabela između sebe, što kod prisilnog hlađenja nije slučaj. Razvoj prisilno hlađenih kabela je još u toku, još se istražuje odvod topline s kabela i kabelskog pribora, a ispituje se i utjecaj viskoziteta rashladnog sredstva, otpori strujanja, način strujanja, vrsta cijevi za hlađenje (azbest-cement, staklena vuna-polimer, PVC i slično). Samo hlađenje može biti vanjsko s paralelno položenim cijevima uz kabel, ili unutrašnje, tj. da se kabel nalazi u cijevi kroz koju teče rashladna tekućina, a može se hladiti i šuplji vodič.

Preporučuje se da se prisilno hlađeni kabeli u gradovima polože u prohodnim tunelima, unatoč dvostrukim troškovima polaganja.

3.4. Supravodljivi kabeli

Za potrebe prijenosa 5 GVA kod 400 kV projektirali su Englezi supravodljivi kabel. Prijenosna snaga kabela je osigurana 30 sati bez hlađenja. Rasklopna snaga kabela je 35 GVA, a polaže se u čelične cijevi s minimalnim zakrivljenjem od 30 m.

3.5. Ekonomičnost

Prilikom projektiranja 380 kV mreže Berlina uspoređeni su troškovi za uljni i plinski (SF_6) kabel. Kada bi se uljni kabel izveo u prohodnom tunelu, što se i preporučuje, kao što je to izveden plinski kabel, gotovo da se troškovi investicija i ne bi razlikovali.

Supravodljivi kabel bio bi jeftiniji od uljnog kabela s prisilnim hlađenjem tek kod snaga iznad 2 GVA. Ne smije se zaboraviti da nije ni svugdje moguće osigurati širinu trase potrebnu za uljni prisilno hlađeni kabel.

3.6. Istosmjerni i podmorski kabeli

Sve je više visokonaponskih postrojenja, a i kabela za istosmjerni prijenos. Tome su sigurno pridonijeli u pogonu vrlo pouzdani Tiristorski ispravljači s mogućnošću brze regulacije. Dodamo li k tome da se tako prenosi samo radna energija bez povećanja struja kratkog spoja, onda je jasno da se ta tehnika sve više upotrebljava za dalje prijenose, gdje je i jeftinija.

Kalkulacije su pokazale da su isti troškovi kod prijenosne mreže dužine 60 km s potrebnom snagom od 2000 MW s trofaznim kabelskim prijenosom kod 350 kV i iste takve istosmjernim kabelom 400—500 kV.

Kod podmorskih kabela, uza svu mehaničku zaštitu, dolazi sve više do oštećenja zbog povlačenja ribarskih mreža i sidrenja brodova (250 kV istosmjerni kabel položen u Skageraku između Norveške i Danske prekinut je već nakon 2 mjeseca poslije polaganja). Dolazi se na pomisao da se i ti kabeli ukopavaju. Da bi se efikasno zaštitili od povlačenja mreža, bilo bi potrebno ukopavanje na 0,30—0,70 m, dok bi za zaštitu od sidrenja brodova do 50 000 t trebalo ići na 1,5 m.

Uz podmorski kabel Italija—Sardinija položeni su betonski blokovi, a ovi ssu oko 1,0 m iznad dna povezani za Če-užetom da se kabel zaštiti od povlačenja mreža.

LITERATURA

1. Wanser G. — Winznerowcz F.: CIGRÉ 1976 — Aktuelle Kabelfragen auf der Internationalen Hochspannungskonferenz, Elektrizitätswirtschaft 75/26
2. Heumann H.: Gruppe 21: Hochspannungskabel, etz 97/12
3. Müller R. — Saure M. : Gruppe 15 : Isolierstoffe, etz 97/12

B. MRAKOVČIĆ

OPSKRBA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM U SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA

Od 27. 9. do 1. 10. 1976. održano je u Atlantic Cityju, država New Yersey, u organizaciji PES-a (Power Engineering Society) i IEEE-a (Institute of Electrical and Electronics Engineers), 6. savjetovanje o opskrbi i prijenosu električne energije podzemnim kabelima. Savjetovanja se održavaju svake dvije godine i iz savjetovanja u savjetovanje širi se obrađivana problematika. Savjetovanju je prisustvovalo 6100 sudionika; za evropske prilike vrlo velik broj. Iznenađuje otvorenost u diskusiji i dobra organizacija.

NISKONAPONSKI I SREDNJENAPONSKI KABELI

Prikupljeni su statistički podaci od 38 distributivnih poduzeća koja opskrbljuju 46% potrošača.

Uza svu recesiju godišnji prirast prodane električne energije iznosio je 5,3%.

Potrebno je napomenuti da je opskrbljivanje stambenih četvrti URD (Underground and Residential Distribution) u SAD, kako na niskom naponu, tako i na srednjem naponu jednofazno. Od 1974. godine započeli su s trofaznom opskrbom UD (Underground Distribution) gradskih centara i industrije.

Distributivni napon je 120/240 V; na srednji napon to je obično 15 kV, ali postoji i drugi napon, pa i 25 i 35 kV.

Kod individualne stambene izgradnje traži se da velik dio terena bude vrt, dakle neizgrađen, pa je velik razmak između kuće i kuće. Kao posljedica takve izgradnje dolazi do 8 kuća (stanova) na transformator koji je malene snage.

Od 38 anketiranih distribucija, što je u postocima 100%, imaju 14% transformatora izravno ukopanih u zemlju. Dobra iskustva u pogonu kod ukopanih transformatora povećavaju iz godine u godinu njihovu primjenu kako kod 200 A, tako i kod 600 A postrojenja.

Kod polaganja srednjonaponskih kabela oko polovica je položena u posebne cijevi, a polovica u zemlju (pri tome nisu uzeti u račun razni prijelazi).

Već je rečeno da su kabeli jednofazni. Pri polaganju jednožilnih 35 kV kabela, kao novost, namotane su sve tri žile na jedan bubanj, pa se, kada je potreban trofazni kabel, polažu sve tri žile odjedanput, a ne žila po žila.

Što se izolacije kabela tiče, očito da je izolacija Papir-Compaund i Ethylen Propylen-Ruber sve manje u upotrebi, što se i vidi iz tablice 1.

presjek mm²	*godina*	*papir-masa %*	*EPR %*	*PE %*	*UPE %*
<240	*1974*	*9*	*19*	*24*	*48*
	1976	*—*	*3*	*32*	*65*
>240	*1974*	*19*	*9*	*4*	*68*
	1976	*6*	*6*	*6*	*82*

papir masa....
EPR ....EtilenPropilen guma
PE ....Poli Etilen
UPE ....Umreženi Poli Etilen

Tablica 1. Vrsta instlacije, S.N. kabela u 38 distribucija USA

Za vodiče distribucije sve više upotrebljavaju Al, pa od 38 anketiranih poduzeća 5 još upotrebljava Cu za vodiče, a 3 samo za malene presjeke.

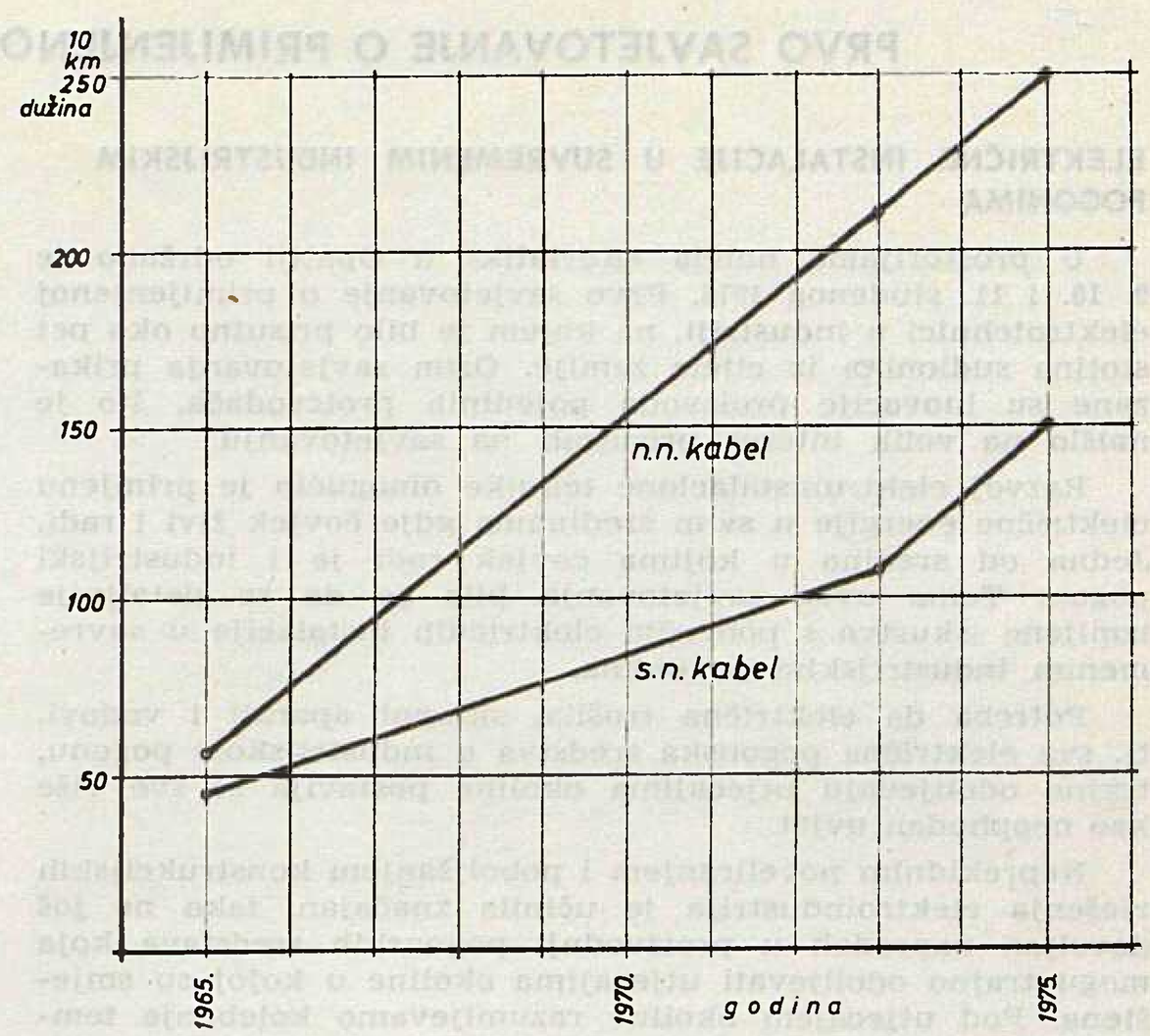
Kod niskonaponskih kabela 50% distribucija izrađuje izolacijskim trakama kabelske glave i spojnice, 27% upotrebljava utikačke elemente, a 23% toplo skupljajuće cijevi. 60% distribucija tako izrađene spojnice ukapa u zemlju bez ikakve dodatne zaštite.

Kod srednjonaponskih kabela s izolacijom od krutog dielektrika 53% distribucija upotrebljava spojnice utikače. Kabelske glave su kod unutrašnje montaže kutni utikači, a kod vanjske montaže za malene presjeke utikači za vanjsku montažu, a za velike presjeke kabela porculanske kabelske glave, kao što se to vidi iz tablice 2.

U slici 1. dane su dužine položenih kabela.

Statistički podaci pokazuju stalan porast kvarova zbog mehaničkih oštećenja. Iz 10-godišnjih podataka (1965—1975) proizlazi da ima 15 kvarova na 100 km jednofaznog kabela godišnje. U istom 10-godišnjem razdoblju bile su 22 nesreće na radu na kabelima, od toga 2 smrtne. Za nas je vrlo zanimljiv podatak da je za 2,00 milijuna pogonskih godina (500 000 komada utikača za vrijeme od 4 godine) bilo 96 kvarova na učinskim utikačima s 8 ozljeda. Potrebno je napomenuti da se proizvode srednjonaponski utikači za iskopčavanje u beznaponskom stanju i za iskapčanje pod naponom i teretom. Takav broj kvarova je mnogo manji od broja kvarova na učinskim utikačima s 8 ozljeda.
Prema tome, dokazano je da je učinski utikač za napon 15 kV vrlo pouzdan element u distributivnoj mreži.

Jednofazni kabeli, koji se upotrebljavaju u SAD, imaju na vanjskoj strani, izravno u dodiru sa zemljom, pokositrene bakrene žice. 43 distribucije su izvijestile da su imale 287 slučaja korozije tih vodiča. Sigurno su različiti uzroci toj koroziji, jer u pojedinim predjelima zemlje korozije nema. Takve probleme, kao i napone dodira i koraka kod kvarova na kabelima, utjecaj na TT kabele itd. ispituju IEEE, EPRI, neki fakulteti, a i proizvođači kabela.



Tablica 2. Vrste ugrađenih kab. glava, S.N. kabela u 38 distribucija SAD

VISOKONAPONSKI KABELI

Primljeni su izvještaji 30 distributivnih poduzeća, a procjenjuje se da je kod njih položeno oko 95% svih visokonaponskih kabela (69—345 kV) u SAD.

Godine 1965. bilo je u pogonu 800 000 km visokonaponskih zračnih vodova i oko 600 km visokonaponskih uljnih kabela, sa 7800 spojnica i 660 kabelskih glava. U to vrijeme bilo je u pogonu tek nekoliko km ispitnih PE kabela.

U 1975. godini u pogonu je oko 2000 km visokonaponskih kabela sa svim mogućim izolacijama (uljni kabel s visokim, srednjim i niskim pritiskom, plinski, plinski SF_6, PE i UPE). Prema izvještajima, bez ijednog kvara od 1962. godine je u Tampi u pogonu 69 kV PE kabel, a od 1965. u Baltimoru 115 kV PE kabel.

Od 1976. godine je u pogonu oko 20 km plinskog kabela za napone 230—345 kV. Proizvodnjom fleksibilnog kabela izoliranog sa SF_6 pojeftinit će plinski kabeli, jer će biti lakši prijevoz i montaža, a k tome će se isporučivati još i znatno veće dužine kabela u jednom komadu.

Na poticaj EPRI-a usvojena je prerađena spojnica za 138 kV kabel s krutim dielektrikom, koja smanjuje vrijeme montaže na manje od 5 sati.

Prosječno vrijeme za pronalaženje kvara na kabelu iznosilo je za niskonaponske kabele 1 sat, a za srednjonaponske kabele 4 sata. Ukupno je za traženje kvarova na kabelima utrošeno 7 milijuna USA $, što se ocjenjuje kao previše.

Računaju da se s boljom tehnikom ekstrudiranja kod proizvodnje kabela s krutim dielektricima može ići do napona od 345 kV i prijenosnih snaga od 700 MVA. Za kontrolu kabela u tvornici, radi pronalaženja kvarova, šupljina i nečistoća, radi se na uređaju na principu lasera.

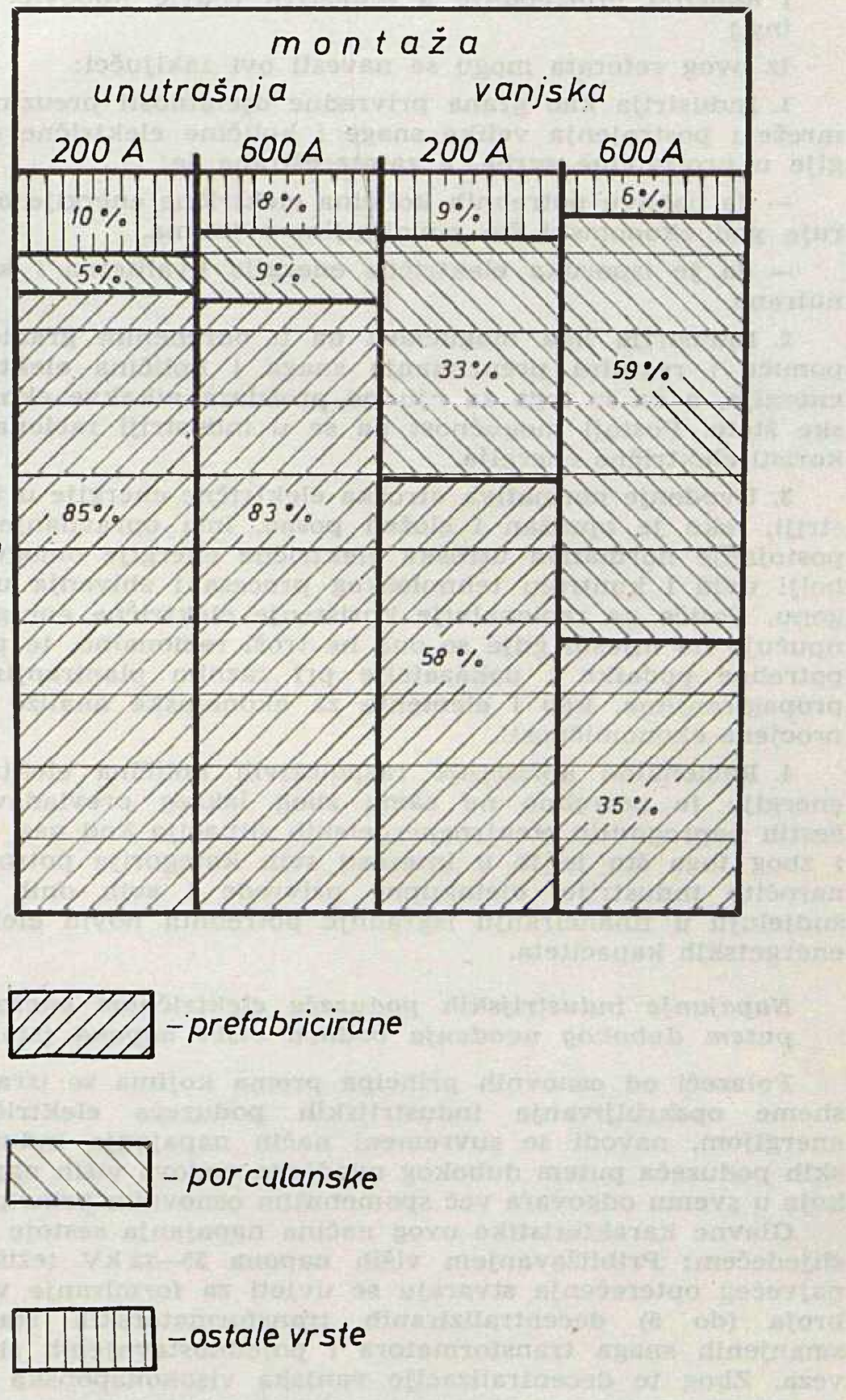
RAZVOJ

Institut EPRI osnovali su 1972. godine distributeri i on je privatan. ERDA je državna ustanova. Ponekad se bave istim problemima. Prema dogovoru, ubuduće bi se ERDA bavila dugoročnim energetskim problemima, a EPRI bavio kratkoročnim problemima.

Inače, računaju da će samo EPRI do 2000. godine za istraživanja i razvoj trošiti godišnje 150 milijuna USA $.

Prema EW 26/1976

B. MR.



Sl. 1. Dužine ugrađenih niskonaponskih i srednjenaponskih jednofaznih kabela, s krutim dielektrikom, u 80 distribucija USA.

PRVO SAVJETOVANJE O PRIMIJENJENOJ ELEKTROTEHNICI U INDUSTRIJI

ELEKTRIČNE INSTALACIJE U SUVREMENIM INDUSTRIJSKIM POGONIMA

U prostorijama hotela »Adriatik« u Opatiji održano je 9, 10. i 11. studenog 1976. Prvo savjetovanje o primijenjenoj elektrotehnici u industriji, na kojem je bilo prisutno oko pet stotina sudionika iz cijele zemlje. Osim savjetovanja prikazane su inovacije proizvoda pojedinih proizvođača, što je naišlo na velik interes prisutnih na savjetovanju.

Razvoj elektroinstalacione tehnike omogućio je primjenu električne energije u svim sredinama gdje čovjek živi i radi. Jedna od sredina u kojima čovjek radi je i industrijski pogon. Tema ovog savjetovanja bila je da se detaljnije izmijene iskustva s područja električnih instalacija u suvremenim industrijskim pogonima.

Potreba da električna trošila, sklopni aparati i vodovi, tj. sva električna pogonska sredstva u industrijskom pogonu, trajno odolijevaju utjecajima okoline postavlja se sve više kao neophodan uvjet.

Neprekidnim noveliranjem i poboljšanjem konstrukcijskih rješenja elektroindustrija je učinila značajan, iako ne još dovoljan napredak u proizvodnji pogonskih sredstava koja mogu trajno odolijevati utjecajima okoline u kojoj su smještena. Pod utjecajem okoline razumijevamo kolebanje temperature, vlagu, mehaničke i kemijske utjecaje. Napredak je postignut prvenstveno uvođenjem novih materijala, poboljšanjem površinske zaštite i kvalitetnijim konstrukcijama. Takve ubrzane inovacije u proizvodnom programu čine savjetovanja između korisnika i proizvođača, kao što je ovo, vrlo dragocjenim i za korisnike i za proizvođače.

Na savjetovanju je izneseno nekoliko zanimljivih referata, pa ćemo ih u ovom članku ukratko prikazati.

Električna energija u suvremenim tehnološkim procesima i kontroli proizvodnje u industriji (Pavle Robović, dipl. ing.)

Iz ovog referata mogu se navesti ovi zaključci:

1. Industrija kao grana privredne djelatnosti preuzima iz mreže i postrojenja velike snage i količine električne energije u proizvodne svrhe, a zainteresirana je:

— da nabavu potrebnih količina električne energije ostvaruje pod ekonomski što povoljnijim uvjetima,

— da je isporuka električne energije kvalitetna i kontinuirana.

2. Industrija ima mogućnost da u određenim granicama pomiče i regulira preuzimanja snaga i količina električne energije, a da iz toga za nju ne proizlaze nikakve ekonomske štete. Postoji mogućnost da se u industriji racionalnije koristi električna energija.

3. Uvođenje normativa utroška električne energije u industriji, iako je opsežan i složen posao, ima opravdanje, jer postojanje normativa utroška električne energije omogućuje bolji uvid i kontrolu tehnološkog procesa i zbivanja u pogonu. Potiče na racionalnije korištenje električne energije i upućuje na mjesto gdje se ona ne troši racionalno, te pruža potrebne podatke i pokazatelje pri raznim planiranjima i propagiranjima, kao i elemente za ekonomske analize i za procjene ekonomičnosti.

4. Racionalno korištenje raspoloživih količina električne energije je potrebno ne samo zbog lakšeg prevladavanja čestih napregnutih elektroenergetskih situacija kod nas, nego i zbog toga što je to u interesu svih kategorija potrošača, naročito industrije, cjelokupne privrede i svih onih koji sudjeluju u financiranju izgradnje potrebnih novih elektroenergetskih kapaciteta.

Napajanje industrijskih poduzeća električnom energijom putem dubokog uvođenja vodova viših napona (Mandić)

Polazeći od osnovnih principa prema kojima se izrađuju sheme opskrbljivanja industrijskih poduzeća električnom energijom, navodi se suvremeni način napajanja industrijskih poduzeća putem dubokog uvođenja vodova viših napona, koje u svemu odgovara već spomenutim osnovnim principima.

Glavne karakteristike ovog načina napajanja sastoje se u slijedećem: Približavanjem viših napona 35—22 kV težištima najvećeg opterećenja stvaraju se uvjeti za formiranje većeg broja (do 5) decentraliziranih transformatorskih stanica, smanjenih snaga transformatora i pojednostavnjenih shema veza. Zbog te decentralizacije vanjska visokonaponska pojna mreža unutar industrijskog poduzeća sjedinjuje se s njegovom distributivnom mrežom prvog naponskog nivoa i na taj način postaje kraća. Ekonomske prednosti ovog načina ogledaju se u spajanju gubitaka energije, uštedi materijala (prije svega obojenog metala) itd., dok se tehničke prednosti iskazuju u pojednostavnjenju komutacije, smanjenju struje kratkog spoja na strani nižih napona u pojnim transformatorskim stanicama, pojednostavnjenju shema manjim snagama. Objašnjeno je korištenje polaznih visokonaponskih vodova, nadzemnih i kabelskih, a osim toga i radijalnih vodova.

Rezervni izvori električne energije industrijskih pogona u uvjetima elementarnih nepogoda i katastrofa, ratnim uvjetima i u vršnim opterećenjima u elektroenergetskom sistemu (Kojović)

Ovaj referat govori kako je s razvojem industrije potrebno osigurati sve veće količine električne energije za njezine potrebe, a ona se uglavnom opskrbljuje iz javne električne mreže. Međutim, pojedini industrijski pogoni mogu se koristiti i rezervnim (vlastitim) izvorima električne energije, iz kojih se napajaju kada iz bilo kog razloga dolazi do nestanka napona u javnoj električnoj mreži i redukcije električne energije. Na područjima ugroženim od elementarnih nepogoda i katastrofa industrijski pogoni, koji prema planu obrane od elementarnih nepogoda, moraju započeti s radom nakon takvih događaja, a normalno nemaju potrebe, da se opreme rezervnim izvorima električne energije, opremaju se rezervnim izvorima ako se utvrdi da se neće moći napojiti iz javne električne mreže. Za ratne uvjete moraju se opremiti rezervnim izvorima električne energije svi industrijski pogoni koji prema planu općenarodne obrane trebaju biti u pogonu. Budući da je cijena energije iz rezervnih izvora električne energije skuplja od cijene iz javne električne mreže, pojedini rezervni izvori se koriste samo kada kvaliteta električne energije iz javne mreže ne zadovoljava, ili da bi se provjerila pogonska sigurnost.

Primjena plastičnih masa u elektrotehnici (Mardešić-Majcen)

Plastične mase se u odnosu na klasične materijale nalaze u primjeni relativno kratko, ali su danas već razvijene razne metode, tehnike, postupci i standardi za njihova ispitivanja. Česta je upotreba slijedećih plastičnih masa: polistirena, staklom armiranog poliestera, fenolne smole, najlona, polikarbonata i epoksidne smole.

Primjenu plastičnih masa najčešće susrećemo kod razvodnih kutija izrađenih od poliestera, razvodnih ormarića od polikarbonata, eksplozivno zaštićena razvodna kutija od fenolformaldehidne mase i kućnih priključnih ormarića izrađenih od poliestera.

Mogućnost primjene samonosivog kabelskog snopa u industrijskim pogonima (M. Ibrahimpašić)

Ovaj referat govori o upotrebi samonosivog kabelskog snopa, koji se u svijetu već primjenjuje dulje vrijeme. Ti snopovi naponskog nivoa 1000 V imaju izolaciju od umreženog polietilena čije su izvanredne mehaničke i električne karakteristike za gradnju niskonaponskih distributivnih mreža, kao i za polaganje kućnih priključaka, a uz to pružaju velike ekonomske i tehničke prednosti u usporedbi s dosadašnjom izgradnjom niskonaponskih mreža s golim vodičima. Tvornica »Elka« usvojila je proizvodnju i dala tržištu samonosiv kabelski snop »Elkalex-1«. Budući da samonosivi kabelski snop ima i širu primjenu u elektrodistribuciji, došlo se na pomisao da se ta tehnika prenese i na industrijska područja. U referatu se ukratko navodi što sve ulazi u sastav takve instalacije i daju se osnovni tehnički podaci za samonosivi kabelski snop, kao i opis potrebnog pribora i alata.

Električne karakteristike šinskog razvoda velikih snaga i njegova primjena u suvremenim industrijskim instalacijama (Laketić A. — Lalić R.)

Šinski razvodni NN u modernim elektroenergetskim instalacijama industrijskih objekata i objekata društvenog standarda uspješno konkuriraju kabelskim razvodima i u pogledu tehničkih rješenja, ekonomike ulaganja i u pogledu estetskog uklapanja u arhitekturu interijera. Čak i tamo gdje kabelske veze nisu primjenjive, bilo zbog prevelikih padova napona, bilo zbog konstruktivne nepodobnosti, šinski razvodi daju rješenje, nude modernu estetiku, laganu, i brzu montažu, neograničen vijek trajanja, uštedu prostora, fleksibilnost u pogledu povišenja broja i promjene mjesta prijemnika i još mnogo prednosti koje referat detaljnije obrađuje.

Suvremene koncepcije niskonaponskih sklopnih blokova (V. Jurjević)

Još od prvih početaka primjene sklopnih postrojenja na pragu ovog stoljeća postavljen je jasan princip njihove gradnje: jednostavnost, preglednost i sigurnost. U toku ovog razdoblja postavljaju se sve veći zahtjevi u pogledu nazivnih struja pojedinih odvodnih polja i sabirnica podnosivih dinamičnih i termičkih naprezanja od struja kratkog spoja, sigurnosti pogonskog osoblja, preglednosti upravljanja, mehaničke zaštite postrojenja i uštede prostora.

Uzemljivač u temelju (M. Krstić)

Posljednjih godina uzemljivač u temelju dobiva vrlo veliko značenje u području tehnike uzemljenja. Izrađen je uzemljivač koji se i tehnički i u ekonomskom pogledu pokazao savršenim. To znači da nema više kopanja kanala oko zgrade za polaganje gromobranskog uzemljivača, odnosno cjevovodnih uzemljivača. Da bi se izbjegle potencijalne razlike između konstrukcijskih dijelova zgrade koji su vezani na gromobransku instalaciju i raznih drugih instalacijskih uređaja, a koji zbog kvara na električnim instalacijama mogu doći pod opasan napon dodira, obavezno se zahtijeva njihovo međusobno povezivanje. Za tu svrhu upotrebljava se šina za izjednačenje potencijala na koju se preko posebnih vodova priključuje gromobranska instalacija i svi konstrukcijski dijelovi zgrade, koji su njen sastavni dio, a preko posebnih vodiča, kao što su zemljovodi, razni metalni dijelovi u zgradi koji nisu direktno uključeni u sistem zaštite od atmosferskog elektriciteta. Kod udara munje u gromobransku instalaciju zgrade, svi dalekovodi koji su međusobno povezani poprimaju isti potencijalni nivo. Zbog toga može doći do preskoka s gromobranske instalacije na druge. Da bi se ovakav uzemljivač mogao pravilno projektirati i izvesti, neophodno je izvršiti gloelektrična ispitivanja.

Prednosti: — lako se postavlja na betonsko željezo,

— postavljen u betonu zaštićen je od korozije,

— veličina otpora uzemljivača ne ovisi o vremenskim prilikama.

— vrši izjednačenje potencijala te je ujedno zaštita od dodirnog napona.

Sistemi za nošenje i pričvršćivanje kabela u industrijskim pogonima (M. Maričević)

Kabelski nosači u širem smislu riječi nude praktički neograničenu mogućnost primjene kako s obzirom na prostore gdje se ugrađuju, tako isto i s obzirom na primjenu za kabele raznih instalacijskih sistema: jaku struju, signalizaciju, telefoniju, elektronsku obradu podataka, rasvjetu i sl. Na industrijski način proizvedeni kabelski nosači nude, s obzirom na mogućnosti primjene troškove montaže i održavanja te fleksibilnost sistema, višestruke prednosti u usporedbi s klasičnim instalaterskim načinom izvođenja sličnih kabelskih instalacija.

PRIJEDLOG ZAKLJUČAKA PRVOG SAVJETOVANJA PRIMJENE ELEKTROTEHNIKE U INDUSTRIJI

— Podržava se nastojanje naše elektroindustrije u vezi s razvojem i proizvodnjom tvornički izrađenih mikronaponskih sklopnih blokova u kojima su primijenjene standardizirane funkcionalne jedinice.

— Predlaže se da proizvođači kabela proizvode i petožilne kabele s jednim žutozelenim vodičem presjeka do 16 mm².

— Zbog jednostavnosti projektiranja, izgradnje i održavanja kao i relativno niske cijene podržava se primjena vanjskih transformatorskih stanica u industriji, pri čemu treba imati na umu štetan utjecaj okoline (plinova, pare, aerosoli soli i prašine) na postrojenje.

—Treba ujediniti sve prijedloge iznesene na Savjetovanju za izmjenu Tehničkih propisa za elektroenergetska postrojenja u industriji i podnijeti prijedlog nadležnom organu za inovaciju.

— Prilikom izlaganja niza referata donesen je i niz zaključaka kojih bi se trebali pridržavati proizvođači u elektrotehničkoj industriji.

MIRJANA CRNČIĆ

PRENOŠENJE POŽARA U ELEKTROPRIVREDNIM POSTROJENJIMA PREKO KABELA IZOLIRANIH ILI ZAŠTIČENIH POLIVINILKLORIDOM

Studijski komitet za distribuciju UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique) je u povodu teških havarija zbog požara, kao i prenošenja požara putem kabela s izolacijom od PVC-a (polivinilklorida) u elektroprivrednim postrojenjima (elektranama, trafostanicama, rasklopnim stanicama) anketirao niz zemalja i analizirao kvarove. Kako je to značajno za sve koji projektiraju, grade i održavaju elektroprivredna postrojenja s velikim brojem kabela, to u najkraćim crtama dajemo rezultate ankete i izvještaj studijske grupe.

Anketa je izvršena za 10-godišnje razdoblje, od 1963. do 1973. godine. Da ne bude preopsežna, ograničena je na štete od požara iznad 50 000 USA $. Anketirano je 19 zemalja (evropskog zajedničkog tržišta), od kojih je 15 odgovorilo. U 7 zemalja bilo je 10 takvih požara koji su se proširili putem unutrašnje kabelske mreže.

Potrebno je posebno istaknuti da ni u jednom slučaju do požara nije došlo na kabelima ili kabelskim postrojenjima. Požar se samo preko kabela dalje proširio u prostorije gdje prethodno nije bilo požara i tamo izazvao štetu uništivši uređaje.

Jedan od glavnih razloga požara jesu propusti službujućeg osoblja i podmetnuti požari u neposrednoj blizini kabela. Kada kabelski prolazi iz prostorije u prostoriju kroz zid ili kroz stropove nisu bili zatvoreni, gorenjem kabela prenio se požar u susjedne prostorije, pa je tako došlo do oštećenja ili uništenja opreme u tim prostorijama. Samo jednom došlo je do uništenja opreme (daljinsko upravljanje) u početnom požaru u susjednoj prostoriji kada su svi prolazi kroz zid i strop bili zabrtvljeni staklenom vunom.

Osim izravnih šteta od vatre, izgaranjem PVC-a oslobađa se HCl, koji s vodom (u zraku) stvara vrlo agresivnu klorovodičnu kiselinu, pa tako dolazi do sekundarnih oštećenja svih metalnih dijelova u prostoriji. Brtvljenje kabelskih otvora staklenom vunom nije se pokazalo dovoljnim, tj. nije spriječilo prodiranje klorovodične kiseline u susjedne prostorije, pa je tako i u tim prostorijama došlo do oštećenja. U pravilu je do oštećenja došlo uvijek kada kabelski kanali nisu na prolazima bili ispunjeni šljunkom, a prolazi osim termičke izolacije (staklena vuna) još i zažbukani nekom žbukom.

Kako se kod izgaranja PVC-a, koji sadrži klor, stvaraju otrovni plinovi i kiseline, važno je istaknuti da ni kod jednog požara nije došlo do trovanja ljudi.

Na upit koje kabele više ne upotrebljavaju u energetskim postrojenjima, odgovoreno je da za energetske kabele više ne ugrađuju kabele izolirane papirom, gumom ili butil-gumom s plaštevima od olova, aluminija, jute i PVC-a. Kod signalnih kabela više ne upotrebljavaju kabele izolirane papirom, a jedva da se negdje još upotrebljava guma ili butil-guma s plaštevima iz olova, PVC-a ili PE. Na svaki način, napuštanje nekih kabelskih vrsta nije vezano s opasnošću paljenja kabela, odnosno prenošenja požara putem kabela.

Za potrebe energetike i signalizacije normalno se upotrebljavaju kabeli s PVC izolacijom, isto kao i PE i UPE. U iznimnim slučajevima upotrijebljeni su kabeli sa silikonskom izolacijom. U većini zemalja upotrebljavaju se kabeli s vanjskim plaštom od PVC-a, samo u jednom postrojenju je vanjski plašt od staklene vune. Na svaki način, nigdje se ne zahtijeva kao plašt kabela neki materijal koji nije upaljiv. Kabeli izolirani krutim dielektricima u pravilu su bez zaštitne armature.

U pravilu se ne rade uzdužne izolacije između kabela u kabelskim kanalima i tunelima, osim u specifičnim slučajevima. U Švedskoj i SR Njemačkoj odvajaju izolacijom važne strujne krugove u nuklearnim elektranama, u Poljskoj kod elektrana iznad 200 MVA, u Irskoj ako se radi o visoko-

naponskom (> 65 kV) uljnom kabelu. Neka poduzeća razdvajaju energetske kabele od signalnih.

Poprečna termička izolacija sa slojem šljunka u kabelskim kanalima izvodi se u svim zemljama: u Velikoj Britaniji svakih 50 m; u SR Njemačkoj svakih 80—100 m; u Mađarskoj svakih 150 m, i to svugdje na krajevima ugroženih prostora i između pojedinih dijelova građevine.

Prolazi iz prostorije u prostoriju kroz zid ili strop zazidani su vatrostalnim materijalom — žbukom, betonom s dodatkom perlita, azbesta, staklene i mineralne vune. Zidovi nisu nigdje zaštićeni od djelovanja HCl.

U većini zemalja, u pojedinim prostorijama u kojima su položeni PVC-kabeli ugrađeni su uređaji za dojavu požara. Najčešće je to slučaj u prostorijama s puno položenih kabela, komandama, uklopnicama, prostorijama s elektronskim uređajima, kao i prostorijama uz njih.

Uređaje za dojavu požara u prostorijama u kojima su položeni PVC-kabeli ugradili su u Britaniji u svim elektranama, u Njemačkoj u 3, a u Belgiji u 1 postrojenju. Obično su to ionski dojavljači i dojavljivači plina. U Velikoj Britaniji, Švedskoj, a djelomično i u Belgiji, ugrađuju dojavljivače požara na principu infracrvenih zraka. Temperaturni dojavljivači se ugrađuju u Belgiji, Velikoj Britaniji, Švedskoj i nekim njemačkim postrojenjima. Njemačka, belgijska i britanska poduzeća ugrađuju HCl-detektore. Ponekad su ti detektori u jednolikim razmacima postavljeni na kabele, a nekad su PVC-kabeli u cijevi.

U britanskim, irskim i mađarskim postrojenjima u slučaju požara PVC-a ispumpavaju dim i plin iz svih prostorija; u drugim zemljama ventiliraju u slučaju požara samo važne prostorije, npr. prostorije za upravljanje, hodnike i prostorije kroz koje se mora proći da se dođe u te važne prostorije.

Većina postrojenja ima uređaje za gašenje požara, barem u prostorijama važnim za pogon, ili tamo gdje se nalazi veći broj kabela.

U većem broju postrojenja uređaji za gašenje uključuju se ručno. U britanskim, trima njemačkim i jednom belgijskom postrojenju uređaji za gašenje se uključuju automatski, putem temperaturnih, ionskih ili dimnih detektora. Detektori se ispituju u određenim rokovima, od jednog mjeseca do jedne godine, već prema zemlji i poduzeću. Isto tako se ispituje ispravnost čitavog uređaja plinom ili dimom.

Osim toga, ugrađen je veći broj ručnih aparata za gašenje sa sredstvom za gašenje CO_2, pjenom, prahom i sličnim. Svi aparati za gašenje, ručni i automatski, redovito se ispituju (od 6 mjeseci do 2 godine), u pravilu vaganjem ili pregledom na izgled.

Iz materijala koje je dobila studijska grupa UNIPEDE mogu se izvesti neki zaključci.

Opasnost od upotrebe kabela izoliranih PVC-om ili s plaštom od PVC-a nije tako velika da se u elektroprivrednim objektima ne bi upotrebljavali bilo kao energetski, bilo kao signalni kabeli. Isto tako nije potrebno štititi zidove i stropove zgrade od djelovanja HCl. Opravdana je ugradnja uređaja za automatsko gašenje požara putem odgovarajućih detektora.

Dobrim se pokazalo zatvaranje kabelskih propusta u zidovima ili stropu prilikom prijelaza iz prostorije u prostoriju. Na taj se način sigurno smanjuje djelovanje vatre u prostorijama kraj kojih je požar nastao, a prenosi se kabelom. Takvo brtvljenje smanjuje i štete od stvorenog HCl.

Iz upitnika se nije moglo zaključiti koji je materijal za to najpogodniji (azbest, staklena ili mineralna vuna). Preporučuje se tako zabrtvljene propuste ižbukati nekom žbukom.

Da se smanje štete od nastalog požara i olakša gašenje, preporučuje se izvedba uređaja za isisavanje plinova u prostorijama u kojima je položeno mnogo PVC-kabela. Naročito se to odnosi na prostorije za upravljanje.

Većina anketiranih poduzeća ugrađuje detektore za dojavu požara i uređaje za gašenje u prostorije u kojima se nalazi veći broj PVC-kabela. Potreba za time nije radi PVC-kabela, već da bi se zaštitio važan prostor u kojemu se nalazi mnogo upaljivih kabela, što se odnosi i na kabele s olovnim plaštom i papirnom izolacijom. Sve protupožarne mjere i sve mjere sigurnosti ne poduzimaju se radi PVC-om izoliranih i zaštićenih kabela. Isti bi se zaštitni uređaji izgradili da su kabeli od PE, UPE, uljnog papira ili koje druge izolacije.

B. Mr.

Svojim suradnicima
i čitateljima čestitamo
praznik rada — 1. maj!

Uredništvo

Širom svijeta

ISKORIŠTAVANJE GEOTERMALNE ENERGIJE

Nakon poskupljenja klasičnih nosilaca toplinske energije sve se veća pozornost poklanja iskorištenju geotermalne energije. Ta se toplina uz razmjerno manje investicije može iskoristiti za zagrijavanje prostorija, u poljoprivredi (staklenici), nekim industrijama i za termalna kupališta. S dugoročnog stajališta geotermalna energija morala bi postati važan izvor za pogon termoenergana i na tome se već znatno radi. Tako je u 1975. godini u svijetu bilo na bazi geotermalne energije proizvedeno 1265 MWh električne energije, od toga u SAD 520 MWh, Italiji 420 MWh, Novom Zelandu 190 MWh, Meksiku 75 MWh, Japanu 70 MWh, Islandu 3 MWh itd.

Treba, međutim, istaći da se korištenje geotermalne energije u termoenerganama može ekonomski i tehnički provesti samo ako su u pitanju visoke temperature, tj. iznad 160 °C, što se postiže tek kod bušotina dubljih od 3000 metara. S obzirom na te dubine, istražna bušenja na geotermalnu energiju u mnogo slučajeva ista su s dubokim bušenjem na naftu, pa je u tom slučaju rizik podijeljen. (Erdöl-dienst, 30. XII 1976)

V. B.

PERSPEKTIVNA POTROŠNJA ENERGIJE U AUSTRIJI

Prema novim ocjenama, a na temelju kretanja privredne aktivnosti u zadnjim godinama, računa se da će godišnja potrošnja energije do 1990. godine rasti godišnje do 4%, tj. nešto slabije nego prema dosadašnjim prognozama. Slabiji rast potrošnje energije, kao i opozicije prema gradnji nuklearnih termoenergana uvjetovat će da će udio električne energije proizvedene na tim energanama biti ne 13%, nego 8%.

Široka potrošnja će se i nadalje sve više orijentirati na električnu energiju, zemni plin i ulje za loženje.

Predviđa se da će udio uvozne energije u ukupnoj potrošnji porasti od sadašnjih 60% na 80%. (Erdöl-dienst, 4. I 1977).

V. B.

UVOZ PRIRODNOG PLINA IZ ALŽIRA U ITALIJU

Projekt da se prirodni plin iz Alžira doprema u Italiju plinovodom položenim na dno Sredozemnog mora doveden je u ozbiljnu krizu, jer se alžirski Sonatrach i talijanski ENI s vladom Tunisa nisu mogli dogovoriti o uvjetima tranzitiranja plina preko teritorije Tunisa. Stoga je od vlade Alžira zatraženo odobrenje da se pristupi izradi projekta o gradnji instalacije za ukapljivanje i o transportu prirodnog plina iz Alžirske luke Skikda do Italije tankerima u ukapljenom stanju.

Prema svojedobno zaključenom ugovoru, Alžir će Italiji počevši od 1982. godine u toku 20 godina isporučivati godišnje 8,5 milijarda kubičnih metara prirodnog plina. (Erdöl-dienst, 4. I 1977)

V. B.

PRIMJENA SOLARNE ENERGIJE U SAD

U planu je da sveučilišni centar Trinity kod San Antonija (Texas) 75% svojih potreba za toplinskom energijom pokriva primjenom Sunčeve energije. U tu će se svrhu utrošiti 1,7 milijuna dolara i instalirati na krovove 1600 kolektora za akumuliranje Sunčeve topline. Svaki kolektor bio bi dug tri metra i širok 30 cm s ugrađenim sistemom leća i posuda s vodom. Zagrijana voda može prema potrebi služiti za centralno grijanje prostorija, može se izravno koristiti ili se uskladištuje, pa ljeti, preko apsorbera, indirektno služi u sistemu kondicioniranja zraka. (Energy International, XII 1976)

V. B.

ODGOĐENA GRADNJA NUKLEARNIH TERMOELEKTRANA U SR NJEMAČKOJ

Vlada pokrajine Westfalen zabranila je gradnju nuklearnih termoenergana sve dok se ne riješi pitanje nuklearnih otpadaka, što je odgodilo planiranu gradnju novih nuklearnih termoenergana u toj pokrajini bar za pet godina.

U toj pokrajini nalaze se četiri od ukupno trinaest nuklearnih termoenergana u SR Njemačkoj. (Erdöl und Kohle, XII, 1976)

V. B.

POTROŠNJA ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ

Potrošnja primarnih nosilaca energije u SR Njemačkoj nakon tendencije slabljenja u 1975. godini već u 1976. godini porasla je na 369 milijuna tona uvjetnog ugljena, te se približila potrošnji u 1973. godini, kad je iznosila 378,5 milijuna tona uvjetnog ugljena. Računajući s općim porastom privredne aktivnosti, ocjenjuje se da će ukupna potrošnja energije u 1985. godini doseći 480 milijuna tona.

Struktura potrošnje energije prema nosiocima iznosi (u milijunima tona uvjetnog ugljena):

Energija	1970.	1973.	1975.	1976. ocjena	1980. plan	1985. plan
Kameni uglj.	97,3	84,2	66,5	71,0	69,0	70,0
Mrki ugljen	30,6	33,1	34,4	36,0	33,0	32,0
Nafta	178,6	208,9	181,0	195,0	207,0	218,0
Prirodni plin	18,6	38,6	47,6	52,0	72,0	87,0
Nukle. energ.	1,0	3,5	7,0	8,0	24,0	62,0
Ostalo	11,0	10,2	9,5	7,0	10,0	11,0
U k u p n o	337,1	378,5	346,0	369,0	415,0	480,0

Kako se vidi, prema situaciji u 1976. godini potrošnja kamenog ugljena do 1985. godine ostala bi nepromijenjena — oko 70 milijuna tona, potrošnja mrkog ugljena bi pala sa 4 milijuna tona na 32 milijuna tona, dok bi potrošnja nafte porasla na 218 milijuna tona uvjetnog ugljena prema 195 milijuna tona uvjetnog ugljena u 1976. godini na 87 milijuna tona u 1985. godini, dok bi potrošnja nuklearne energije porasla za gotovo osam puta na 62 milijuna tona uvjetnog ugljena. Potrošnja ostalih nosilaca primarne energije u 1985. godini opet bi dosegla 11 milijuna tona, kao što je bilo u 1970. godini. (Erdöl und Kohle, XII, 1976)

V. B.

CIJENA GORIVA U INDUSTRIJI U VELIKOJ BRITANIJI

U posljednje tri godine goriva u industriji su poskupila ovako:

Godina	Ugljen	Teško ulje za loženje	Plinsko ulje	Plin pensi za termiju	Elektr. energija pensi za kwh
	funte za tonu			1 Th = 25210 kcal	
Sredinom 1974.	9,1	33,4	50,6	2,78	0,854
Sredinom 1975.	15,1	38,2	54,2	4,15	1,178
Sredinom 1976.	16,5	41,5	62,1	5,64	1,444

Kako se vidi, od sredine 1974. god. ugljen je poskupio za 80%, ulje za loženje za oko 25%, plin za dvostruko, a električna energija za 70%. (Energy Trends, IX, 1976)

V. B.

TEKUĆA GORIVA IZ UGLJENA U SAD

Administracija za istraživanje i razvoj energije (ERDA) investirat će 178 milijuna dolara za izgradnju uređaja za ukapljivanje ugljena u mjestu Cartlettsburg Kentucky. Po procesu koji je razvio Hydrocarbon Research, ugljena kaša dolazi u direktan dodir s vodikom, a dnevno će se prerađivati 600 tona ugljena i dobivati 300 m^3 tekućih goriva. To je za sada najveće poluindustrijsko postrojenje za ispitivanje prerade ugljena u tekuća goriva. (Petroleum Economist, XII, 1976)

V. B.

NIZOZEMSKA OBUSTAVLJA IZVOZ PRIRODNOG PLINA

Posljednje procjene rezervi prirodnog plina pokazale su da će 1995. godine Nizozemska raspolagati sa samo četvrtinom sadašnjih rezervi, pa se do tada računa s potpunom obustavom izvoza. Sadašnji izvoz prirodnog plina iznosi oko 50 milijarda m^3, a do 1978. godine povećat će se još za 2 mili-

jarde m³. Nadalje, smatra se da će se sadašnje isporuke prirodnog plina domaćinstvima i obrtu u zemlji zadržati i dalje na 25 milijardi m³, dok bi se isporuke industriji, koje sada dosižu 58 milijarda m³, trebale nakon 1994. godine obustaviti. Nakon 1997. godine ni jedna termoenergana neće smjeti trošiti prirodni plin, dok se kod gradnje novih termoenergana neće uzimati eventualno alternativno alimentiranje prirodnim plinom. (Kohle und Heizöl, XI, 1976)

V. B.

NUKLEARNE TERMOENERGANE U ISTOČNOJ EVROPI

Kapaciteti nuklearnih termoenergana u zemljama Istočne Evrope iznose sada 7500 MW, a do 1980. godine povećat će se na oko 30 000 MW. Pojedine će zemlje raspolagati sa slijedećim kapacitetima (u MW):

Država	1970.	1975.	1980.
Bugarska	—	880	2 340
Čehoslovačka	—	150	1 910
Mađarska	—	—	1 760
Njemačka DR	80	960	4 480
SSSR	920	5 500	19000—21000
Ukupno	1 000	7 490	29490—31490

(Petroleum Economist, XII, 1974)

V. B.

POTROŠNJA ENERGIJE U SAD

U slijedećih pet godina potrošnja energije u SAD rast će sa stopom od samo 2 do 3% prema stopi od 5% u razdoblju od 1965. do 1970. godine. Naročito će slabija stopa biti u potrošnji nafte, dok će se ponuda prirodnog plina drastično smanjiti. Nadalje se računa da će potrošnja ugljena rasti godišnje za 5% prema 2% od 1965. do 1970. godine. Oko 1990. godine proizvodnja energije na nuklearnim termoenerganama činit će 50% od ukupne proizvodnje električne energije. Uvoz nafte doseći će svoj maksimum oko 1985. godine sa 1,75 milijuna m³ dnevno. U 1990. godini uvoz nafte pokrivat će 20% ukupnih potreba energije. (Kohle und Heizöl, XI, 1976)

V. B.

INVESTICIJE U ENERGETIKU U SR NJEMAČKOJ

Iznosit će u 1977. godini prema predviđanju 20 milijardi maraka. Najveći dio utrošit će se u elektroprivredi — oko 12 milijardi maraka, u rudnike ugljena i u plinsku privredu uložit će se po 2 milijarde maraka, a investicije u naftnoj industriji iznosit će oko jedne milijarde maraka. Preostale 3 milijarde maraka utrošit će se u nespecificirane objekte vezane za razvoj energetike. (Erdöl — Erdgas — Zeitschrift, XII, 1976)

V. B.

STRUKTURA ZAGRIJAVANJA STANOVA U SR NJEMAČKOJ

Od 1960. do 1975. godine broj stanova u SR Njemačkoj porastao je od 16,0 milijuna na 23,4 milijuna u 1975. godini, a do 1980. godine na 24,3 milijuna. Struktura zagrijavanja je ova (u milijunima):

Strukture grijanja	1960.	1965.	1970.	1975.	1980.
Individualne peći	13,92	14,06	12,27	9,36	8,74
na lož. krutim gor.	12,16	11,02	7,69	3,51	1,70
na lož. uljem za lož.	1,60	2,28	3,54	3,28	2,92
na loženje plinom	0.16	0,38	0,62	1,17	1,94
na elektr. energiju	—	0,38	0,42	1,40	2,18
Centralna grijanja					
na kruta goriva	1,12	1,90	1,25	0,70	0,50
na ulje za loženje	0,80	2,66	5,83	8,90	9,48
na plin	—	0,19	0,62	2,57	3,64
s daljin. toplinom	0,16	0,19	0,83	1,87	1,94
Ukupan broj stanova	16,00	19,00	20,80	23,40	24,30

(Kohle und Heizöl, XII, 1976)

380 kV PRIJELAZ ELBE 2

Da bi se povezale nove TE u gradnji na ušću Elbe (Schleswig-Holstein) s 380 kV mrežom SR Njemačke, odnosno s rasklopnom stanicom Dollern na drugoj strani rijeke, Nord West deutsche Kraftwerk AG gradi prijelaz preko Elbe 2. Ujedno će se sa tim novim 380 kV vodom povezati skandinavski i srednjoevropski energetski sistemi.

Prijelaz je projektiran kraj mjesta Stade, oko 1,5 km uzvodno od 220 kV prijelaza Elbe 1 koji je u pogonu od 1962. godine, i to također preko otoka Lübesand. Širina Elbe na tom mjestu iznosi oko 1 km.

Raspon između križišnih stupova iznosi približno 1,2 km, a udaljenost vodiča od razine rijeke 80 m; tako je omogućen prijelaz i bušećih tornjeva iz hamburških brodogradilišta na otvoreno more.

Križišni stupovi su visoki 227 m (77 m su viši od berlinskog TV-tornja), a svaki je težak 1000 tona. Rasteretni stupovi visine 67, odnosno 76 m, teški su po 250 tona, a udaljeni su od ušća rijeke oko 1 km.

Stupove je trebalo dimenzionirati na olujne vjetrove koji su česti na obali Sjevernog mora. Pritisak vjetra samo na vodiče iznosi 700 Mp, a površina vodiča izložena vjetru 3000 m².

Kako je križanje u plavnom području Elbe i mekom tlu, temelji se sastoje od više tisuća metara šipova i oko 4000 m³ armiranog betona.

Stupovi su projektirani za 4 × 380 kV voda. Ukupni presjek vodiča iznosi po fazi 2200 mm², a ima 4 vodiča u snopu. Vodiči su AČ, s presjekom Al 564 mm² i Če 72 mm². Svih 12 vodiča montirano je na 70 m dugoj prečki. To je za sada najveći raspon vodiča u snopu u Evropi.

Ukupna maksimalna prijenosna moć vodova iznosi 12 000 MW. Računa se da će biti u pogonu polovicom 1978. godine.

Prema E. W. 23/1976.

B. MR.

POLIMERNI KONSTRUKCIJSKI MATERIJALI U STROJOGRADNJI I IZRADI APARATA

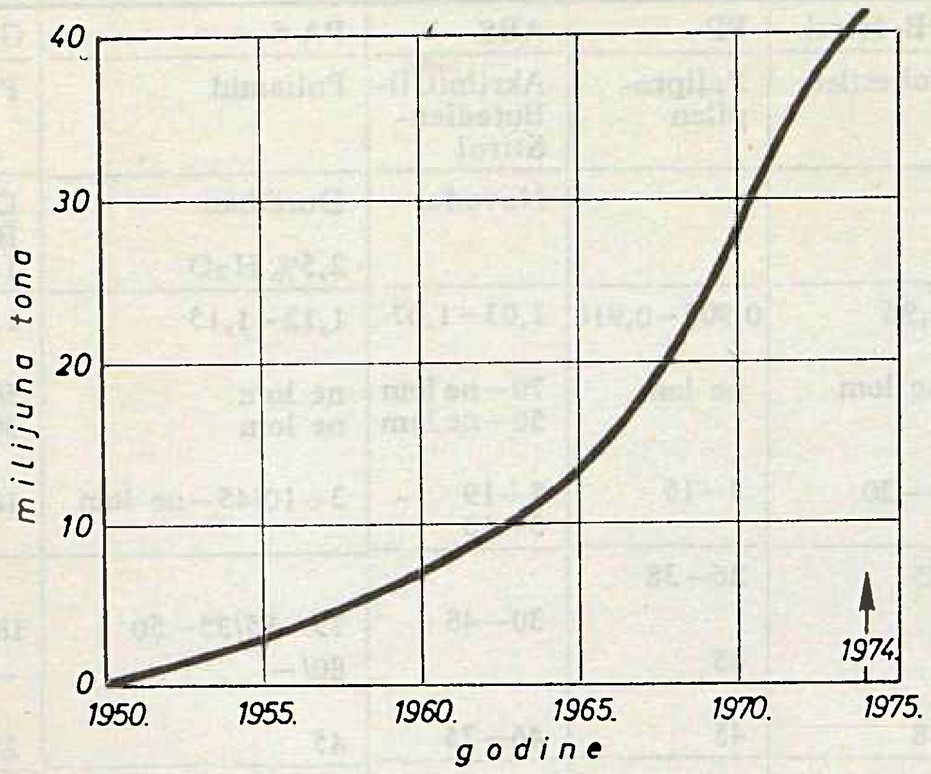
U ovom će članku biti opisane mnogostruke mogućnosti primjene plastičnih masa na navedenim područjima. Naročito velike rezerve postoje u mogućnostima korištenja tih masa kao konstrukcijskih materijala zbog njihove primjenjivosti. Mogućnosti kombiniranja klasičnih konstrukcijskih materijala s polimernim daju često optimalna rješenja.

Proizvodnja i potrošnja polimernih konstrukcijskih materijala dosegle su u posljednjih 25 godina razvoj koji se kako u tehnološkom i privrednom pogledu, tako i u pogledu tehničke primjenjivosti može nazvati revolucionarnim. Razvojni trend svjetske proizvodnje polimernih konstrukcijskih materijala od 1950. do 1974. godine prikazan je na slici 1. Iz slike 2. mogu se vidjeti proizvodnja i potrošnja u 1974. godini, ekonomsko-geografska raspodjela u svijetu, zapadnoj Evropi i Saveznoj Republici Njemačkoj, kao i potrošnja »per capita« s raspodjelom po područjima primjene izraženom u postocima. Prikazani podaci predstavljaju, međutim, samo orijentacijske vrijednosti koje mogu dati tek jedan opći pregled tržišta.

Cjelovit prikaz širokih mogućnosti primjene raznih polimernih konstrukcijskih materijala u strojogradnji i izradi aparata sigurno bi bio zanimljiv pothvat. Međutim, u ovome slučaju treba na odabranim primjerima, dakle na funkcionalnim dijelovima koji su prema postavljenim izvanredno strogim zahtjevima bili uspješno primjenjivani u praksi, upozoriti na dalje poticaje novim primjenama polimernih konstrukcijskih materijala. Pri tome je težište na visokoj tehničkoj vrijednosti polimernih konstrukcijskih materijala koji se općenito nazivaju konstrukcijskim materijalima. Ti su materijali već odavno iskušani u praksi u najrazličitijim područjima primjene.

Kod primjene polimernih konstrukcijskih materijala kao konstrukcijskih elemenata osim mehaničkih karakteristika nosivosti i karakterističnih vrijednosti materijala, odlučan je također i utjecaj temperature, kemikalija, okolice, kao i dugotrajna postojanost. Tako modul elasticiteta nekih polimernih konstrukcijskih materijala može bitno ovisiti o radnoj temperaturi, odnosno upijanju vlage (1).

Važne karakteristične fizikalne veličine i praktična svojstva primjene nekih polimernih konstrukcijskih materijala, u usporedbi s klasičnim konstrukcijskim materijalima, prikazane su na sl. 3 (str. 132, 133). U biti moraju postojati razlike između kratkotrajnih i dugotrajnih karakteristika



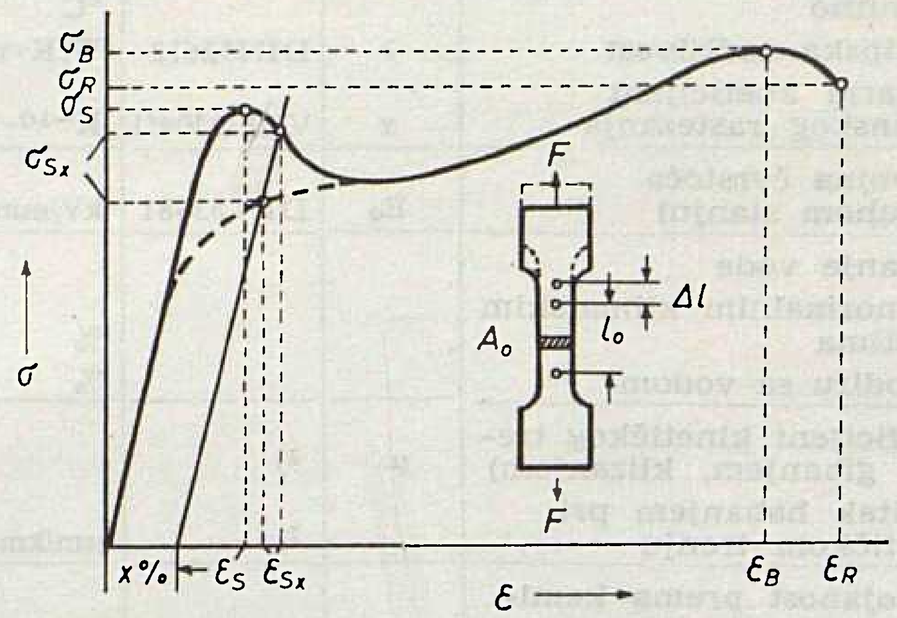
Sl. 1. Svjetska proizvodnja polimernih konstrukcijskih materijala u milijunima tona.

Polimerni konstrukcijski materijali 1974.		Svijet	Zapadna Evropa	Savezna Republika Njemačka
Proizvodnja	t	41 000 000	17 000 000	6 400 000
Potrošnja	t	41 000 000	14 700 000	4 700 000
Potrošnja po glavi	kg/god.	11	54,1	76,6
Područja primjene	%			
Građevinarstvo		Ova raspodjela u postocima po područjima primjene, u grubim vrijednostima približno odgovara onoj u Saveznoj Republici Njemačkoj		25
Pakovanje / Transport				20
Elektroindustrija				15
Izgradnja vozila / Promet				5
Poljoprivreda				5
Strojevi / Aparati				5
Pokućstvo				5
Potrošna roba				15
Ostalo				5

Sl. 2. Polimerni konstrukcijski materijal u 1974. godini.

polimernih konstrukcijskih materijala. Kratkotrajna svojstva su prikazana na sl. 4 (npr. pokus rastezne čvrstoće po DIN-u 53455). Prikaz dugotrajnih svojstava može se vrlo uočljivo dati pomoću izokronih dijagrama naprezanje — istezanje. Parametri su pri tome radna temperatura i vrijeme opterećenja. Slika 5. prikazuje izokrone linije jednog PA6, Durethan BKV 30 koji je pojačan 30%-tnim staklenim vlaknom.

Pri rješavanju problema polimernih konstrukcijskih materijala od presudnog je značenja poznavanje svojstava materijala. Pravilan izbor materijala, oblikovanje i obrada dijelova iz podobnog materijala odlučuju o sigurnoj funkciji u primjeni. (3). Sada ćemo razjasniti na slijedećim primjerima »rješavanje pojedinih problema pomoću polimernih konstrukcijskih materijala«:



Sl. 3. Svojstva konstrukcijskih materijala

Profilni valjak pisaćih strojeva — slika 6. i 7.

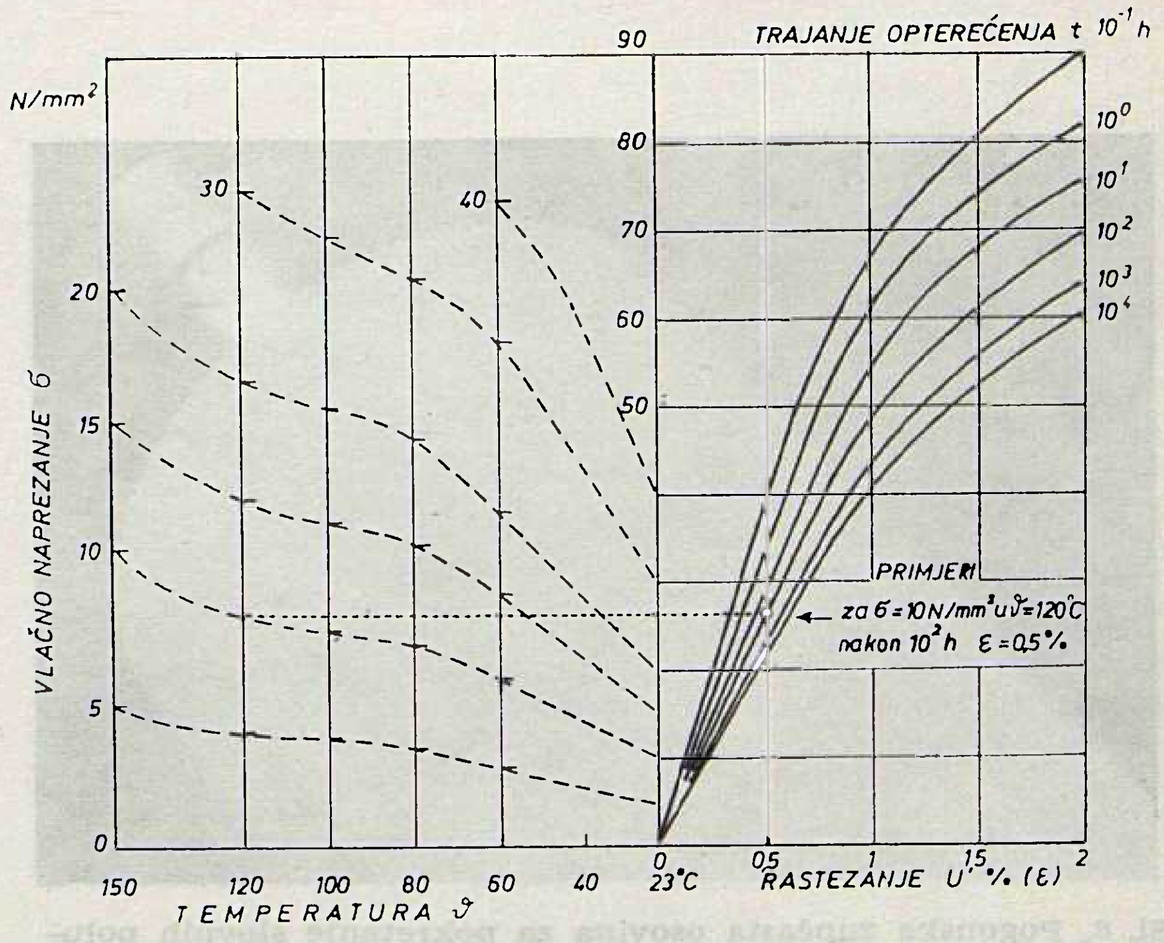
Najstroži se zahtjevi postavljaju za pogonske elemente pisaćih strojeva. Upravo se na ovom primjeru mogu vrlo dobro prikazati krajnje mogućnosti opterećenja polimernih konstrukcijskih materijala i često poboljšanih funkcionalnih svojstava koja proistječu iz toga, u usporedbi s običnim materijalima.

Pogonski element, valjak od čelika, koji je do sada bio ugrađivan, valjalo bi radi funkcionalnosti i ekonomičnosti zamijeniti poboljšanom konstrukcijom novih pisaćih strojeva Fa. Olympia Werke A. G., Wilhelmshaven.

Zahtjevi postavljeni novoj pogonskoj koncepciji: 6 milijuna promjena opterećenja pri većoj brzini tipkanja (1200 udara u min^{-1}), bešuman pogon, neosjetljivost prema uobičajenim tekućim sredstvima za čišćenje, neznatno trošenje i, ponajprije, jeftinija izrada. Rezultat: problem će biti riješen novom konstrukcijom koja je opet rezultat mogućnosti ugradnje PUR-Elastomera, Desmopan za oblaganje valjka. Nakon završene izrade postiže se težinska tolerancija ± 0,1%, što se uklapa u zahtjev visoke točnosti koncentričnosti od ± 0,05 mm kod promjera obloženog valjka od 39,47 mm ± 0,15 mm. Radi elastičnog pogona s PUR-Elastomer, Desmopanom pojednostavnjena je konstrukcija prijenosa, pri čemu je bilo moguće smanjiti za 50% broj funkcionalnih dijelova. Faktor odnosa usporedbe troškova čeličnog valjka s polimernim iznosio je 1 : 0,7.

Najblaži zahtjevi od 6 milijuna promjena opterećenja, bez usklađene funkcionalnosti, bili su premašeni s gotovo 12 milijuna. Ovo je, osim odličnih specifičnih svojstava upotrijebljenog PUR-Elastomer-Desmopana, posljedica usavršavanja profila zubaca (slika 7) (2). Fri tome je interesantno da su zbog elastičnosti materijala katkada istovremeno i 4 zupca u međusobnom zahvatu, ali s različitim prigonskim dijelovima, te u odnosu na presjek zupca primaju veće tangencijalne sile od 50 do 60 N. Mjerenja su pokazala opterećenja od 50% za prvi, 30% za drugi, 15% za treći i 5% za četvrti zubac koji se nalaze u momentu zahvata. Pomak prvog zupca iznosi 0,3 mm pri visini zupca od samo 0,4 mm.

Time je zajamčen čist zahvat obodnih krivina zubaca i veća raspodjela kod pogonskog valjka iz PUR, nasuprot krivulji zanosa kod zubaca od PA.

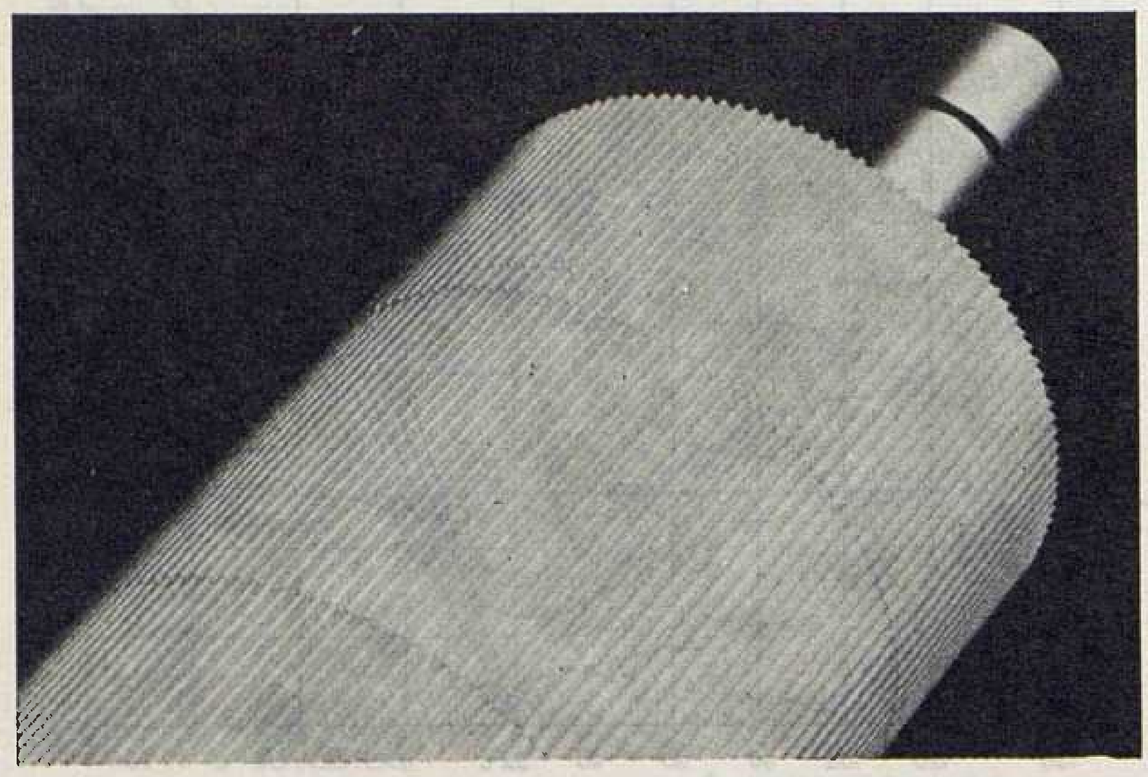


Sl. 4. Pokus vlačne čvrstoće polimernih konstrukcijskih materijala i postignute vrijednosti.

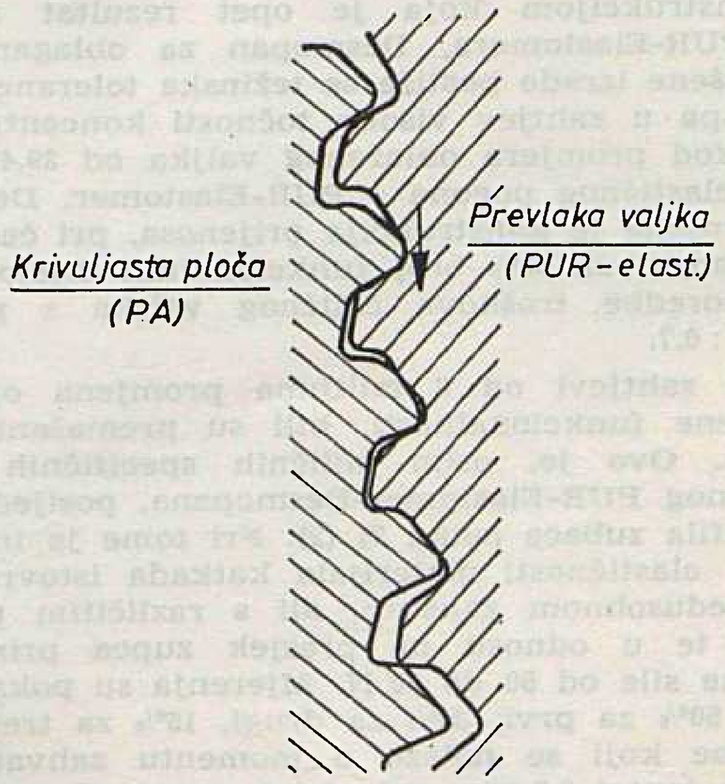
Svojstva		Propis po kojem se vrši ispitivanje	Jedinica mjere	PVC-čvrsti	PE-čvrsti	PP	ABS	PA 6	GF30—PA6
				Polivinil-klorid	Polietilen	Polipro-pilen	Akrilnitril-Butadien-Stirol	Poliamid	Poliamid 6
							Novodur	Durethan 2,5% H_2O	Durethan BKV 1,5% H_2O
Gustoća	d_R	DIN 53479	Mg/m^3	1,35—1,4	0,96	0,905—0,910	1,03—1,07	1,12—1,15	1,36
Udarna čvrstoća	a_n	DIN 53453 +23 °C	kJ/m^2	ne lom[1])	ne lom	ne lom	70—ne lom	ne lom	50/60
		−40 °C	kJ/m^2				50—ne lom	ne lom	30/40
Udarna žilavost	a_k	DIN 53453 +23 °C	kJ/m^2	2—4	5—20	3—15	5—19	3—10/45—ne lom	12/18
		−40 °C	kJ/m^2				3—10		
Vlačna čvrstoća	σ_B	DIN 53455	N/mm^2	50—65	25	26—38			
Naprezanje na istezanje	σ_S	DIN 53455	N/mm^2				30—48	75—85/35—50	180/100-125
Čvrstoća na savijanje	σ_{bB}	DIN 53452	N/mm^2			45		80/—	—/100
Granica razvlačenja kod savijanja	σ_{bF}	DIN 53452	N/mm^2	70	38	45	46—75	45	220/130
Tvrdoća određena pritiskom kugle	H	DIN 53456	N/mm^2		7—10		46—98	120/68	180/110
Modul elasticiteta	E	DIN 53457	N/mm^2	2900—3400	600—1400	1100—1300	2000—2800	2500-3200/900-1400	8500/5000
Toplinska postojanost oblika									
Bez opterećenja									
Trajno			°C	60—70	70	80	80	80—100	80—120
Trenutno			°C	70—80	100	140	95	140—160	170—200
Toplinska vodljivost	λ	DIN52612	$W/K \cdot m$	0,16	0,38—0,57	0,22	0,14	0,21	0,29
Linearni koeficijent toplinskog rastezanja	α	VDEO304/1	$K^{-1} \cdot 10^{-5}$	7—8	13	18	8,5—10,3	7—12	3—4,5
Probojna čvrstoća (u suhom stanju)	E_d	DIN 53481	kV/mm	40—50	80	65—70	37	34	38/—
Upijanje vode									
Pri normalnim klimatskim uvjetima			%	0,2	0,1	0,02	0,02	2,5	1
U dodiru sa vodom			%	2	0,1	0,02	2—5	9—11	7
Koeficijent kinetičkog trenja(gibanjem, klizanjem)	μ	[2])		0,60	0,25	0,30	0,50	0,38—0,45	
Gubitak habanjem pri kinetičkom trenju		[2])	$\mu m/km$	5,6	4,6	11	8,4	0,23	
Postojanost prema kemikalijama kod sobne temperature za dijelove koji nisu nategnuti.		[3])							
Ulja, masti				+	+	+	+	+	+
Alifatski ugljikovodici				+	+	+	(+)	+	+
Aromatski ugljikovodici				−	(+)	●	+	+	+
Razrijeđene mineralne kiseline				+	+	+	(+)	−	−
Razrijeđene lužine				(+)	+	+	+	+	+

[1]) Nije došlo do loma. [2]) Sredstvo pri trenju; umetnuto strugalo; 16Mn Cr5-najgrublje obrađen čelik 2µm; vrijeme trajanja 5 sati; pritisak 0,05 N/mm^2; brzina klizanja 0,6 m/sek; temperatura 40°C.

Sl. 2. Polimerni konstrukcijski materijali u 1974 godini



Sl. 6. Pogonska zupčasta osovina za pokretanje slovnih poluga, npr. kod pisaćih mašina. Proizvođač: Olympia Werke A.G., Wilhelmshaven. Materijal: Poliuretan-Elastomer, Desmopan.



Sl. 7. Profil zupčaste osovine (2) pogonskog valjka pisaćeg stroja. Proizvođač: Olympia Werke A.G./2940 Wilhelmshaven. Materijal: Poliuretan-Elastomer (PUR-Elast.) Desmopan.

PBTP	GF30-PBTP	PC	GF30—PC	POM	CAB	PUR-Elast.	GF30—UP	Fe	Al	Ms	Zn
Polibutilentereplatalat	Polibutilentereplatalat	Polikarbonat	Polikarbonat	Polioksimetilen	Celulozni acetobutirat	Poliuretan Elastomer	Poliester	Čelik	Aluminijski tlačni liv	Mjerenje	Cinkov tlačni lijev
Pocan	Pocan	Makrolon	Makrolon		Cellidor	Desmopan	Leguval				
1,30	1,52	1,20	1,42	1,41—1,43	1,17—1,22	1,14—1,25	1,60	7,85	2,75	8,5	7,14
ne lom	40—45	ne lom ne lom	40 40	ne lom	100—ne lom 70—ne lom	ne lom	70		40		
5	10	20—30	8	3,4—5	5—35		22		40		
50—55	110—150 200	60—65 >60 >95	90 90 145	68—70 108	18—50 24—62	25—45	80—100 140—190	600	200 180—220	450	250
110 2600—2800	190 10000	95 2000—2200	142 6000	3000—7000	46—82 800—2300	8,5—150	12500—15000	210000	70 000	90 000	94 000
100 160 0,25 13	100 170 0,25 3—4	100 135 0,2 6—7	120 140—145 0,28 2,5—3,0	85—100 150 0,29 10—14	50—90 70—100 0,2 10—12	80 100—120 0,19 18—21	<140 200 0,2 15—20	600 600 40 1,1—1,2	200 200 220 2,35	96 1,9	97 2,98
24	34	25—35	35—50	60—70	35—38	18—27	32—37				
0,22 0,45	0,19 0,40	0,19 0,36	0,13 0,25	0,3 0,8	1 2,5	0,5 1,5—2	0 0,1				
0,54 0,5		0,52—0,58 22		0,33 4,6—8,9		0,25—70					
+	+	(+)	(+)	+	+	+	+				
+	+	(+)	(+)	+	+	●	(+)				
●	●	—	—	(+)	—	●	(+)				
●	●	(+)	(+)	—	—	—	(+)				
(+)	(+)	—	—	+	—	—	(+)				

+ postojano; — nije postojano; ● uvjetno postojano; ( ) s ograničenjem

Slovna glava pisaćih strojeva — slika 8.

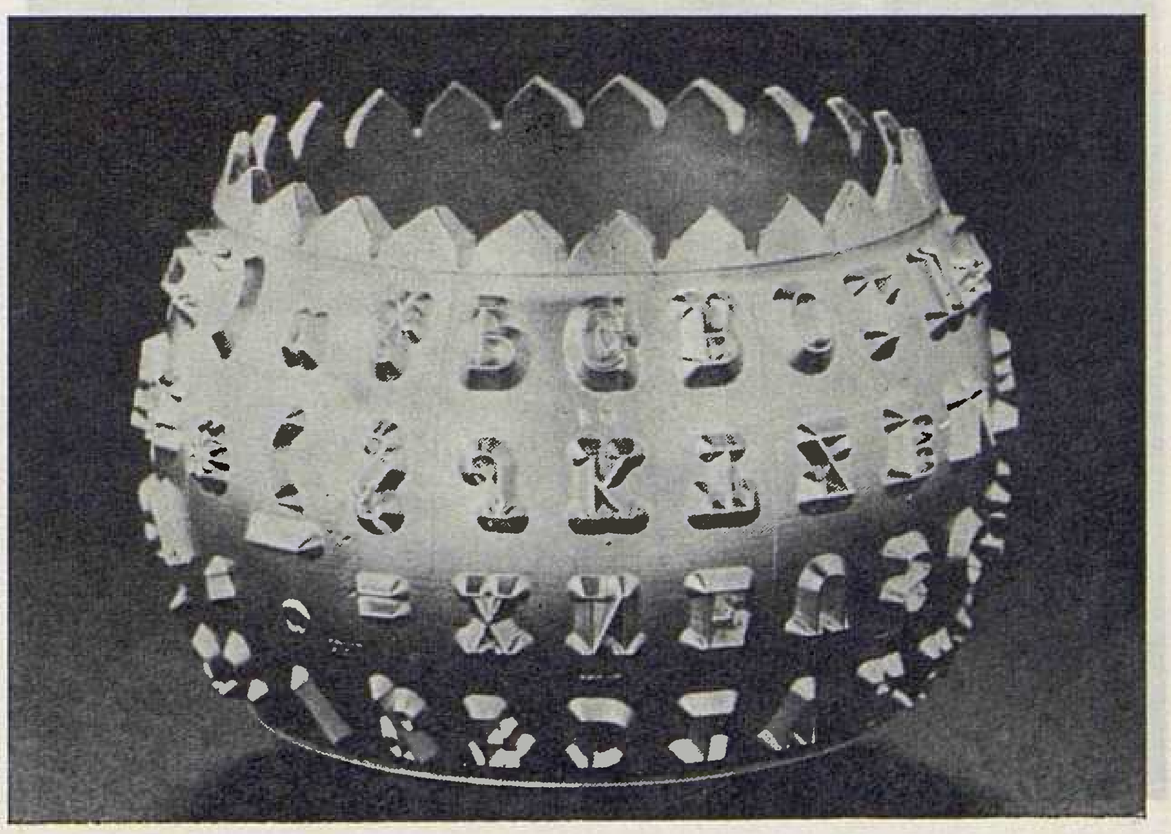
Kao i u prošlom primjeru, tako se i za »slovnu glavu« modernog pisaćeg stroja tvrtke Olympia Werke, A. G. Wilhelmshaven postavio niz zahtjeva. Ta se »slovna glava« okreće naprijed i natrag 17,5 puta u sekundi, okreće se i udara o papir.

Najmanji zahtjevi: 12 milijuna promjena opterećenja, bez krnjenja funkcije (bez trošenja i bez distorzije slike pisma), neznatna težina (smanjeni iznenadni udari i zastoji) i visoka točnost obrisa slike pisma.

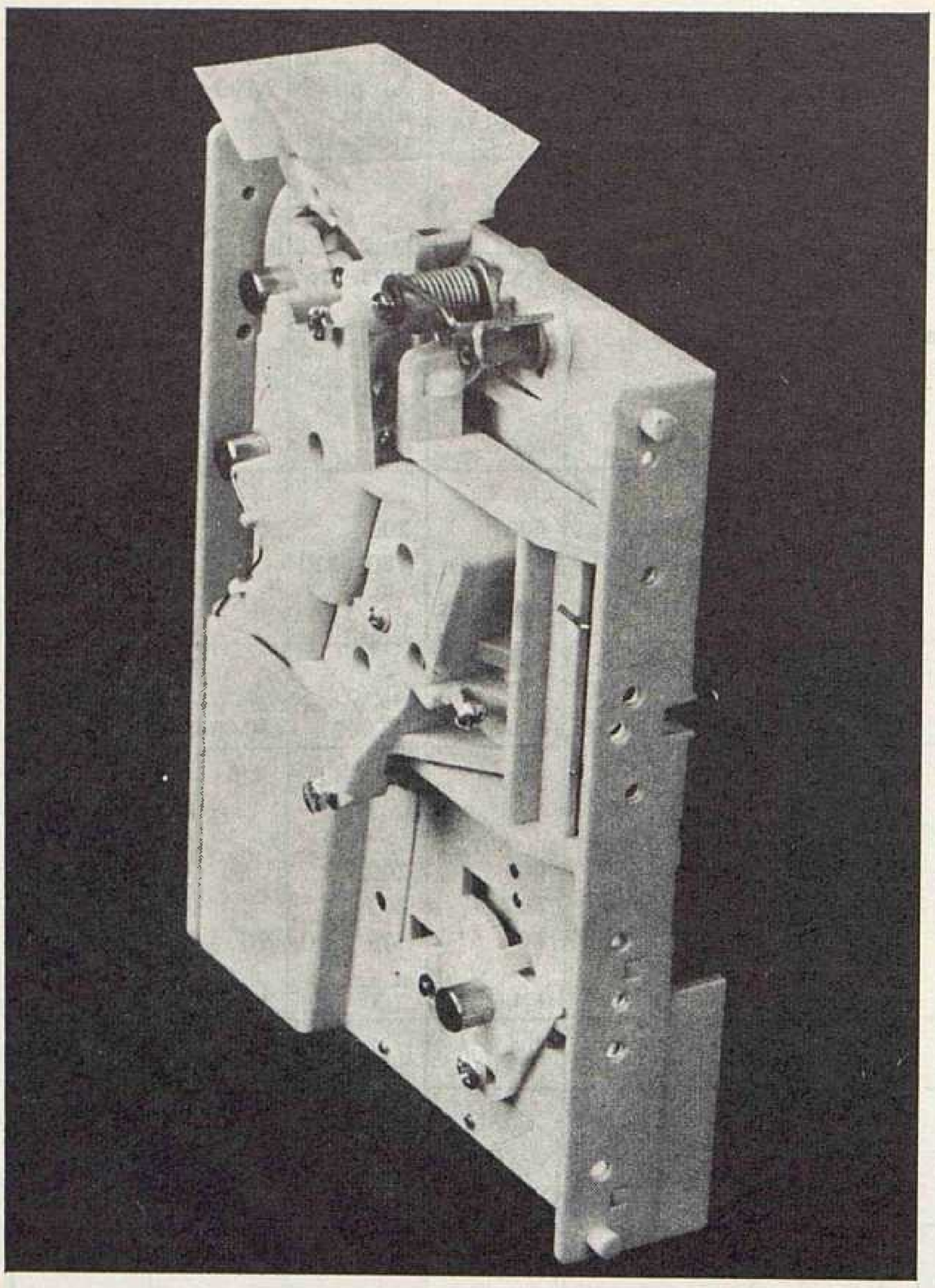
Ovdje je s uspjehom odabrana kombinacija polimernih konstrukcijskih materijala s metalom, zapravo galvanizirani ABS-Polymerisat, Novodur. Proizvodnja postaje ekonomičnom postupkom lijevanja uz naknadnu kemogalvansku metalizaciju. Proizvodni se troškovi mogu znatno sniziti postizanjem bolje funkcionalnosti, u usporedbi s nekad ugrađivanim fenolnim poliplastima.

Funkcionalni element aparata za ispitivanje kovanog novca — slika 9.

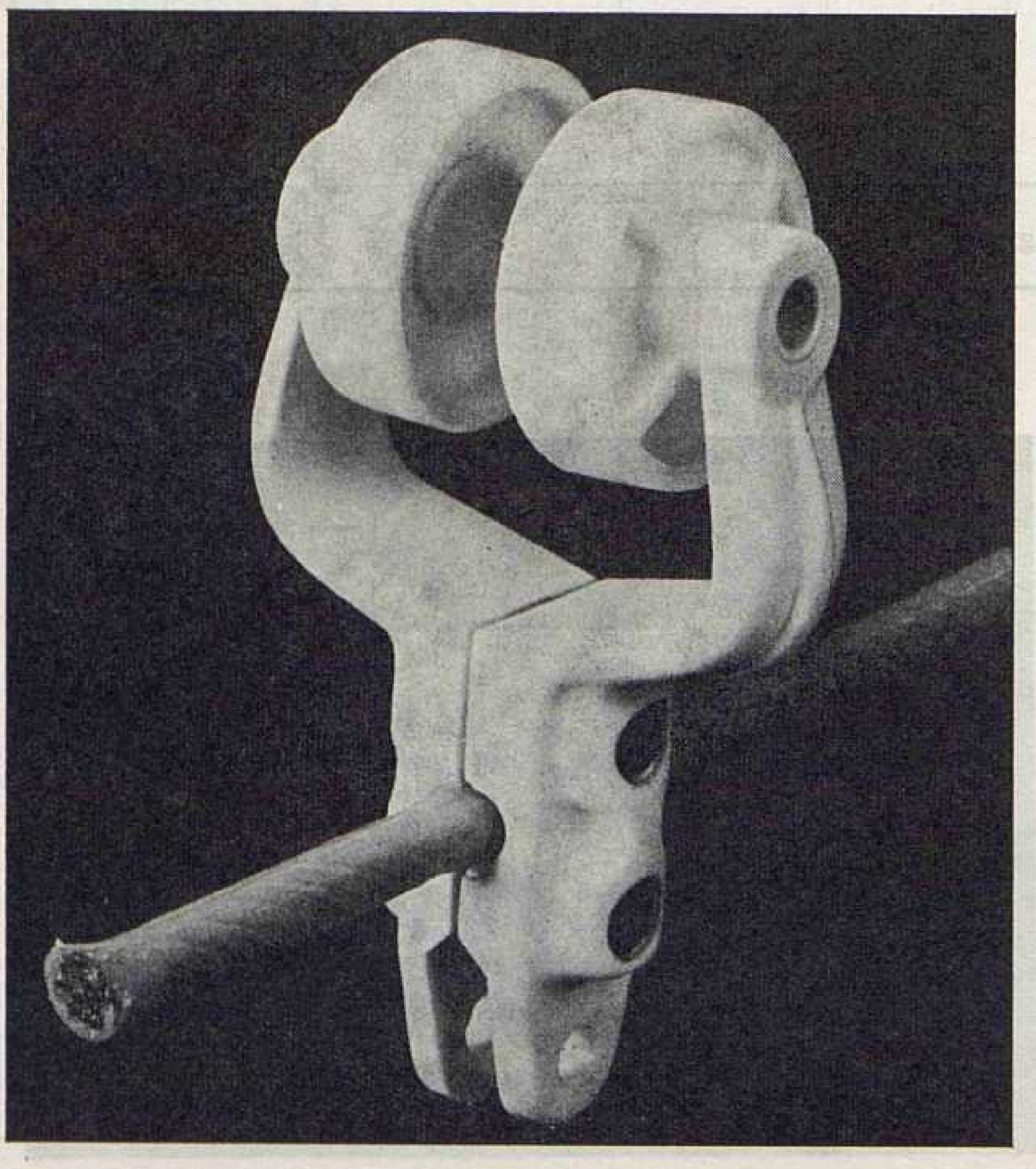
Novija izvedba aparata za ispitivanje kovanog novca u najvećoj mogućoj mjeri omogućuje odstranjivanje lažnog kovanog novca, na primjer kod robnih automata, automata



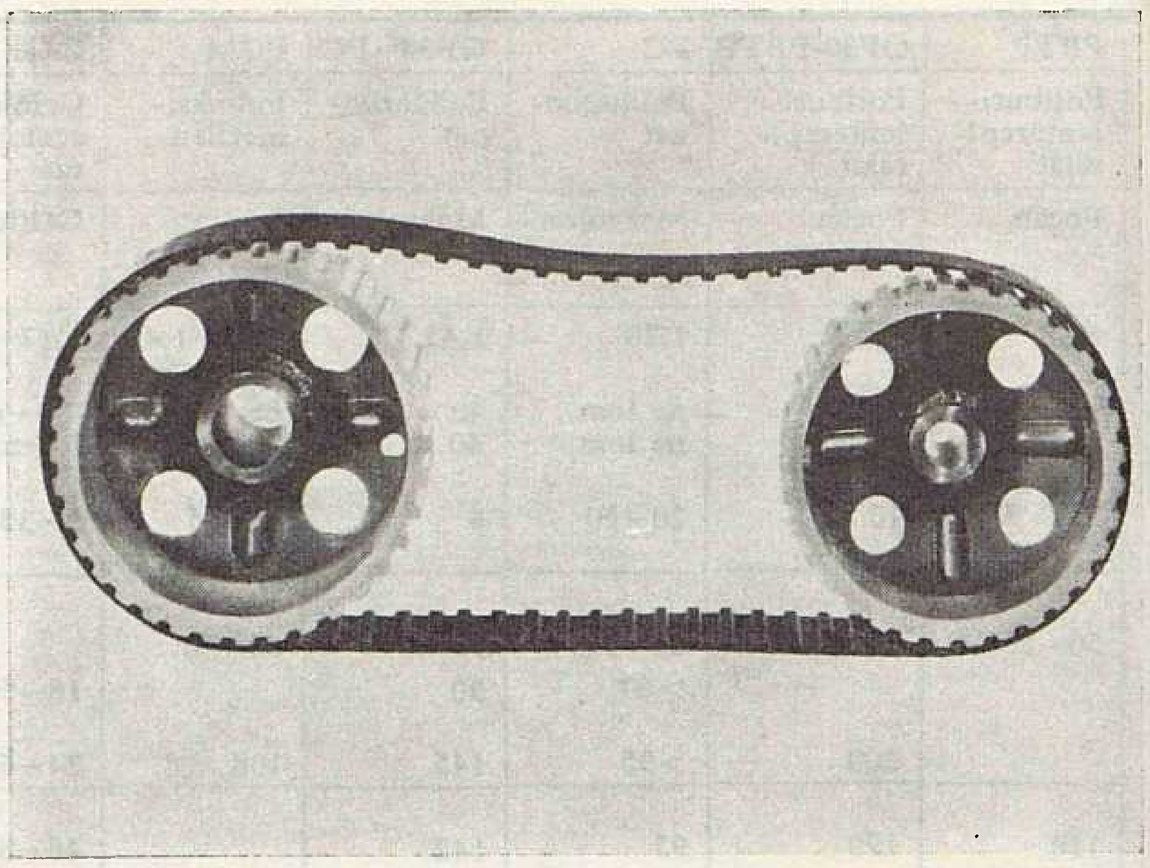
Sl. 8. Slovna glava pisaćih strojeva. Prizvođač: Olympia Werke A.G., Wilhelmshaven. Materijal: ABS *Novodur* galvaniziran (tvorn. ime).



Sl. 9. Funkcionalni dio uređaja za ispitivanje kovanog novca. Proizvođač: NSM Apparatebau GmbH, Bingen. Materijal: PA 6, pojačan staklenim vlaknom (30%), *Durethan BKV (tvorn. ime)*.



Sl. 11. Kukasti držač žičanog užeta uređaja za transport. Proizvođač: Enbi, Nuth/Niederlande. Materijal: PBTP-pojačan staklenim vlaknom (30%), *Pocan (tvorn. ime)*.



Sl. 10. Zupčasto-ravna remenica. Proizvođač: Breco, Porta Westfalica. Materijal: PUR-Elastomer, *Desmopan (tvorn. ime)*.

za igre na sreću i automata za promjenu novca. Primjenom polimernih konstrukcijskih materijala u bitnim funkcionalnim elementima za ispitivanje kovanog novca omogućena je jednostavna i sigurna konstrukcija. U usporedbi s materijalima koji su se do sada koristili, s polimernim konstrukcijskim materijalima mogu se postići mnoge funkcionalne prednosti u ovim novim konstrukcijama, uz istovremenu ekonomičnost proizvodnje. Time se postiže jednostavniji način izvedbe, tako da jedan dio može preuzeti više funkcija. Funkcionalni elementi od polimernih konstrukcijskih materijala jesu na primjer: ploče šasija, nosive ploče za magnete i kola za kovani novac. Za ugradnju pretežno u obzir dolazi PA6 Durethan BKV s jako pojačanim staklenim vlaknom. U usporedbi s metalima ima neznatnu specifičnu težinu i, ako je pojačan staklenim vlaknom, manje se troši u rukovanju, npr. pri transportu i posluživanju. Povećana sigurnost procesa ispitivanja postiže se gotovo bez posluživanja, uz izvrsnu postojanost prema kemikalijama, uz neznatne vrijednosti trenja i s čistim glatkim površinama između reljefa kovanog novca.

Zupčasto-ravna remenica za pogonske agregate — slika 10.

Pomoću zupčasto-ravne remenice iz PUR-Elastomer-Desmopana, moguć je prijenos snage bez šuma i bez klizanja. Uloženo čelično uže osigurava minimalno izduženje i kod velikih vučnih sila. Visoka točnost razmaka zubaca jamči izravan pogon i kod većih osovinskih razmaka. Odlična otpornost prema trošenju, postojanost prema uljima, mastima i mnogim otapalima, kao i prema vremenskim uvjetima, govore u prilog primjene PUR-Elastomer-Desmopan-a u ovom području.

Poseban proizvodni postupak (patentiran) dozvoljava racionalnu izradu najsloženijih širina, oblika i profila zubaca. Odgovarajućom tehnikom zavarivanja ostvarena je proizvodnja na tekućoj vrpci. Primjenjuje se, na primjer, za pogon ekscentričnih valjaka kod vibracijskih cestovnih valjaka, a isto tako i za transportne remenice bušilica i glodalica u preradi drveta.

Kukasti držač žičanog užeta uređaja za transport — slika 11.

Udarna čvrstoća, rigidnost (elastična krutost), tvrdoća i postojanost prema temperaturi, otpornost prema trenju i klimatskim uvjetima, kao i dobra prigušenost zvuka — posebni su zahtjevi u strojogradnji i izradi aparata, i to općenito za tehničke funkcionalne dijelove kao što su klizni ležajevi, valjkasti koluti, zupčanici, ventilatorska krila, držači, vodilice i elementi za prijenos snage.

Slika 11. prikazuje kukasti držač od termoplastičnog poliestera PBTP-Pocan, pojačanog staklenim vlaknom, koji se nalazi na žičanom užetu jednog uređaja za transport. Taj je kukasti držač sastavljen od više dijelova, a do sada se izrađivao od aluminijskog tlačnog lijeva.

Razlozi uštede troškova doveli su na razmišljanje o primjeni polimernih konstrukcijskih materijala. Radi zaustav-

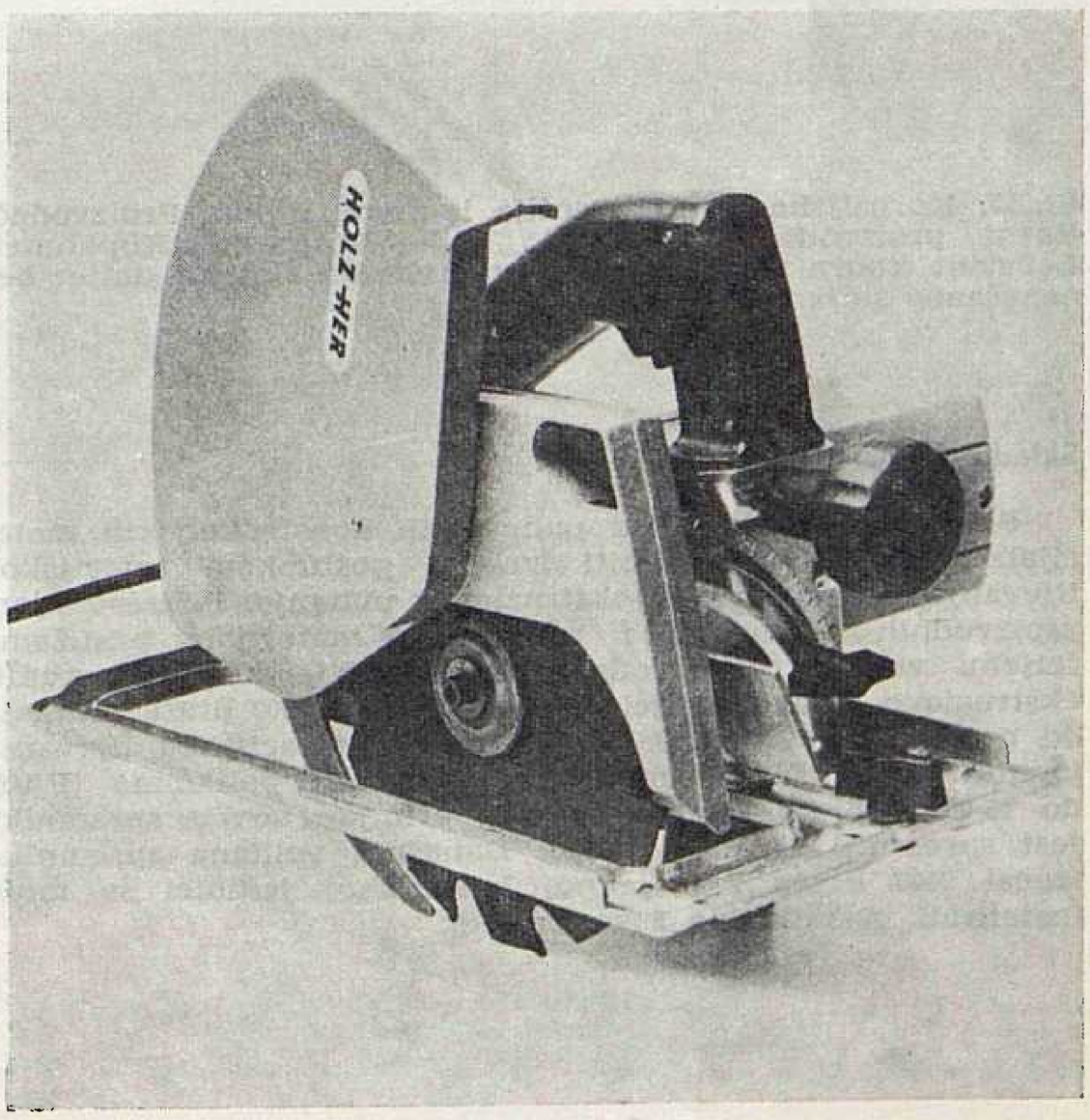
ljanja na užetu katkada su bile zajedno uvijene dvije kukaste polovine. Pri tome na užetu mora biti toliko visoka sila tlačenja da se može prenijeti vlačno opterećenje od 5 KN. Naravno da će ovakav zahtjev biti postavljen i za primjenu predviđenog dijela od polimernih konstrukcijskih materijala. To opet znači da zbog potrebnoga poteznog momenta od oko 4j kod M6-vijaka, nastaje nerazmjerno visok specifičan plošni pritisak koji mora preuzeti primijenjeni materijal. Istraživanja s PBTP Pocanom pokazala su da tlačna čvrstoća proizvoda koji je 30% pojačan staklenim vlaknom dostaje da se na užetu ostvari potrebna stezna sila i time postigne vlačno opterećenje od 5 kN. Kod ovog primjera primjene nadalje je bitno da 100%-tni sadržaj vlage u zraku pri temperaturi od 40—60 °C nema utjecaja na čvrstoću dijelova. Pod takvim tehničkim pretpostavkama moralo je doći do zamjene materijala proizvoda čime se znatno pojednostavnila montaža i tako omogućila izradu ekonomičnijih i tehnički vrednijih funkcionalnih dijelova. Sami valjkasti kolutovi su izrađeni od PA6 Durethana. Radi još boljih specifičnih svojstava, kao što su povećanje bešumnosti i čvrstoće, postoje mogućnosti kombinacija s drugim polimernim konstrukcijskim materijalima. Kao primjer bismo spomenuli valjak od PA6 Durethana u kombinaciji radne površine od PUR-Elastomer Desmophana.

Kućišta ručnih električnih alata — slika 12 i 13.

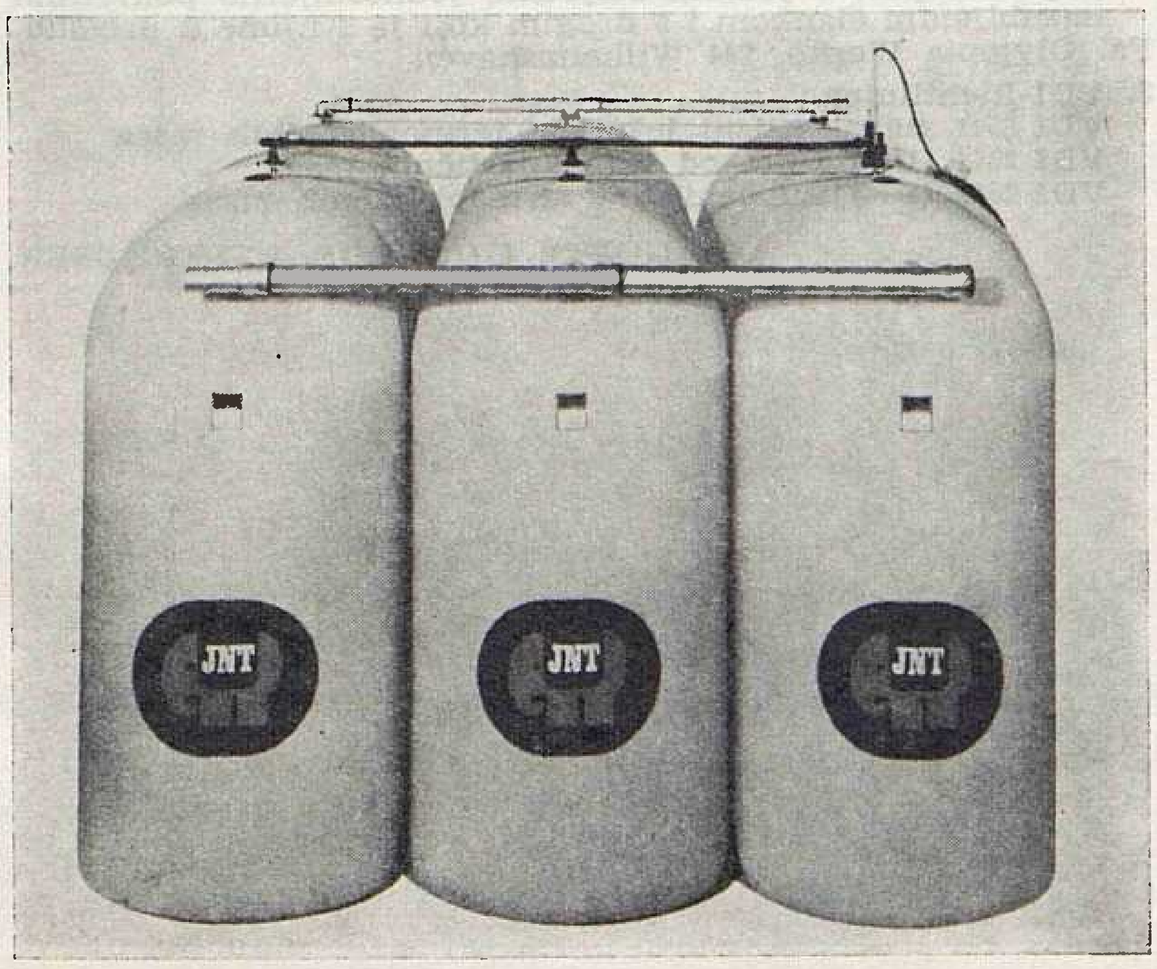
Električna sigurnost ručnih električnih alata vrlo je značajna za korisnike. Taj zahtjev za sigurnom električnom zaštitom od dodira, što se kod metalnih kućišta može postići samo uzemljenjem, postiže se s kućištima od polimernih konstrukcijskih materijala koji imaju istaknuta elektroizolacijska svojstva, što omogućuju zaštitu »Klase II« po VDE a to znači dvostruku izolaciju. Rigidnost, udarna čvrstoća i naizmjenična čvrstoća savijanja PA6 Durethana BKV pojačanog staklenim vlaknom, od kojeg je izrađeno kućište, dozvoljavaju u širokim temperaturnim granicama do 120 (130) °C preuzimanje nosivih funkcija pogonskih i sklopnih elemenata i pri visokom opterećenju udarnih bušilica. Time je omogućena primjena konstrukcijskog principa koji snizuje troškove (dvije ljuske kućišta). Otpada naknadna obrada (skidanje srha, čišćenje, rezanje navoja, lakiranje), skraćuje se vrijeme montaže i tako postiže povoljnija proizvodna cijena. Taj primjer primjene također ističemo zbog neznatne težine, zbog posebno izražene postojanosti PA6 Durethana prema uljima, mastima i otapalima i zbog dobre sposobnosti bojenja. Durethan se danas ugrađuje u bušilice, a često i u pogonske jedinice za adaptere, npr. pile bušilice, odnosno pogonske jedinice za brušenje i glačanje, kod kojih se naročito visoki zahtjevi postavljaju za kućišta — a kućišta izrađena od polimernih konstrukcijskih materijala ih zadovoljavaju.

Međutim, od PA6 Durethana pojačanoga staklenim vlaknom ne proizvode se samo sigurna i ekonomična kućišta za bušilice, udarne bušilice, kutne i ravne brusilice, ručne

Sl. 12. Kućište udarne bušilice. Proizvođač: AEG, Frankfurt. Materijal: PA6, pojačan staklenim vlaknom (30%), *Durethan BKV (tvorn. ime).*



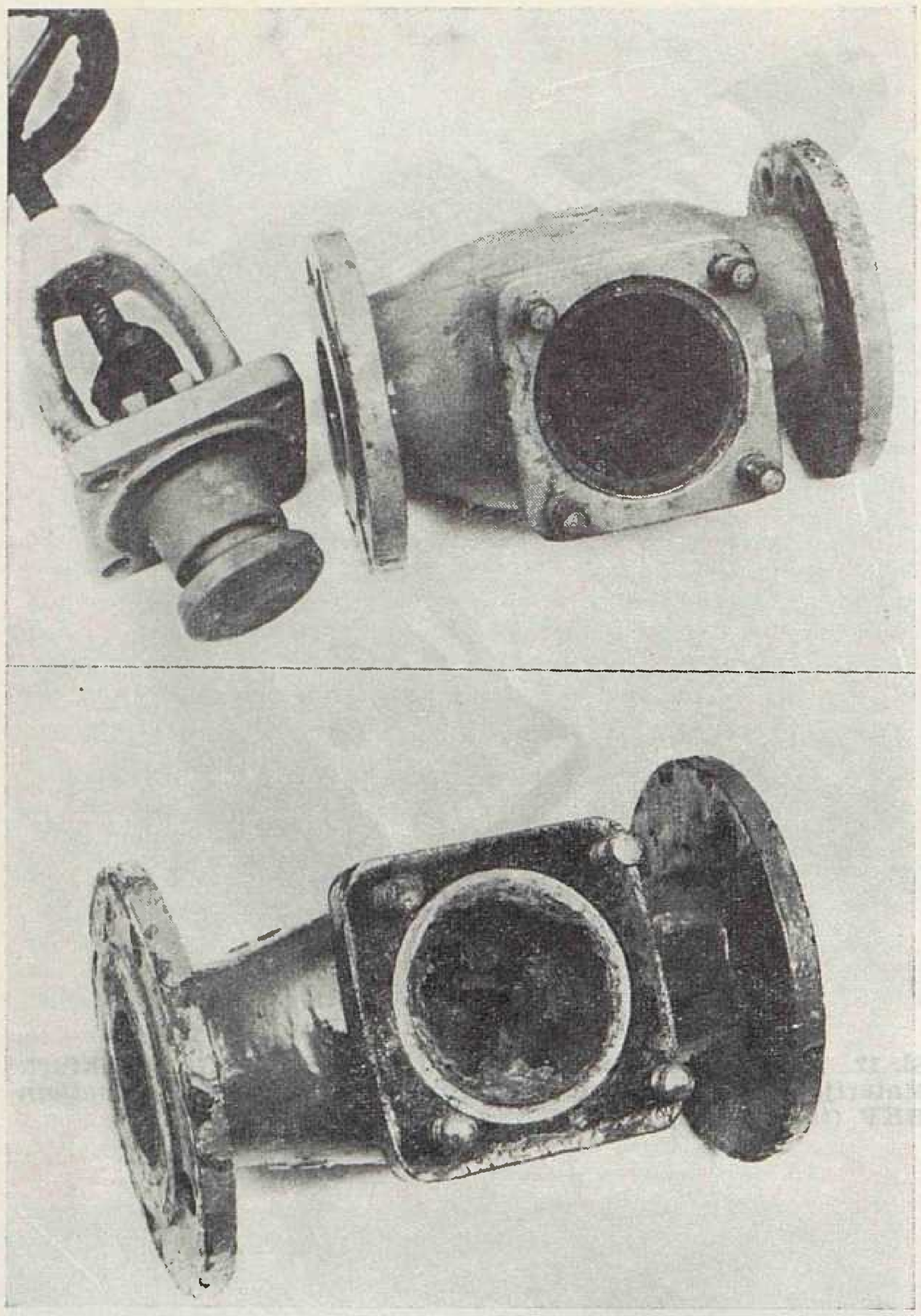
Sl. 13. Kućište ručne cirkularne pile. Proizvođač: Holz-Her, Nürtingen. Materijal: PA 6, pojačan staklenim vlaknom (30%), *Durethan BKV (tvorn. ime).*



Sl. 14. Spremnik loživog ulja, baterijska jedinica 3×1.500 litara. Proizvođač: Jung-Werke, Wehbach/Sieg. Materijal: PA 6, lijevani poliamid, *Durethan (tvorn. ime).*

pile i blanjalice u kućanstvu i u industriji. Predstoji mnogo veća ekspanzija primjene na sličnim područjima, npr. kod pneumatskog čekića, čekića za čavle, motornih pila itd. Prikazana su dva takva primjera mogućnosti korištenja polimernih konstrukcijskih materijala, udarna bušilica Fa.AEG, Frankfurt na slici 12 i ručna cirkularna pila Fa.Holz-Her, Nürtingen na slici 13.

Slika 14. prikazuje zajedno spojenu bateriju spremnika iz JUNG-Nylon-Tanks koja je izrađena postupkom rotacijskog lijevanja. Spremnici se odlikuju visokom čvrstoćom s obzirom na njihovu malu težinu. Na primjer, spremnik od 2000 litara teži samo 48 kg.



Sl. 15. Korozijska zaštita ventila iz sivog lijeva. Proizvođač: Razni proizvođači. Materijal: Etilen-Vinilacetat-Kopolimer, *Levasint (tvorn ime.)*. Gore: sa nanešenim slojem; dolje: bez nanešenog sloja.

Skladišni spremnik — slika 14.

Skladišni spremnik od polimernih konstrukcijskih materijala može isto tako biti izrađen postupkom rotacijskog lijevanja, a i postupkom ekstruzionog puhanja. Podešavanjem proizvodnih postupaka i primjenom materijala postižemo željenu veličinu proizvoda. Tehnološki je moguće izraditi ekstruziono ispuhana tijela (spremnici) do 5000 litara sadržaja od polietilena (PE), dok se postupkom rotacijskog lijevanja izrađuju skladišni spremnici od lijevanog poliamida (PA 6) do 15 000 litara. Poznati primjer primjene ovog spremnika jest spremnik za loživo ulje. Današnja veličina spremnika iznosi 2000 litara i u jednoj baterijskoj jedinici se može instalirati maksimalno 5 spremnika.

Nanošenje slojeva — oblaganje — slika 15.

Dijelovi strojeva i aparata, npr. nosive ploče, sita, kao i nosači cjevovoda i armatura, podvrgnuti su, osim mehaničkim opterećenjima, i oštrim napadima agresivnih medija koji ovise o mjestu ugradnje. Zato se ovdje traži veća otpornost prema trošenju, visoka elastičnost čak i pri niskim temperaturama, i ekonomičnost. Otkriven je postupak besprijekornog nanošenja slojeva, odnosno oblaganja materijalom, radi zaštite pretežno metalnih dijelova. To se izvodi postupkom vrtložnog sinterovanja praha na bazi jednog osapunjenog etilen-vinilacetat-kopolimera zvanog Levasint. Taj vrtložno sinterovan materijal zbog svoje fiziološke neškodljivosti, a u duhu njemačkih zakona o živežnim namirnicama, može se na tržištu upotrijebiti kao materijal za oblaganje. Kao primjer primjene, prikazan je na slici 15. ventil od sivog lijeva, a) bez nanesenog sloja, b) s nanesenim slojem Levasinta. Tim slojem sprečavamo koroziju i inkrustaciju. Ventili od sivog lijeva koji se ugrađuju u cjevovode tople vode od 50 °C moraju se redovito mijenjati svakih 6 mjeseci, ovisno o funkcionalnim smetnjama. Ventili obloženi slojem Levasinta sposobnost bojenja Levasinta dozvoljava uz ostalo, dugotrajnu otpornost prema svjetlu i vremenu oznaka ispisanih bojom, npr. na cjevovodima.

ZAKLJUČAK

Na malom broju navedenih primjera upozorili smo na višestruke mogućnosti ugradnje polimernih konstrukcijskih materijala u strojogradnji i izradi aparata.

Na osnovi pokazatelja trenda svjetske proizvodnje polimernih konstrukcijskih materijala u posljednjih 10 godina, i na osnovi procjene potreba, treba i nadalje očekivati porast brojeva specifične potrošnje polimernih konstrukcijskih materijala po stanovniku. Pri tome se ne očekuju samo povećanja u okviru dosadašnjih područja primjene; mnogo se više danas očekuje od rezervi koje postoje u još neistraženim i neiskušanim područjima koja su pogodna za primjenu tih materijala. To naročito vrijedi za konstrukcijske materijale. Ekspanzija potrošnje ne mora ići na štetu klasičnih konstrukcijskih materijala jer za obje te grupe konstrukcijskih materijala vrijede proizvodno-specifični profili zahtjeva i prema tome imaju i svoja specifično-proizvodna područja primjene.

U mnogim se slučajevima, upravo zahvaljujući mogućnostima kombiniranja obiju grupa konstrukcijskih materijala, postižu željena optimalna rješenja.

LITERATURA

1. K. Oberbach: Karakteristične vrijednosti plastičnih masa za konstruktore, Carl Hanser Verlag, München/Wien 1975.
2. Patentni spis 2348575 od 14. 8. 75. Fino nazubljen zupčasti pogonski par, s jednim stojećim, jednosmjerno pokretnim nazubljenim člankom i s drugim koji je s njime u prigonu. Fa. Olympia Werke, 294 Wilhelmshaven
3. VDI-Richtlinien
   VDI 2541 (10/75) Klizni ležaj od termoplastičnih masa
   VDI 2544 (1/73) Vijci od termoplastičnih masa
   VDI 2545 (3/76) Zupčanik od termoplastičnih masa

A. GOETZ I G. LUBE, LEVERKUSEN

GOD. 26 (1977) energija BROJ 5—6

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

OSCILACIJE INTEZIVNOSTI SUNČEVA ZRAČENJA I RITAM POTRAŽNJE ENERGIJE

Hrvoje Požar i Vladimir Knapp, Zagreb

Promatrani su problemi iskorštenja Sunčeve energije u prvom redu zbog oscilacija (zbog dnevnog ritma, sezonskih oscilacija i naoblaka), intenziteta zračenja i zbog pojave da se ni dnevna ni sezonske oscilacije, s obzirom na istodobnost pojave, ne poklapaju s potražnjom energije.

DK 620.91

1. UVOD

Sunčevo je zračenje ogroman energetski izvor. Energija zračenja Sunca koja dopire do površine Zemlje iznosi oko 10^9 TWh/god, a to je oko 15 puta više nego energija u ukupnim rezervama ugljena ili preko 15 000 puta veća nego energija svih primarnih oblika energije utrošenih u svijetu u 1975. godini. To je, dakle, energetski izvor kojim se mogu — i uz iskorištenje samo malog njegova dijela — zadovoljiti energetske potrebe čovječanstva kroz dugi niz godina.

Takva konstatacija, koja je u osnovi ispravna, stvorila je danas — pogotovo nakon pojave energetske krize — kod mnogih uvjerenje da se svi energetski problemi sutrašnjice, koja počinje danas, mogu riješiti iskorištavanjem Sunčeva zračenja, kao osnovnog, primarnog izvora energije. Svakako, da je takva razvojna energetska politika moguća, da bi ona riješila mnoga pitanja zagađenja okoliša koja danas zabrinjavaju čovječanstvo i da bi omogućila razvoj i onih područja koja nemaju konvencionalnih energetskih izvora, jer je zračenje Sunca više-manje jednoliko raspodijeljeno po cijelom globusu. Problemi se, međutim, javljaju pri praktičnom iskorištavanju Sunčeva zračenja u prvom redu zbog oscilacija intenzivnosti toga zračenja koja dopire do površine Zemlje i zbog pojave da se ni dnevna ni sezonska oscilacija intenziteta zračenja s obzirom na istodobnost pojava ne poklapaju s potražnjom energije. Problem se još više komplicira kada se uzme u obzir i pojava oblaka, koja intenzivnost zračenja može reducirati na iznos i do 1/4 snage u odnosu na snagu u vedrom danu.

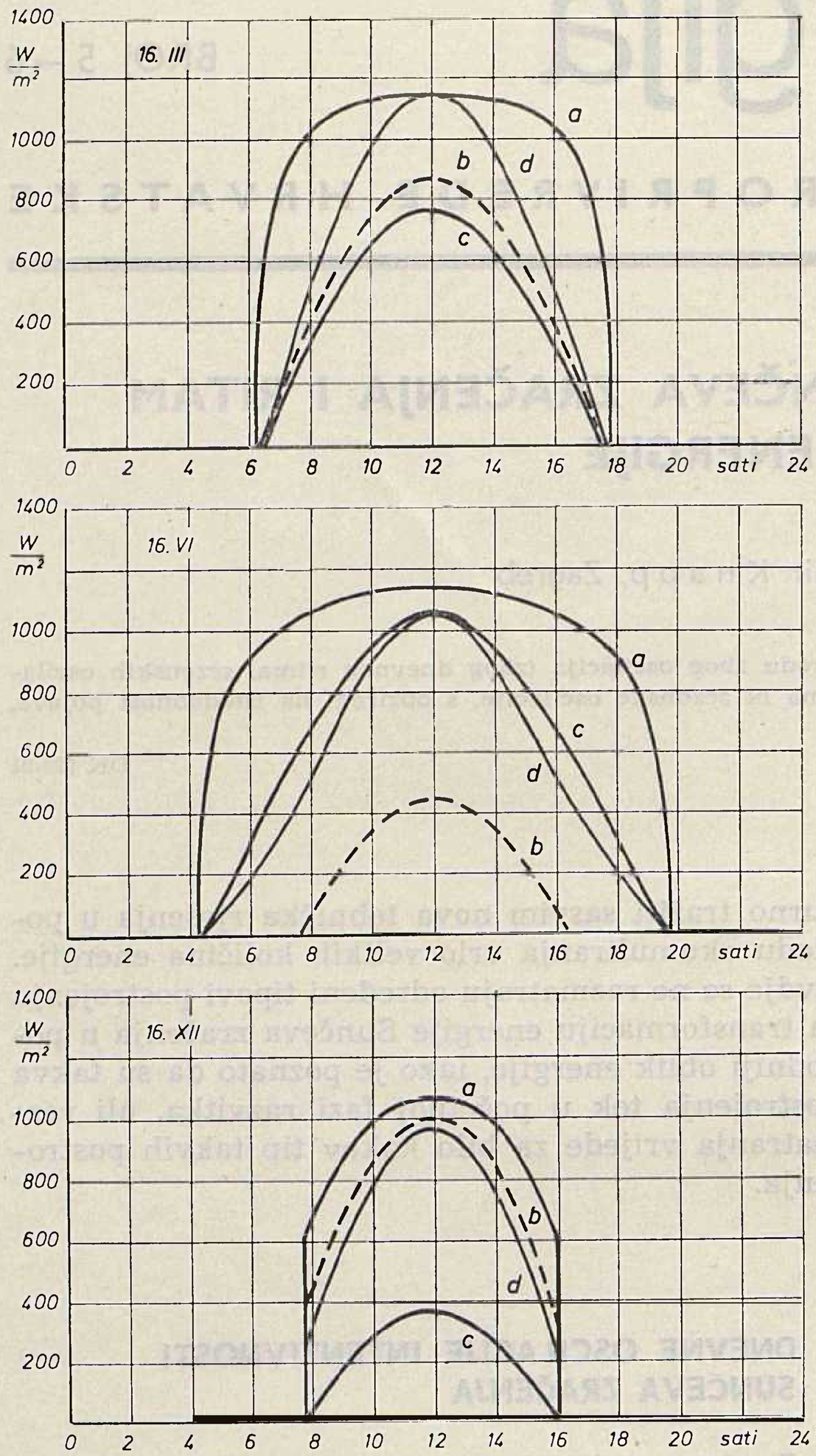
Svrha je ovog prikaza da upozori na te probleme, koji će vjerojatno usporiti praktično iskorištenje Sunčeva zračenja u većem opsegu i koji će sigurno tražiti sasvim nova tehnička rješenja u pogledu akumuliranja vrlo velikih količina energije. Ovdje se ne razmatraju određeni tipovi postrojenja za transformaciju energije Sunčeva zračenja u pogodniji oblik energije, iako je poznato da su takva postrojenja tek u početnoj fazi razvitka, ali razmatranja vrijede za bilo kakav tip takvih postrojenja.

2. DNEVNE OSCILACIJE INTENZIVNOSTI SUNČEVA ZRAČENJA

Sunčeva radijacija na površinu Zemlje ovisi u prvom redu o intenzivnosti zračenja na rubu zemaljske atmosfere (ekstraterestrička radijacija). Ona se u toku godine vrlo malo mijenja, jer je ekscentričnost putanje Zemlje oko Sunca malena. Intenzivnost toga zračenja iznosi u prosjeku 1 380 W/m² (maksimalno 1 429 u siječnju, a minimalno 1 335 W/m² u srpnju). Prolazom kroz atmosferu zračenje se apsorbira i raspršuje. U potpuno suhoj i čistoj atmosferi na to djeluju atomi i molekule plinova od kojih je sastavljena atmosfera. Apsorpcija u atmosferi ovisi o dužini puta kroz atmosferu, pa će intenzivnost zračenja na površini Zemlje i pri čistoj i suhoj atmosferi ovisiti o geografskoj širini.

Na apsorpciju i raspršavanja zračenja utječe i vodena para, kapljice vode i krute čestice koje se nalaze u atmosferi, pa još više smanjuje intenzivnost zračenja koje dopire do tla.

Dnevna oscilacija intenzivnosti zračenja ovisi dalje o vremenu izlaska i zalaska Sunca, te o kutu položaja Sunca iznad horizonta, što sve rezultira u različitoj dnevnoj intenzivnosti zračenja na površini Zemlje.



a - Na plohu okomitu na upadno zračenje
b - Na prema jugu orijentiranu plohu
c - Na horizontalnu plohu
d - Na plohu nagnutu prema jugu pod kutem od 45°

Sl. 1. Intenzivnost direktne solarne radijacije u Zagrebu pri suhoj i čistoj atmosferi

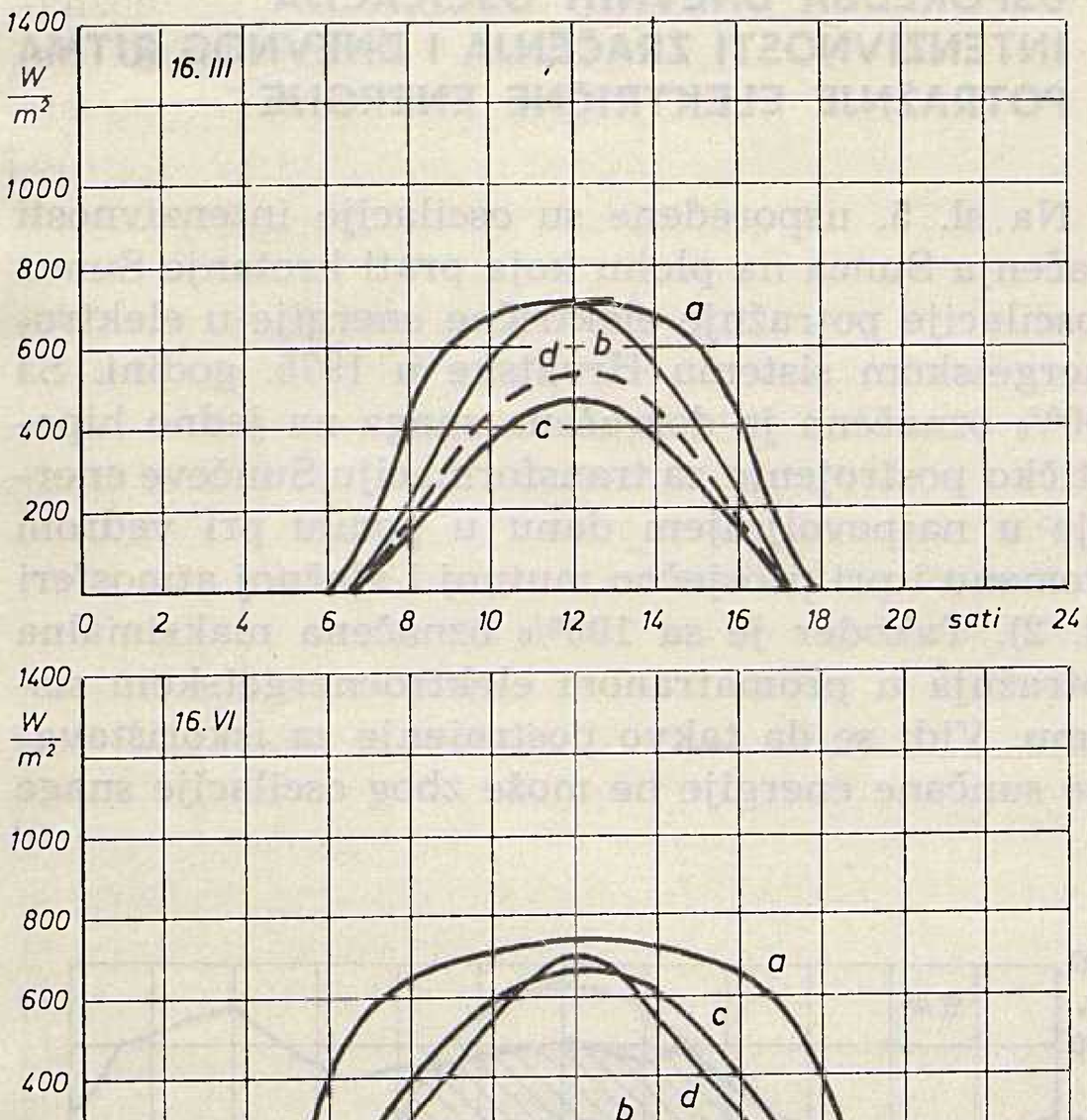
Na sl. 1. prikazane su dnevne oscilacije intenzivnosti zračenja za tri karakteristična dana u godini (16. III—približno dan jednak noći, 16. VI— približno najdulji dan, i 16. XII— približno najkraći dan). Svi podaci na sl. 1. vrijede za suhu i čistu atmosferu na geografskoj širini Zagreba. To su, dakle, maksimalne vrijednosti intenzivnosti zračenja koja se može očekivati na promatranoj geografskoj širini.

Najpovoljniji rezultati se postižu kad se računa sa zračenjem na plohu okomitu na upadno zračenje (krivulje a na sl. 1). Takav način iskorištavanja sunčanog zračenja traži stalno pokretanje uređaja za prihvaćanje zračenja i praćenje gibanja Sunca. Takvo rješenje nesumljivo je znatno skuplje od postrojenja s nepomičnim položajem ploha za prihvaćanje zračenja. Zbog toga je potrebno poznavati i intenzivnost zračenja na nepomične plohe. Tada je intenzivnost zračenja nepovoljnija i za iste prilike dobivaju se manje snage i energije zračenja. Razmatrani su različiti položaji nepokretnih ploha u odnosu prema površini tla. Moguće su različite orijentacije, ali je unaprijed evidentno da ne treba razmatrati orijentacije prema istoku, zapadu ili sjeveru, jer su one nepovoljnije od orijentacije prema jugu. Na sl. 1. vide se podaci o intenzivnosti zračenja na plohu orijentiranu prema jugu, ali okomito postavljenu na površinu tla (krivulje b), na horizontalno položenu plohu (krivulje c), te na plohu nagnutu prema površini tla za kut od 45° tako da zračenje djeluje na plohu okrenutu prema jugu. Intenzivnost zračenja na nepokretnu plohu ovisi svakako o položaju te plohe, ali vrlo velik utjecaj ima i položaj Sunca za vrijeme dnevnog hoda. Ploha nagnuta pod kutom od 45°, okrenuta prema jugu, daje najpovoljniji rezultat u prijelaznim sezonama (proljeće i jesen), ali također povoljne rezultate u toku ljeta i zime. Horizontalno položena ploha daje vrlo povoljan rezultat ljeti, nešto nepovoljniji u proljeće i jesen, ali vrlo nepovoljan zimi. Ploha okomita na tlo orijentirana na jug povoljna je zimi, nešto nepovoljnija u proljeću i jesen, a vrlo nepovoljna ljeti. Naravno da je u svakom slučaju potrebno odabrati najpovoljniji položaj za nepokretne plohe ako se žele izbjeći uređaji za praćenje gibanja Sunca u ovisnosti o upotrebi energije dobivene iskorištavanjem zračenja. Za mala postrojenja, međutim, bit će sigurno najpogodnije upotrijebiti nepokretne plohe.

Na sl. 2. prikazana je intenzivnost zračenja, ali sada pri prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi, i to prema mjerenjima Opservatorija Grič u Zagrebu. Utjecaj vlage i nečistoće u zraku smanjuje intenzivnost zračenja na razini tla za oko 40% u usporedbi s prilikama pri suhoj i čistoj atmosferi. Treba naglasiti da se pri određivanju vrijednosti na sl. 2. uvijek radi o atmosferi bez naoblake. Podaci na sl. 2. bliži su stvarnim vrijednostima intenzivnosti zračenja nego podaci na sl. 1, jer se uvijek u atmosferi nalazi vodena para, kapljice vode i krute čestice. Kad se, međutim, uzme u obzir utjecaj oblaka na intenzivnost zračenja, dobivaju se znatno reducirane vrijednosti, ali — budući da je pojava oblačnosti vrlo varijabilna — nema smisla govoriti o satnom rasporedu intenziteta zračenja. Utjecaj pojave oblaka bit će obuhvaćen pri promatranju prosječnih mjesečnih energija zračenja.

3. OSCILACIJE INTENZIVNOSTI ZRAČENJA U TOKU GODINE

Već se na sl. 1. i 2. razabire znatna ovisnost količina energije, koju preuzimaju jedinične plohe, o godišnjem dobu. Ta je ovisnost posljedica različitog trajanja dana i različitih visina Sunca iznad



a - Na plohu okomitu na upadno zračenje

b - Na prema jugu orijentiranu plohu

c - Na horizontalnu plohu

d - Na plohu nagnutu prema jugu pod kutem od 45°

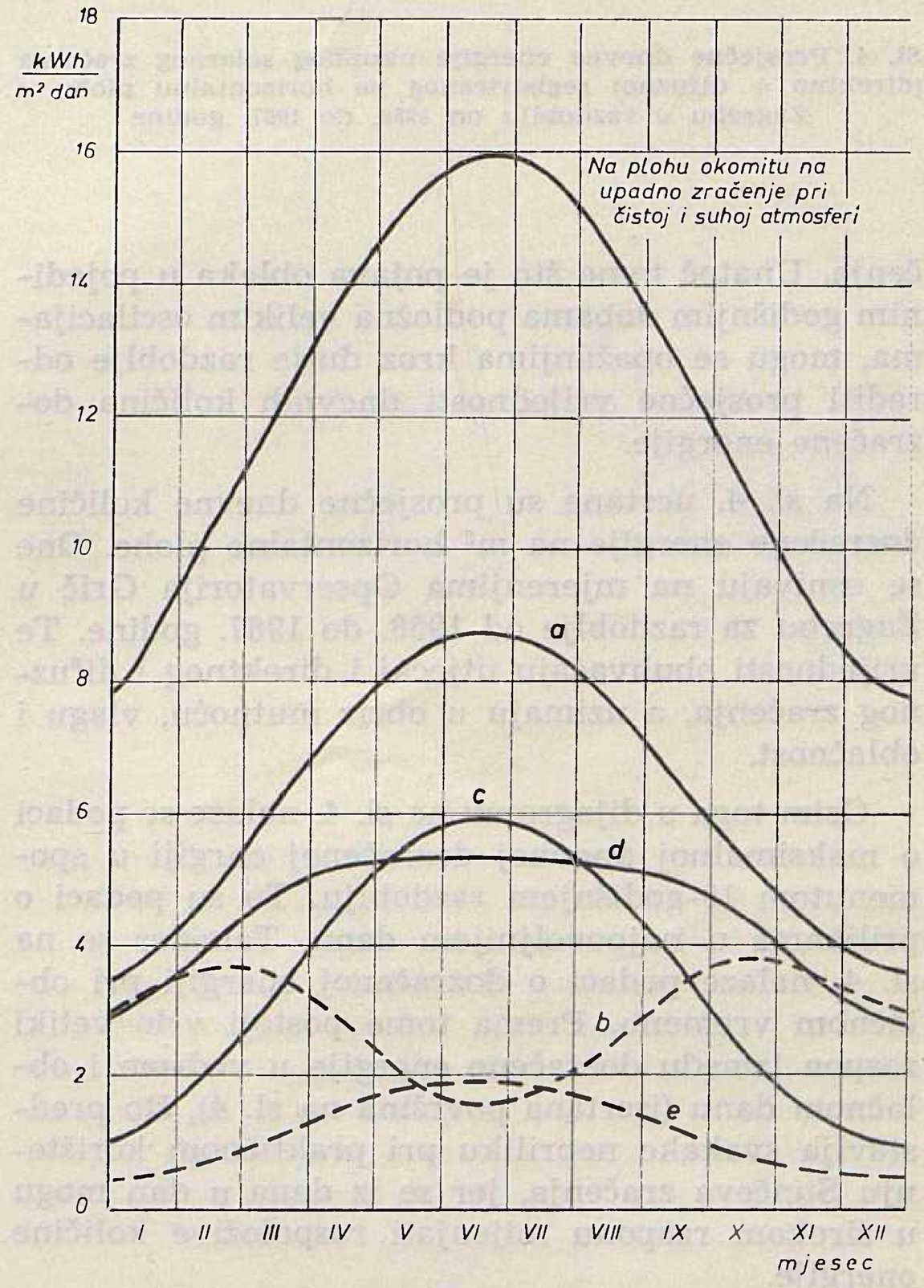
Sl. 2. Intenzivnost direktne solarne radijacije u Zagrebu pri prosječnoj mutnoj atmosferi bez naoblake

horizonta. One ovise o orijentaciji nepomičnih ploha, ali se te oscilacije pojavljuju i za slučaj upotrebe pomične plohe, koja slijedi kretanje Sunca kako bi upadni kut bio uvijek okomit na dozračenu plohu (krivulja a na sl. 3). Najviše položena krivulja na sl. 3. vrijedi za čistu i suhu atmosferu, a sve ostale krivulje za prosječno mutnu i vlažnu atmosferu. Najmanje oscilacije dnevnih količina energije pojavljuju se kad je nepomična ploha usmjerena prema jugu, a nagnuta prema tlu za 45° (krivulja na sl. 3), a najveće su oscilacije energije kad je ploha položena horizontalno (krivulja c). Okomita ploha okrenuta prema jugu ima najmanje energije u ljetnim mjesecima, a najviše krajem zime i početkom jeseni.

Na sl. 3. prikazana je intenzivnost difuznog zračenja (krivulja c), koje prima horizontalna ploha. Ukupno zračenje koje djeluje na horizontalnu plohu jednako je zbroju neposrednog i difuznog zračenja pri čistoj i suhoj atmosferi i iznosi od 7 do 15% od intenzivnosti zračenja na horizontalnu plohu. U slučaju mutne i vlažne atmosfere taj je udio znatno veći, pogotovo u zimskim mjesecima, kad dostiže i do 50% od neposrednog zračenja na horizontalnu plohu.

4. UTJECAJ NAOBLAKE NA INTENZIVNOST SUNČEVA ZRAČENJA

Dnevne količine energije zračenja pri suhoj i čistoj atmosferi predstavljaju gornje vrijednosti kojima se može približiti u vrlo povoljnim uvjetima. One vrijede, kako je već naglašeno, za vedar dan. Oblaci u atmosferi reducirat će energije zra-



a - Na plohu okomitu na upadno zračenje

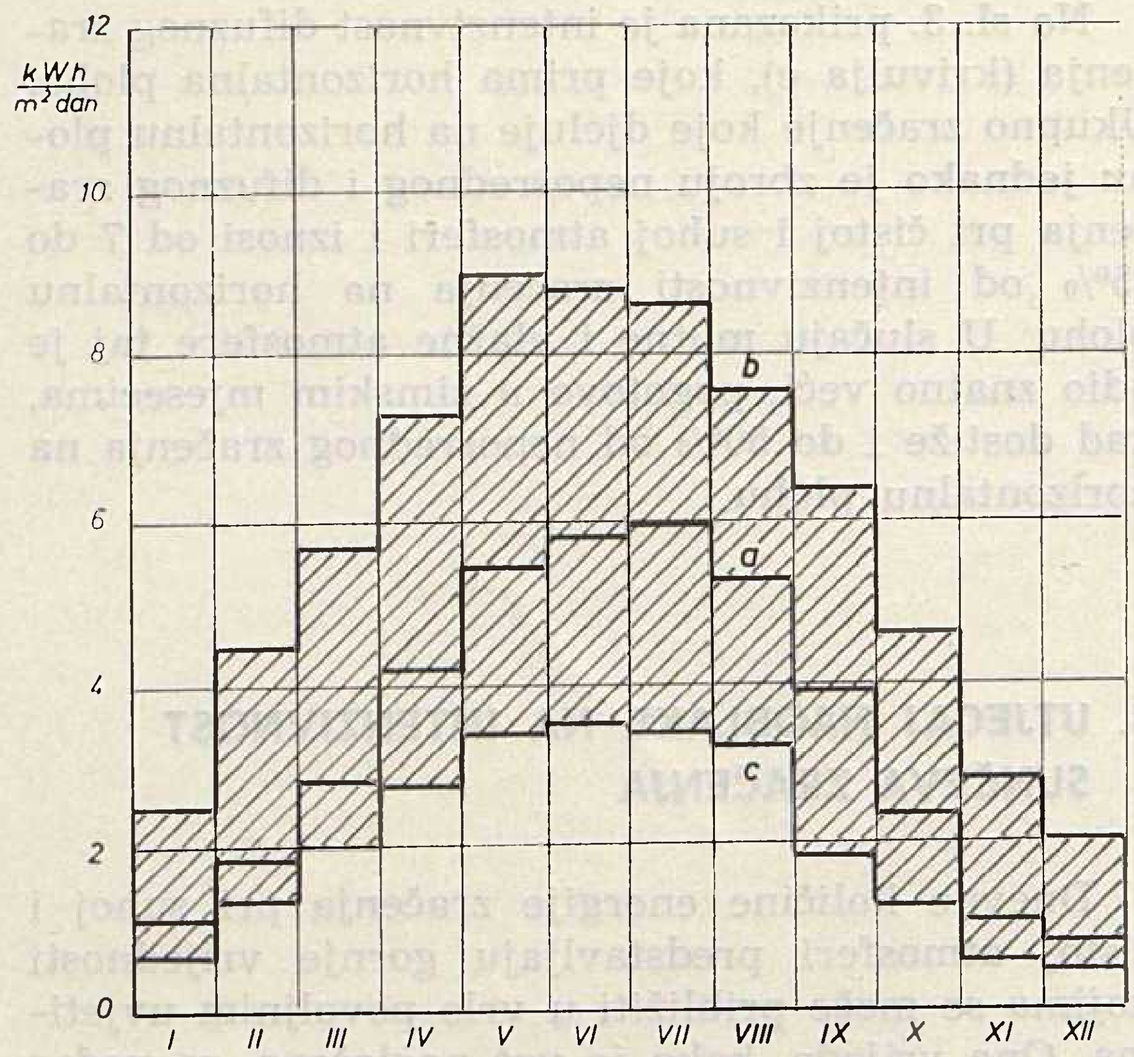
b - Na prema jugu orijentiranu okomitu plohu

c - Na horizontalnu plohu

d - Na plohu nagnutu prema jugu pod kutem od 45°

e - Difuzna radijacija na horizontalnu plohu

Sl. 3. Energija solarne radijacije u Zagrebu pri vedrom vremenu i prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi



a - Prosječna dnevna energija

b - Maksimalna dnevna energija u 10-godišnjem razdoblju

c - Dnevna energija pri oblačnom vremenu

Sl. 4. Prosječne dnevne energije ukupnog solarnog zračenja (direktno + difuzno) registriranog na horizontalnu plohu u Zagrebu u razdoblju od 1958. do 1967. godine

čenja. Unatoč tome što je pojava oblaka u pojedinim godišnjim dobama podložna velikim oscilacijama, mogu se opažanjima kroz dulje razdoblje odrediti prosječne vrijednosti dnevnih količina dozračene energije.

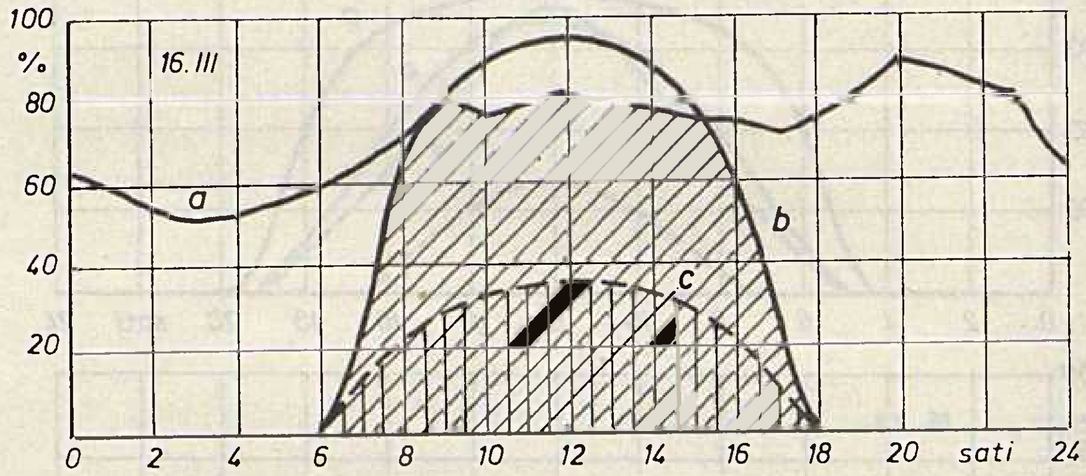
Na sl. 4. ucrtane su prosječne dnevne količine dozračene energije na m² horizontalne plohe. One se osnivaju na mjerenjima Opservatorija Grič u Zagrebu za razdoblje od 1958. do 1967. godine. Te vrijednosti obuhvaćaju utjecaj i direktnog i difuznog zračenja, a uzimaju u obzir mutnoću, vlagu i oblačnost.

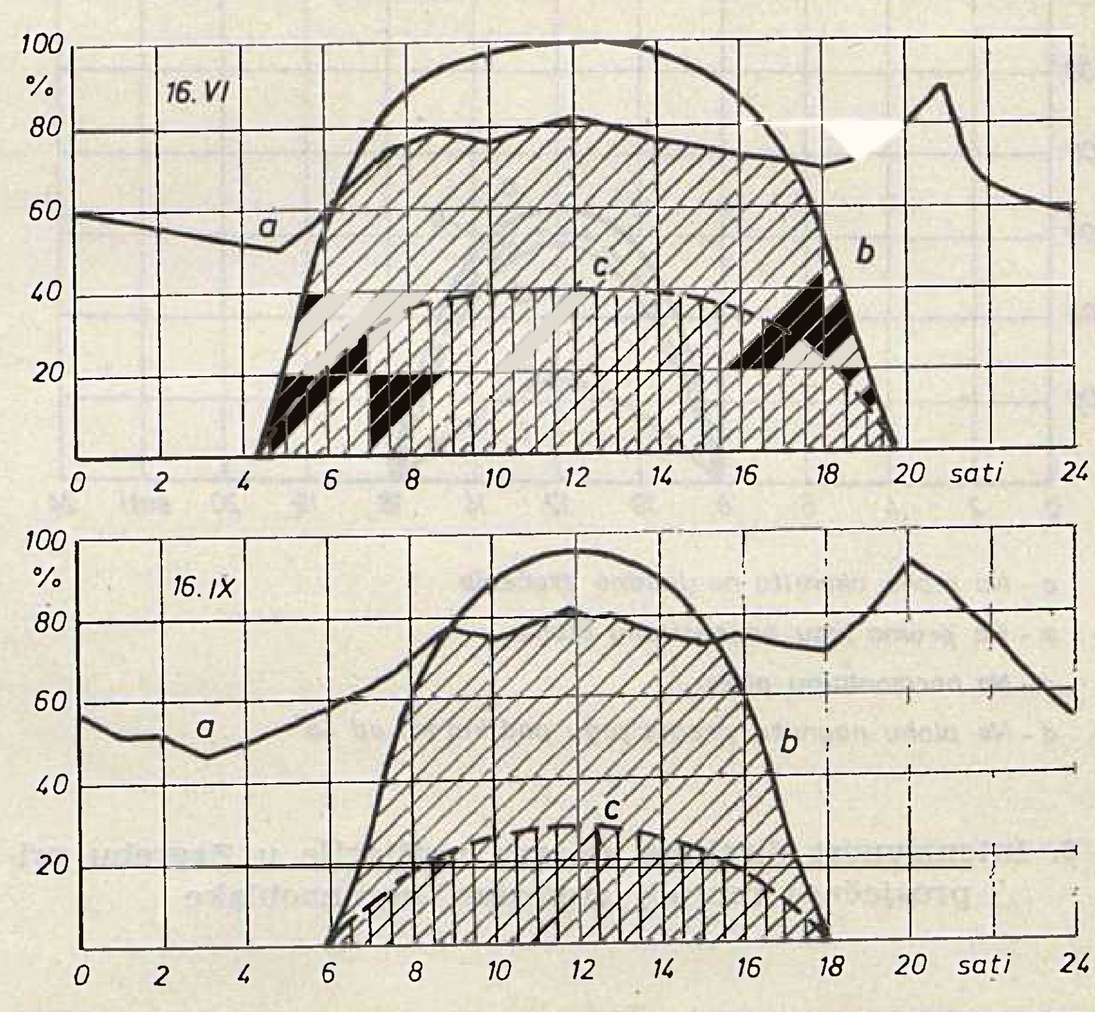
Osim toga u dijagramu na sl. 4. nalaze se podaci o maksimalnoj dnevnoj dozračenoj enrgiji u spomenutom 10-godišnjem razdoblju. To su podaci o prilikama u najpovoljnijem danu. Također se na sl. 4. nalaze podaci o dozračenoj energiji pri oblačnom vremenu. Prema tome postoji vrlo veliki raspon između dozračene energije u vedrom i oblačnom danu (iscrtana površina na sl. 4), što predstavlja svakako nepriliku pri praktičnom korištenju Sunčeva zračenja, jer se iz dana u dan mogu u širokom rasponu mijenjati raspoložive količine energije.

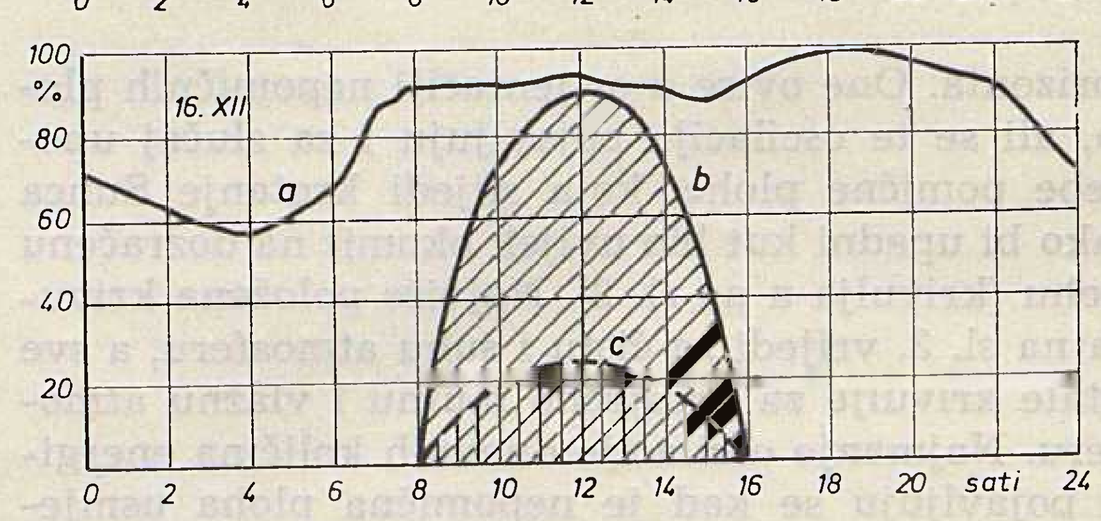
Naravno da navedeni podaci o prosječnim količinama dozračene energije vrijede za klimatske prilike u Zagrebu. U područjima s većim brojem vedrih dana bit će prilike nešto povoljnije. Tako su u južnom dijelu jadranskog područja prosječne količine dozračene energije i do 35% veće nego u Zagrebu.

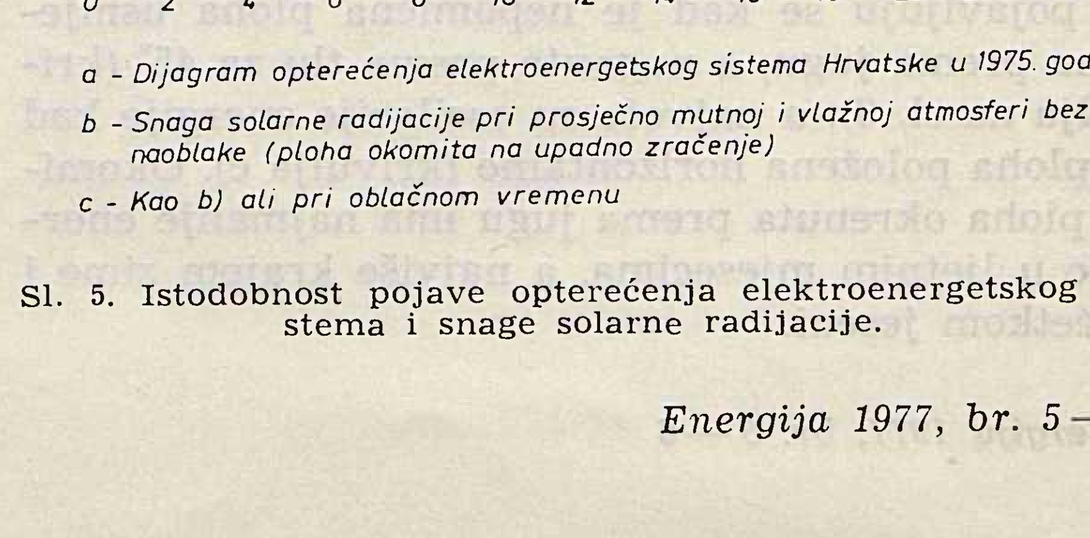
5. USPOREDBA DNEVNIH OSCILACIJA INTENZIVNOSTI ZRAČENJA I DNEVNOG RITMA POTRAŽNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Na sl. 5. uspoređene su oscilacije intenzivnosti zračenja Sunca na plohu koja prati kretanje Sunca i oscilacije potražnje električne energije u elektroenergetskom sistemu Hrvatske u 1975. godini. Sa 100% označena je dozračena snaga na jedno hipotetičko postrojenje za transformaciju Sunčeve energije u najpovoljnijem danu u godini pri vedrom vremenu i pri prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi (sl. 2). Također je sa 100% označena maksimalna potražnja u promatranom elektroenergetskom sistemu. Vidi se da takvo postrojenje za iskorištavanje sunčane energije ne može zbog oscilacije snage









a - Dijagram opterećenja elektroenergetskog sistema Hrvatske u 1975. god.

b - Snaga solarne radijacije pri prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi bez naoblake (ploha okomita na upadno zračenje)

c - Kao b) ali pri oblačnom vremenu

Sl. 5. Istodobnost pojave opterećenja elektroenergetskog sistema i snage solarne radijacije.

u toku dana ni približno zadovoljiti potražnju za energijom. U svim sezonama maksimilna potražnja električne energije pojavljuje se u onim razdobljima dana kada nema zračenja Sunčeve energije. Prema tome, unatoč izgradnji postrojenja za proizvodnju električne energije pomoću sunčanog zračenja mora se za osiguranje opskrbe konzuma izgraditi isto toliko elektrana drugih tipova kao da ne postoji takvo postrojenje. Kad bi se npr. za opskrbu takvog konzuma gradile konvencionalne ili nuklearne elektrane, bilo bi dovoljno izgraditi 100% takvih elektrana. Ako se uz takve termoelektrane grade i elektrane na osnovi Sunčeva zračenja s isto tolikom snagom, ukupna snaga elektrana u takvom sistemu iznosila bi 200%, što bi, naravno, zntno povećalo potrebne investicije.

Izgradnja elektrana koje iskorištavaju Sunčevo zračenje ne može, dakle, smanjiti potrebu izgradnje ostalih tipova elektrana, ali može smanjiti troškove za gorivo u termoelektranama sistema. Ako snaga sunčanih elektrana iznosi upravo toliko koliko je maksimalno opterećenje u elektroenergetskom sistemu (sl. 5), ušteda na troškovima za gorivo znatno ovisi o godišnjem dobu, ali i o oblačnosti. Za vedrih dana uštede iznose u zimskom danu oko 25% od ukupnih troškova za gorivo, a u ljetnom danu oko 60% od ukupnih troškova za gorivo. Za vrijeme oblačnih dana uštede goriva su znatno manje, pa iznose u zimskom danu tek 8%, a u ljetnom danu oko 20% od ukupnih troškova za gorivo.

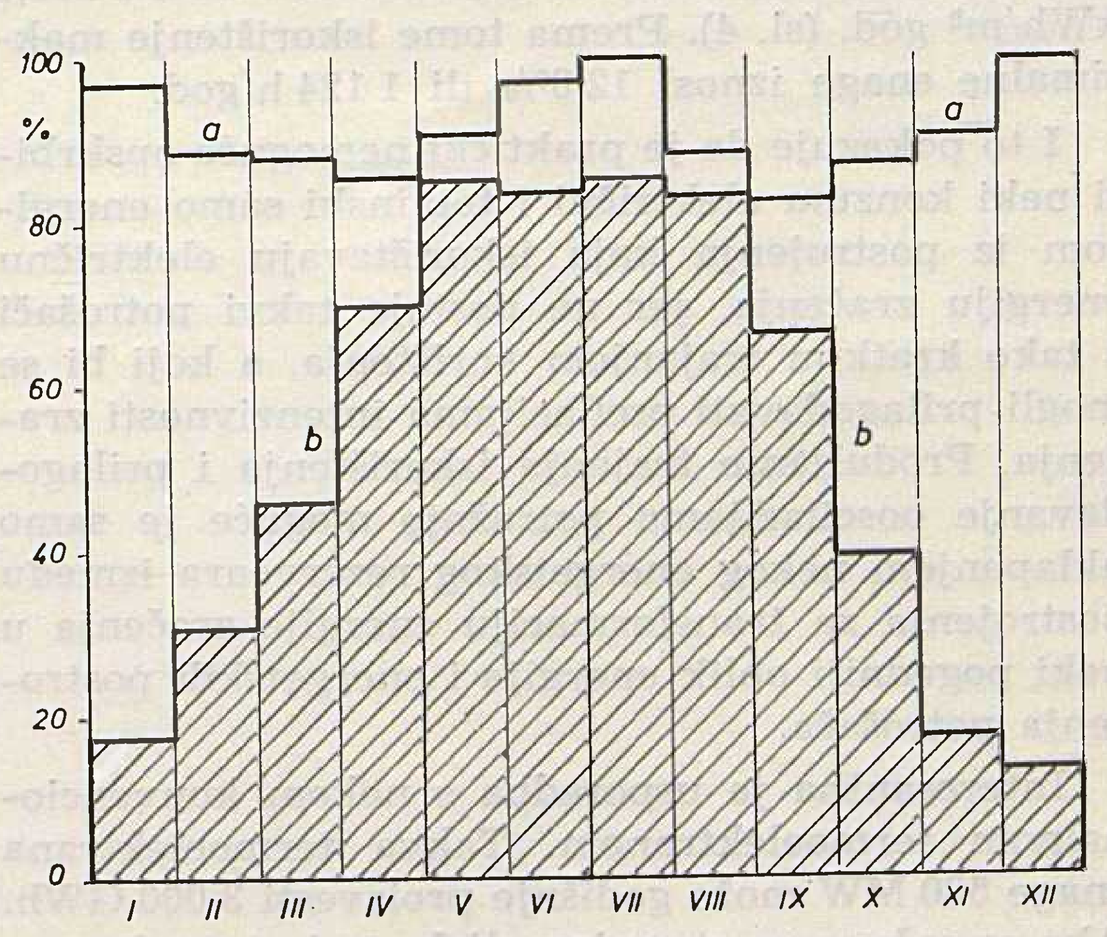
6. UTJECAJ MJESEČNIH OSCILACIJA INTENZIVNOSTI ZRAČENJA I SEZONSKOG RITMA POTRAŽNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ako postoji mogućnost mjesečnog akumuliranja energije proizvedene u postrojenju koje iskorištava sunčanu energiju, može se izvršiti usporedba oscilacija prosječne dozračene energije i oscilacija mjesečne potražnje električne energije (sl. 6). Unatoč postojanju mogućnosti mjesečnog akumuliranja energije, postrojenja za transformaciju sunčane energije nisu u mogućnosti osigurati opskrbu potrošača električne energije, iako je proizvodni kapacitet toga postrojenja dovoljan za opskrbu potrošača. Oscilacije moguće proizvodnje u sunčanoj elektrani imaju suprotan ritam od oscilacija potražnje električne energije, pa se najveća potražnja pojavljuje onda kada je dozračena energija najmanja. To praktički znači da je potrebno pored elektrane koja iskorištava energiju zračenja izgraditi gotovo toliku elektranu drugog tipa za osiguranje opskrbe potrošača i pored postojanja mogućnosti za mjesečno akumuliranje energije. Uz takvu mogućnost akumuliranja povećat će se utjecaj elektrane s iskorištavanjem zračenja na smanjenje troškova za gorivo. To će smanjenje iznostiti nešto više od 60% od ukupnih troškova za gorivo uz uvjet da maksimalna mjesečna mogućnost proizvodnje takve elektrane iznosi upravo toliko kolika je mjesečna potražnja električne energije u mjesecu maksimalne potražnje.

7. UTJECAJ MJESEČNIH OSCILACIJA INTENZIVNOSTI ZRAČENJA I RITMA POTRAŽNJE TOPLINE ZA GRIJANJE PROSTORIJA

U dijagramu na sl. 7. prikazane su oscilacije dozračene energije uz iste pretpostavke kao na sl. 6. Osim toga u isti je dijagram ucrtana mjesečno potrebna energija za grijanje prostorija i za grijanje vode u kućanstvima (krivulja a). Podaci o potrebi topline odgovaraju toplini predanoj potrošačima iz toplane Zagreb u 1975. godini. Uzeti su u obzir samo potrošači koji se opskrbljuju vrelom vodom.

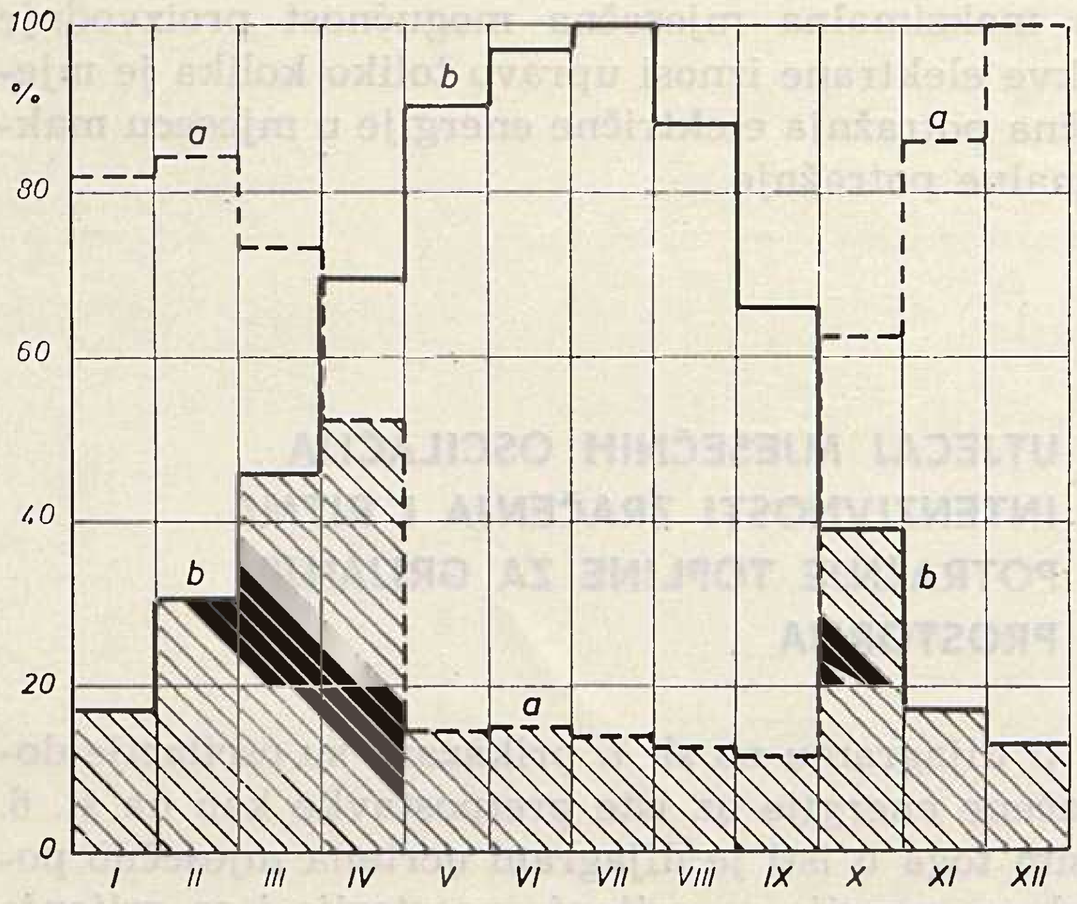
Unatoč tome što maksimalna proizvodnja topline u postrojenju koje iskorištava sunčano zračenje iznosi upravo onoliko koliko iznosi i maksimalna potrošnja topline, toplinom iz toga postrojenja nije moguće zadovoljiti potrošače u prva i posljednja tri mjeseca u godini. U ostalim mjesecima, međutim, pojavljuje se znatan višak energije. Prema tome, u ovom slučaju postoji još veći raskorak između istodobnosti proizvodnje energije u postrojenju za iskorištavanje energije zračenja nego kad se ta energija upotrebljava za proizvodnju električne energije. Sada, naime, unatoč jednakosti proizvodnih i potrošačkih kapaciteta ostaje nepokriveno oko 50% konzuma i istodobno ostaje neiskorišteno gotovo 60% od moguće proizvodnje topline.



a - Mjesečne potrebne električne energije

b - Mjesečna energija solarne radijacije

Sl. 6. Istodobrnost pojave mjesečne potrebne električne energije i prosječne energije solarne radijacije na horizontalnu površinu



a - Predana toplina potrošačima vrele vode (za grijanje prostorija i grijanje vode) iz toplane ZAGREB u 1975. godini

b - Prosječna mjesečna energija solarne radijacije

Sl. 7. Istodobnost pojave potrebne mjesečne topline za grijanje prostorija i grijanje vode i prosječne mjesečne energije solarne radijacije na horizontalnu površinu.

8. ISKORIŠTENJE MAKSIMALNE SNAGE POSTROJENJA S ISKORIŠTAVANJEM SUNČANOG ZRAČENJA

Uz najpovoljnije prilike u atmosferi dozračena snaga po m² horizontalne površine iznosi 1 060 W (sl. 1.), pa maksimalna moguća energija, uzevši u obzir samo kapacitet postrojenja, iznosi 9 285,6 kWh/m² god. Prosječna dozračena energija, uzevši u obzir mutnoću, vlažnost i oblačnost iznosi 1 191,6 kWh/m² god. (sl. 4). Prema tome iskorištenje maksimalne snage iznosi 12,8% ili 1 124 h/god.

I to pokazuje da je praktički nemoguće opskrbiti neki konzum električni i toplinski samo energijom iz postrojenja koja iskorištavaju električnu energiju zračenja, jer ne postoje takvi potrošači s tako kratkim trajanjem korištenja, a koji bi se mogli prilagođavati oscilacijama intenzivnosti zračenja. Produljenje trajanja iskorištenja i prilagođavanje ooscilacijama potražnje moguće je samo uklapanjem nekog energetskog rezervoara između postrojenja za transformaciju energije zračenja u neki pogodniji oblik energije i energetskih postrojenja potrošača.

Interesantna je usporedba s nekom konvencionalnom termoelektranom. Takva termoelektrana snage 500 MW može godišnje proizvesti 3 000 GWh. Ako se računa sa stupnjem djelovanja transformacije energije zračenja u električnu energiju od 20% (što je znatno više nego što se može danas postići upotrebom solarnih elemenata), za proizvodnju tolike električne energije bila bi potrebna površina od $12{,}59 \cdot 10^6 m^2$ za prihvaćanje dozračene energije. Ta površina odgovara kvadratu sa stranicom od 3,55 km. Maksimalna dozračena snaga na toliku površinu iznosila bi 13 345 MW, ako se računa sa specifičnom snagom zračenja od 1 060 W/m² u najpovoljnijim prilikama. Uz pretpostavljeni stupanj djelovanja električna snaga takvog postrojenja iznosila bi 2 669 MW, što je oko 5 puta više od snage konvencionalne termoelektrane. Naravno da svi uređaji za preuzimanje i prijenos energije moraju biti dimenzionirani za toliku električnu snagu. Osim toga između postrojenja za iskorištavanje energije zračenja i električne mreže mora postojati akumulacija energije koja mora biti sposobna da primi najmanje 1/3 godišnje proizvodnje takvog postrojenja. Ako bi se ta akumulacija energije ostvarila akumuliranjem vode pomoću crpenja i ako bi se tako akumulirana voda iskorištavala na padu od 400 m, bio bi potreban akumulacijski bazen volumena $1\,125 \cdot 10^6 m^3$. Osim toga potrebno je pumpno postrojenje koje može preuzeti električnu snagu od oko polovine snage postrojenja za transformaciju energije zračenja u električnu energiju. Osim toga nužno je izgraditi i turbine za iskorištavanje potencijalne energije akumulirane vode.

To je, naravno, jedna od mogućnosti za akumuliranje energije.

Druga je mogućnost, koja se danas intenzivno studira, upotreba viškova električne energije za elektrolizu vode, pa se tada energija akumulira u obliku kemijske energije vodika. Snaga elektrolize treba da iznosi oko polovine snage postrojenja za iskorištavanje energije zračenja (oko 1 300 MW). Za akumuliranje vodika potreban je rezervoar u koji se može spremiti količina vodika koja se proizvodi s 1 000 GWh električne energije. Za iskorištenje tako akumulirane energije potrebna su osim toga dodatna postrojenja ili kotlovnice kad se želi dobiti toplina ili konvencionalne elektrane kad je potrebna električna energija.

Sigurno je, međutim, da sve to povećava i investicije i troškove pri iskorištavanju energije zračenja Sunca.

9. ZAKLJUČAK

Provedena analiza pokazuje da oscilacije dozračene snage i energije imaju takav ritam da se ne poklapaju s ritmom potražnje dvaju osnovnih oblika energije koji su potrebni potrošačima (električna energija i toplina). Zbog toga se izgradnjom postrojenja za iskorištavanje energije zračenja Sunca praktični ne smanjuje potreba izgradnje drugih tipova energetskih postrojenja, jer se maksimalna potražnja spomenutih oblika energije pojavljuje kad je intenzivnost zračenja minimalna ili kad ona uopće ne postoji. U takvoj se situaciji iskorištavanjem sunčanog zračenja smanjuje samo potrošnja goriva u drugim tipovima postrojenja, ali bez uštede na investicijama za gradnju takvih

postrojenja. To vrijedi i za velika i za mala postrojenja za iskorištavanje energije zračenja.

Zbog svega toga može se smatrati da će iskorištavanje energije zračenja Sunca u većem opsegu biti tehnički moguće i ekonomski opravdano tek onda kad, uz prihvatljive troškove bude tehnički izvedivo ostvariti akumuliranje energije u takvom opsegu da postane moguće energiju akumuliranu u toku ljeta iskorištavati u hladnim razdobljima godine. Akumuliranje energije samo u toku mjeseca nije dovoljno za prilagođavanje oscilacijama potražnje.

U međuvremenu, dok se ne stvore mogućnosti za ekonomično akumuliranje velikih količina energije, iskorištavanje energije zračenja Sunca u nas, bit će — čini se — opravdano u područjima s velikim brojem vedrih dana i s intenzivnijom potrošnjom energije u ljetnim mjesecima. To su npr. turistički objekti na morskoj obali, u kojima je potrošnja vruće vode u ljetnim mjesecima znatna. I u tom slučaju trebalo bi detaljno proučiti oscilacije intenziteta zračenja, pa uzevši u obzir sposobnost akumuliranja topline u krugu tople vode, utvrditi nije li potrebno predvidjeti i dodatni uređaj za grijanje vode.

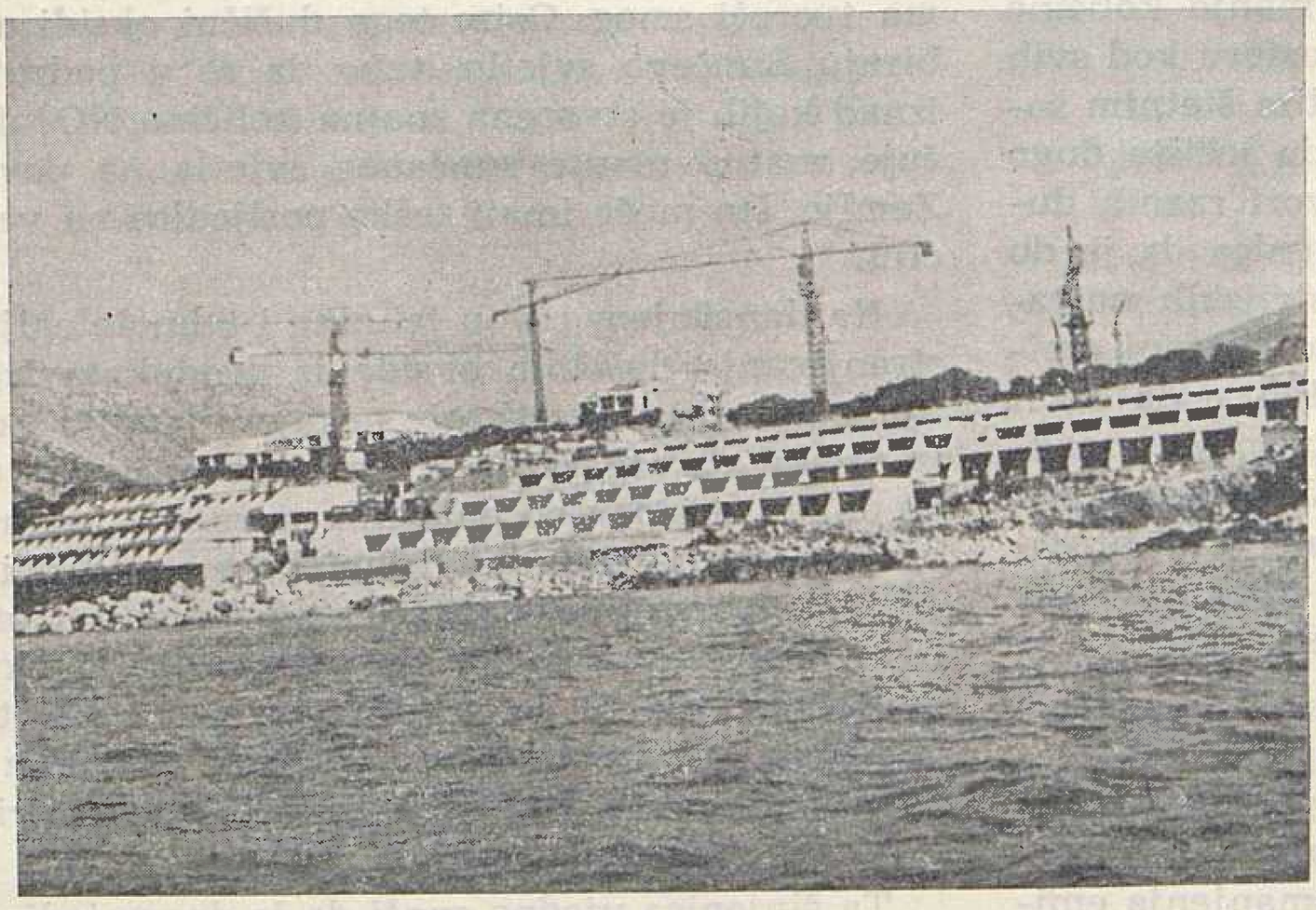
Naravno da bi se takvo postrojenje za iskorištavanje zračenja moglo iskoristiti i za grijanje prostorija zimi, ali je tada svakako potrebno predvidjeti i postrojenje za grijanje na bazi nekog goriva tolikog kapaciteta kao da ne postoji instalacija za grijanje pomoću zračenja. To vrijedi i za stambene objekte, samo što se u njima neće moći postići toliko iskorištenje u ljetnim mjesecima.

LITERATURA

1. I. Penzar: Prilog poznavanju atmosferske mutnoće i njenog djelovanja na sunčevu radijaciju. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1970.
2. I. Penzar: Potencijalno i realno sunčevo zračenje na plohama različite orijentacije, Građevinar 1972, str. 211.
3. Handbook of Geophysics, Mac Millan Company. New York, 1961.
4. Energy and Power, Scietific American Book, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1971.
5. Mjesečni izvještaji Elektroprivrede Hrvatske za 1975. godinu.

Naslov pisaca:
dr Hrvoje Požar i dr Vladimir Knapp, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Hidroelektra GRAĐEVNO PODUZEĆE
41000 ZAGREB, LESKOVAČKA 10
TELEFON: 041 — 512-122, TELEX: 21-603 YU HIDREL PP 247



HOTELSKI TURISTIČKI CENTAR BABIN KUK

IZVODI SVE VRSTE OBJEKATA:

HIDROELEKTRANE
NUKLEARNE ELEKTRANE
TERMOELEKTRANE
AUTOPUTEVE
CESTE
MOSTOVE
VIJADUKTE
KANALE
INDUSTRIJSKE OBJEKTE
HOTELE
I OSTALO.

EMISIJA NO_x IZ LOŽIŠTA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Dubravko Matanić, Zagreb

U članku se daje pregled do sada stečenih znanja o mehanizmu nastajanja, faktorima koji mtječu na količinu i mjere za smanjenje emisije NO_x pri izgaranju fosilnih goriva u kotlovima energetskih postrojenja.

DK 621.311.22.004

UVOD

Dokle god se velike potrebe čovječanstva za raznim oblicima energije budu pokrivale pretežno na bazi fosilnih goriva, bit će neizbježno izbacivati u atmosferu goleme količine plinovitih produkata izgaranja. Ovisno o tehnici izgaranja, ti produkti sa sobom u atmosferu odnose veće ili manje količine štetnih tvari. Zagađivanje čovjekove okoline takvim štetnim produktima postaje sve značajniji faktor pri kompleksnom problemu zadovoljavanja čovjekovih potreba za energijom. U pojedinim slučajevima taj faktor već danas postaje limitirajući. U razmatranju ovog problema valja imati na umu činjenicu da se danas fosilna goriva spaljuju u nizu postrojenja u energetskim i industrijskim pogonima, prometu i domaćinstvima, tako da je podizanje tehnike izgaranja na višu kvalitativnu razinu s obzirom na emisiju štetnih sastojaka, zapravo vrlo kompleksan problem i s obzirom na veliku razornost uređaja za izgaranje u pojedinim granama industrije, energetike i u prometu.

Danas je poznata štetnost produkata izgaranja ugljičnog monoksida, raznih ugljikovodika i aldehida, oksida sumpora SO_2 i SO_3, dušičnog oksida NO, NO_2 i N_2O_5, čađe i krutih čestica koje se izbacuju u atmosferu s plinovitim produktima izgaranja.

Dušični oksidi, ili uobičajeno NO_x, karakteriziraju se činjenicom da se veće ili manje količine ovih štetnih plinova izbacuju u atmosferu kod svih vrsti goriva, što nije slučaj i s ostalim štetnim sastojcima. Interesantno je pri tome da ložišta dugo vremena nisu bila tretirana kao izvori raznih dušičnih oksida. Dokaz je tome i činjenica da je do danas samo veoma mali broj industrijskih najrazvijenih zemalja donio propise o dozvoljenoj emisiji iz ložišta, i to prvenstveno velikih, a da čak i SR Njemačka nema danas zakonom propisanu maksimalno dozvoljenu emisiju NO_x, iako je nedavno donijela nove propise o čistoći zraka. U tim propisima sadržane su tek preporuke o mjerama koje treba poduzimati da se smanji emisija NO_x.

Problem emisije dušičnih oksida u atmosferu počeo se ozbiljno razmatrati prije kojih desetak godina, i to najprije u SAD, no danas postoje dovoljne spoznaje o mehanizmima stvaranja NO_x i mjerama koje se moraju poduzeti radi smanjenja emisije na minimum. Ovdje se prvenstveno misli na mjere koje treba poduzimati kod termoenergetskih postrojenja jer nas u ovim razmatranjima zanima prvenstveno ta problematika. Iako spoznaje o mehanizmima stvaranja NO_x vrijede u principu i kod svih ostalih procesa izgaranja, ipak svaki od procesa iskazuje određene specifičnosti, na što se mora misliti pri organizaciji procesa uz malu emisiju NO_x.

U zemljama s jako razvijenom industrijom količine dušičnih oksida koje se izbacuju u atmosferu veoma su velike. Tako se u SAD u toku 1970. god. u atmosferu izbacilo gotovo $25 \cdot 10^6$ t dušičnih oksida iz raznih izvora. Transport i stacionarni kotlovi izbace u atmosferu gotovo 90% ukupno emitiranih NO_x. Razumljivo je stoga da se upravo snižavanjem emisije iz transportnih vozila i stacioniranih kotlova mogu ostvariti veliki rezultati.

Iz ložišta u atmosferu emitiraju se praktički samo NO i NO_2. Pri tome je količina NO_2, koji je toksičan, znatno manja od NO, koji nije toksičan. Nepoželjnost stvaranja NO ogleda se međutim u činjenici da NO u atmosferi djelovanjem važnih faktora prelazi u NO_2, N_2O_4 i N_2O_5, a oni su svi štetni. Štetno djelovanje dušičnih oksida u atmosferi je višestruko. Većina je jako toksična, a u prisutnosti vode ili vodene pare stvaraju dušičastu, a ponekad i dušičnu kiselinu, tako da se taj proces odvija i u plućima ako su u zraku sadržani oksidi dušika u dovoljnoj mjeri. Dušični oksidi u prisutnosti atmosferskog kisika, a djelovanjem Sunčeva svjetla, reagiraju također s raznim ugljikovodicima tvoreći smog. Osim toga dušični oksidi apsorbiraju Sunčevo svjetlo, tako da se u područjima iznad kojih je stvorena znatna količina NO_x dozračuje znatno manje sunčanog svjetla na površinu Zemlje, što može imati teške posljedice na vegetaciju.

Na današnjem nivou tehnike i tehnologije odstranjivanje dušičnih oksida iz produkata izgaranja znatno je provesti teže nego odstranjivanje SO_2 iz produkata izgaranja. Poznato je međutim da se do danas ni jedan od poznatih postupaka odstranjivanja SO_2 nije pokazao i tehničko-tehnološki i ekonomski prihvatljivim za široku primjenu. Gledano s tog stajališta jasno je da ne postoje objektivne mogućnosti da bi se uskoro mogao razviti takav postupak za odstranjivanje dušičnih oksida iz produkata izgaranja koji bi naišao na široku primjenu u energetskim postrojenjima.

Ta činjenica ujedno znači da je danas jedini način borbe protiv nekontrolirane emisije NO_x iz velikih ložišta nalaženje i analiziranje raznih faktora koji utječu na stvaranje NO_x tokom procesa iz-

garanja, na temelju čega bi se organizirao proces izgaranja kod kojeg ne bi postojali povoljni uvjeti za stvaranje velikih količina NO_x. U navedenim razmatranjima bit će osim tih mehanizama stvaranja NO_x analizirani pojedini utjecajni faktori i dane neke osnovne mjere koje treba poduzeti da bi se smanjila emisije NO_x iz ložišta termoenergetskih postrojenja.

STVARANJE DUŠIČNIH OKSIDA

Dugo se smatralo da je sva stvorena količina dušičnih oksida rezultat oksidacije isključivo atmosferskog dušika. Tek prije desetak godina javili su se prvi nagovještaji da dušični oksidi mogu nastati i reagiranjem s dušikom iz goriva, koji se u gorivu nalazi vezan u raznim spojevima. Kasnija istraživanja potvrdila su tu činjenicu i pokazala da u pojedinim slučajevima količina stvorenih dušičnih oksida nastalih oksidacijom dušika iz goriva može biti veća od količine dušičnih oksida nastalih oksidacijom dušika iz zraka. Detaljna istraživanja pokazala su da se mehanizmi stvaranja dušičnih oksida iz dušika iz goriva i iz zraka međusobno znatno razlikuju, pa su, jasno, i mogućnosti borbe protiv stvaranja NO_x za svaki od spomenutih načina različite. Zbog toga se iz posve praktičnih razloga uobičajilo razlikovati dušične okside nastale oksidacijom dušika iz goriva NO_x^o (NO_x — goriva) i dušične okside nastale oksidacijom dušika iz zraka NO_x (NO_x — termički).

Napomenimo odmah da su mehanizmi stvaranja NO_x^T istražni mnogo bolje negoli mehanizmi stvaranja NO_x^G, što nas međutim neće spriječiti da se na osnovi eksperimentalnih rezultata razluče glavni utjecajni faktori na pojedine mehanizme, a samim time stvorit će se i mogućnost utjecaja na odvijanje tih procesa.

Pri temperaturama koje nastaju u ložištima parnih kotlova i plinskih turbina pri izgaranju fosilnih goriva dovoljno se aktivno odvija oksidacija atmosferskog dušika. Sumarna stehiometrijska relacija oksidacije dana je relacijom.

$$O_2 + N_2 \rightleftarrows 2\,NV - 43\ kcal \qquad (1)$$

pri čemu je energija aktivacije desne reakcije $E_1 = 129\,000$ cal/mol, a lijeve $E_{-1} = 86\,000$ cal/mol. Da se reakcija oksidacije dušika odvija prema relaciji (1), prvi je pretpostavio *Zeljdovič*, te je na osnovi poznatih zakona kemijske ravnoteže i kinetike kemijskih reakcija postavio izrazre za određivanje brzine stvaranja dušičnog monoksida i ravnoteže koncentracije dušičnog monoksida u intervalu od 1 900 do 2 700 K.

Kasnija istraživanja pokazala su da su procesi oksidacije dušika znatno složeniji nego što proizlazi iz sumarne reakcije (1), a reakcija prema izrazu (1) ne nastupa ni pri 6 000°C. U principu oksidacija dušika odvija se nizom lančano vezanih reakcija, čime se izbjegava visoka energetska barijera direktne oksidacije.

Prema današnjim spoznajama mehanizam oksidacije može se reducirati ovim relacijama

$$O_2 + M \xrightarrow{k_2} 2O + M \qquad (2)$$

$$O + N_2 \xrightarrow{k_3} NO + N \qquad (3)$$

$$N + O_2 \xrightarrow{k_4} NO + O. \qquad (4)$$

Ovdje su k_2, k_3 i k_4 konstante brzina kemijskih reakcija (2) (3) i (4), a M je neutralna molekula plina ili neke krute čestice ili stijenke. Brzina cijele lančane reakcije određena je brzinom najsporije reakcije, a to je reakcija (3). Direktno cjepanje dušika prema reakciji (3) zahtijeva još uvijek relativno veliku energiju aktivacije od 75 500 cal/mol, tako da pri temperaturi ispod 1 700 K na značenju dobiva reakcija

$$O + N_2 + M \underset{k_{2-5}}{\overset{k_5}{\rightleftharpoons}} N_2O + M \qquad (5)$$

$$N_2O + O_2 \xrightarrow{k_6} 2\,NO. \qquad (6)$$

U ovom će slučaju brzina stvaranja NO biti određena stacionarnom koncentracijom N_2O, pri čemu je brzina stvaranja N_2O prema reakciji (5) veća od brzine trošenja N_2O prema reakciji (6). Za sve spomenute reakcije (2 ÷ (6) energija aktivacije niža je od energije aktivacije reakcije (1). Prikazana lančana reakcija karakteristična je za zrak zagrijan do visokih temperatura, no kako su u procesu izgaranja prisutni i drugi sudionici, danim se reakcijama pridružuju i druge reakcije dušičnog oksida.

Dosadašnja istraživanja mehanizma stvaranja NO^T nedvojbeno su pokazala da količina stvorenog NO^T bitno ovisi o trima glavnim utjecajnim faktorima, a to su temperatura u procesu, koncentracija atomarnog kisika i vrijeme prelijevanja produkata izgaranja u području visokih temperatura. Samim time određen je i put kojim treba krenuti da bi se smanjilo stvaranje NO^T. Laboratorijska istraživanja *Wickerta* pokazala su da je u laboratorijskim uvjetima moguće bitno utjecati na količinu stvoreno NO_x^T, no treba imati na umu činjenicu da se primjena može bitno razlikovati od laboratorijskih rezultata. Osim toga na temperaturu procesa izgaranja u termoenergetskim postrojenjima može se utjecati na razne načine, koji nisu svi jednako vrijedni, a osim toga u praksi će se ponekad veoma teško razlučiti utjecaj svakog od spomenutih faktora posebno.

Nema sumnje da su mehanizmi stvaranja NO mnogo složeniji negoli je stvaranje NO_x^T, iako nam ni mehanizmi stvaranja tih posljednjih nisu potpuno poznati. Ispitivanja niza istraživača nepobitno su dokazala da se dio dušičnih oksida stvara iz dušika koji je u gorivu sadržan u raznim spojevima. Kao primjer navodimo da su SHAW i THOMAS istraživali utjecaj količine organskih dušičnih spojeva / metil-cijanida i pridina / u gorivu na stvaranje NO_x^T. Kao gorivo im je služio CO jer izgara kod

niskih temperatura: 860 — 1 145 K, tako da se može zanemariti stvaranje NO_x^T. U pojedinim slučajevima izmjerili su vrijednosti NO_x do 1 200 ppm. Do sličnih rezultata došli su *Persching* i *Wickert*. Svi ti eksperimenti nisu međutim unijeli mnogo svjetla u mehanizme stvaranja NO_x^G.

Rezimirajući sakupljena iskustva, Fenimore je pretpostavio da se dušični sopjevi koji su vezani u gorivu prije ili kasnije jave kao neki I spojevi, koji daljnjim reagiranjem prelaze u NO ili u N_2 prema općim relacijama

$$I + R \rightarrow NO + \ldots\ldots \quad (7)$$

$$I + NO \rightarrow N_2 + \ldots\ldots \quad (8)$$

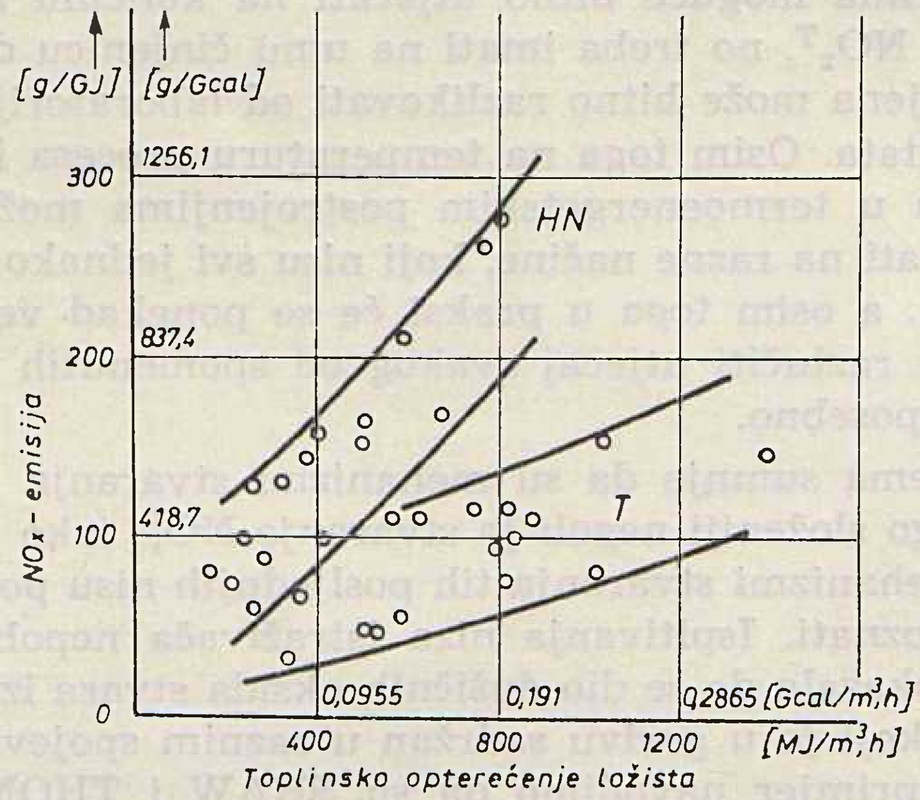
Pretpostavlja se da su I spojevi NH_2 ili atomarni dušik, dok je R vjerojatno OH. Ni jedna od spomenutih reakcija nije jako ovisna o temperaturi. Reakcija (8) dominirat će u područjima s pretičkom goriva, a reakcija (7) u područjima s pretičkom zraka.

Najbitniji utjecajni faktor na stvaranje NO_x^G svakako je sadržaj dušika u gorivu, tako da s porastom sadržaja dušika u gorivu raste i količina stvorenog NO_x^G, iako taj porast nije proporcionalan.

Utjecaj temperature znatno je manje izražen nego pri stvaranju NO_x^T, i uglavnom je sekundarnog zračenja.

MJERE ZA SMANJENJE EMISIJE

Već je upozoreno na činjenicu da se promjenama temperatura u plamenu odnosno u procesu izgaranja znatno može utjecati na stvaranje NO_x^T. Pri tome je bitno da se na temperaturu u procesu može raznim zahvatima na postrojenju relativno lako utjecati. Razumljivo da sa stajališta emisije



Slika 1. Relativna emisija NO_x u ovisnosti o opterećenju ložišta za 5 kotlova s horizontalnim nasuprotnim (HN) i tangencijalnim (T) loženjem zemnim plinom

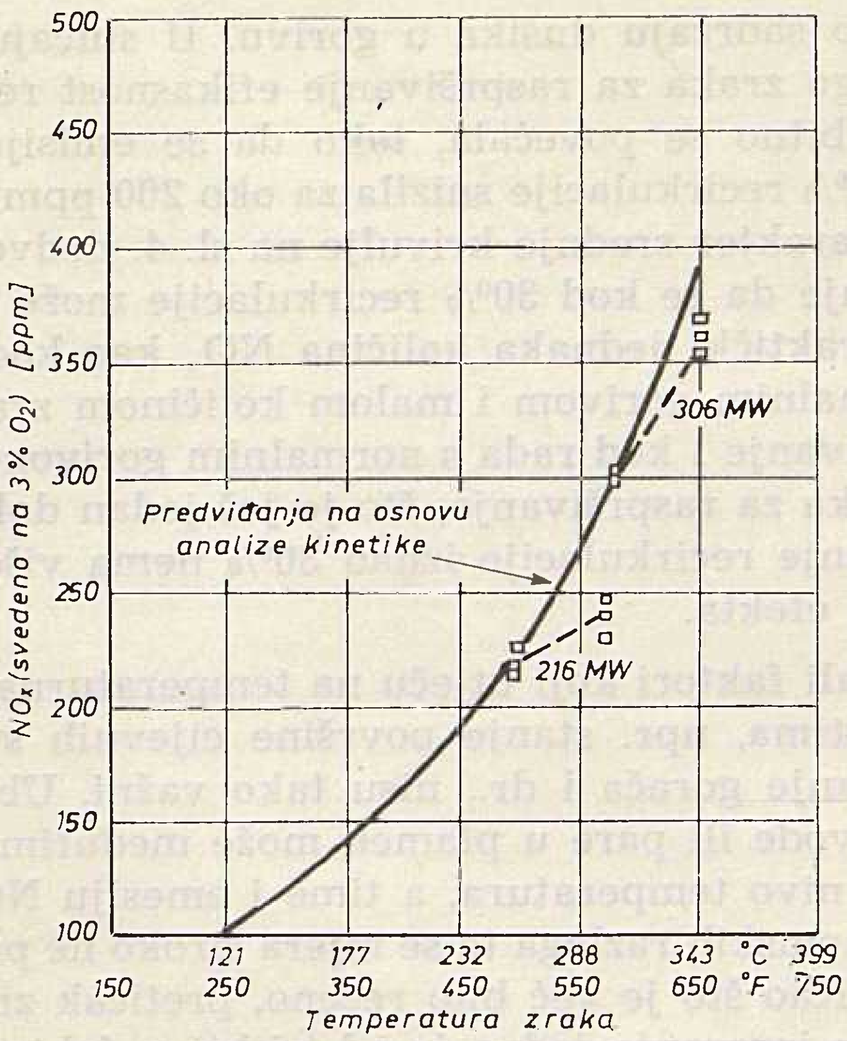
NO_x razne mjere koje se mogu poduzeti nemaju jednake efekte, iako će možda u ponekim slučajema biti ostvareni jednaki padovi temperatura produkata izgaranja na izlazu iz ložišta. To je zato što i NO_x, između ostalog, u znatnoj mjeri ovisi o maksimalnim ostvarenim temperaturama u procesu, drugim riječima ovisi o temperaturnim poljima unutar plamena. Efikasnost pojedinih mjera ovisit će stoga ponajviše o karakteru promjene temperaturnih polja, pri čemu će efekt biti veći što su više snižene upravo one najviše temperature.

Temperature u ložištu uz ostalo veoma jako ovise o toplinskom učinu ložišta i o opterećenju ložišnog prostora. Ispitivanja su pokazala da, u globalu promatrano, s porastom toplinskog učina postrojenja raste i količina stvorenog NO_x pri inače istim specifičnim toplinskim opterećenjima ložišta, ekonomičnošću i tipovima ložišta. To je u prvom redu posljedica činjenice da s porastom veličine kotlovske jedinice opada odnos hlađenih ložišnih površina i volumen ložišta, a to ima za posljedicu porast temperatura u ložištu. Treba međutim imati na umu činjenicu da osim tih faktora postoji i niz drugih faktora koji također bitno utječu na temperaturne nivoe, tako da utjecaj opterećenja ložišta ne mora biti odmah evidentan. Ponekad se čak uopće neće moći razlučiti koliko pojedini utjecajni faktori pridonose ukupnoj emisiji NO_x. Takva je situacija upravo kad se govori o utjecaju toplinskog učina na emisiju NO_x.

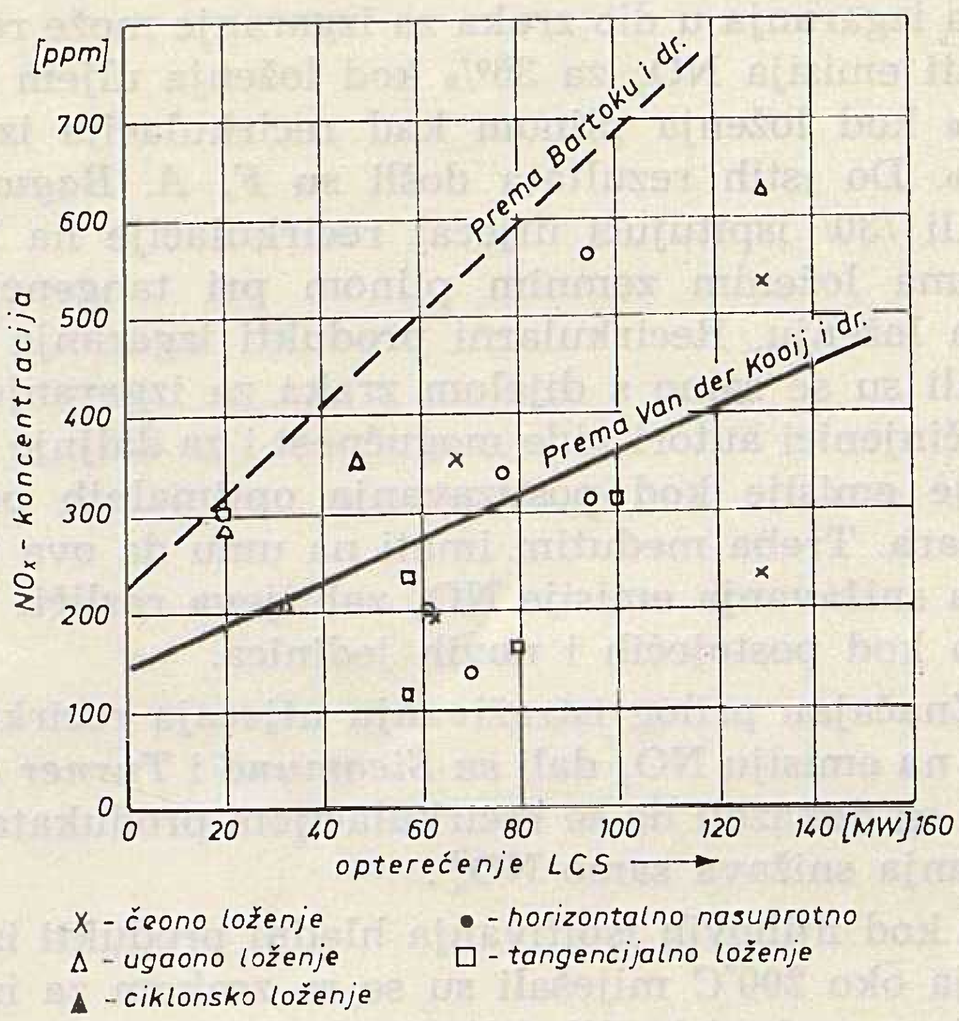
Kod promjene toplinskog opterećenja već postojećeg ložišta situacija je mnogo jasnija. Kod smanjenja opterećenja jedinica smanjuju se i vršne temperature u ložištu, što ima za posljedicu i manju emisiju NO_x. Karakteristična ovisnost emisija NO_x o opterećenju ložišta dana je na sl. 1. Dijagram je rezultat mjernja i ispitivanja *Kooija* i *Elshouta* na jedinicama loženima plinom, no sličan karakter iskazuje se pri loženju drugim gorivima. Bitno je da utjecaj opterećenja nije jednako izražen za sve vrste goriva i za sve načine loženja.

Znatan utjecaj na temperaturu u procesu izgaranja ostvaruje i temperatura zraka za izgaranje. Kod velikih kotlovskih jedinica u pravilu se dio topline unesene u ložište gorivom predaje zraku za izgaranje u zagrijačima zraka, tako da je uobičajena temperatura zraka za izgaranje 200—350°C. Istraživanja utjecaja temperatura zraka na emisiju NO_x pokazali su da je utjecaj znatan kao što se vidi iz sl. 2, na kojoj su prikazani rezultati istraživanja *Bagwella* i dr. (30). Iz danog se dijagrama može ocijeniti da sniženje temperature zraka za oko 110°C dovodi do sniženja emisije NO za oko 50%. Treba međutim pri odlučivanju na ovakvu mjeru snižavanja emisije NO_x dobro analizirati sve implikacije ovakvog koraka, imajući prvenstveno na umu izmjene koje nastupaju u ekonomici postrojenja.

Znatan utjecaj na emisiju NO_x^T, prvenstveno zbog utjecaja na temperaturna polja, iskazuje odnos gorač — ložište, dakle jedan faktor koji je određen nizom drugih, prvenstveno konstruktivnim



Slika 2. Ovisnost emisije NO o temperaturi zraka za izgaranje. Jedinica 320 MW s ugaonim loženjem plinom



Slika 3. NO_x koncentracija kao funkcija punog opterećenja po LCS

parametrima. Ti parametri su način loženja, broj gorača, veličina gorača, raspored i međusobni razmak gorača, oblik ložišta i dr. Danas se u praksi primjenjuju slijedeći načini loženja: čeono loženje u svim stijenama, ugaono, tangencijalno, bočno, podno i horizontalno nasuprotno. Osim toga kod nekih postrojenja prvenstveno starije izvedbe susreće se i ciklonsko loženje. Mnogobrojna istraživanja su pokazala da način loženja može veoma utjecati na emisiju NO_x iz ložišta. Na priloženoj sl. 3. dani su rezultati mjerenja emisije NO_x iz ložišta s raznim tipovima loženja što su ih izveli *Kooij* i *Elshout* na termoelektranama u Nizozemskoj, i to loženim plinom. Na apcisu je nanesen parametar opterećenja kotla po loženoj cijevnoj stijeni (LCS). Iz priloženih je rezultata očito da u prosjeku najnižu emisiju NO_x iskazuju kotlovi s tangencijalnim loženjem.

Toplinski učin gorača također ima značajnu ulogu na emisiju NO_x. Što je učin gorača manji i što ih je veći broj, to je manja emisija NO_x, no pri tome mora i biti dovoljan razmak između gorača kako bi se ostvarila mogućnost da se svaki plamen zasebno formira i da se lokalno razvije u ložištu. Utjecaj razmaka pri tome je često karakteriziran i opterećenjem. Kod manjih poremećaja taj utjecaj je veći, a kod većih opterećenja manji. U pojedinim slučajevima kod punog opterećenja utjecaj razmaka gorača može izostati.

Na emisiju NO_x može se znatno utjecati i određenim konstruktivnim parametrima gorača, kojima je određen intenzitet miješanja goriva i zraka, način i kvaliteta raspršivanja, intenzitet vrtloženja, unutarnja i vanjska recirkulacija, duljina i širina plamena itd. Treba reći da tako velik broj parametara gorača, koji određuju karakter procesa izgaranja, a koji su međusobno tijesno povezani, ne omogućava utvrđivanje bilo kakvih općih zaključaka. Ispitivanja i stečena iskustva na ovom području mogu se ukratko remizirati zaključkom da je praktički za svaki gorač ili tip gorača na konkretnom postrojenju potrebno izvršiti optimatizaciju pojedinih parametara radi minimalne emisije NO_x.

Već je kod analiziranja utjecaja parametara gorača na emisiju dušičnih oksida bila istaknuta činjenica da se recirkulacijom (unutarnjom ili vanjskom) može utjecati na proces stvaranja NO_x. Pri tome su vanjska i unutarnja recirkulacija bile posljedice aerodinamike gorača i ložišta. Svakako da su produkti izgaranja koji su pri tome hladili plamen bili relativno visoke temperature. Razumljivo je stoga da je u sniženju temperatura u ložištu, a samim time i emisije NO_x, znatno efikasnija umjetna recirkulacija »hladnih« produkata izgaranja, kod koje se dio produkata izgaranja posebnim ventilatorom ubacuje u ložište. Pri tome su moguća tri osnovna načina upuhivanja u ložište.

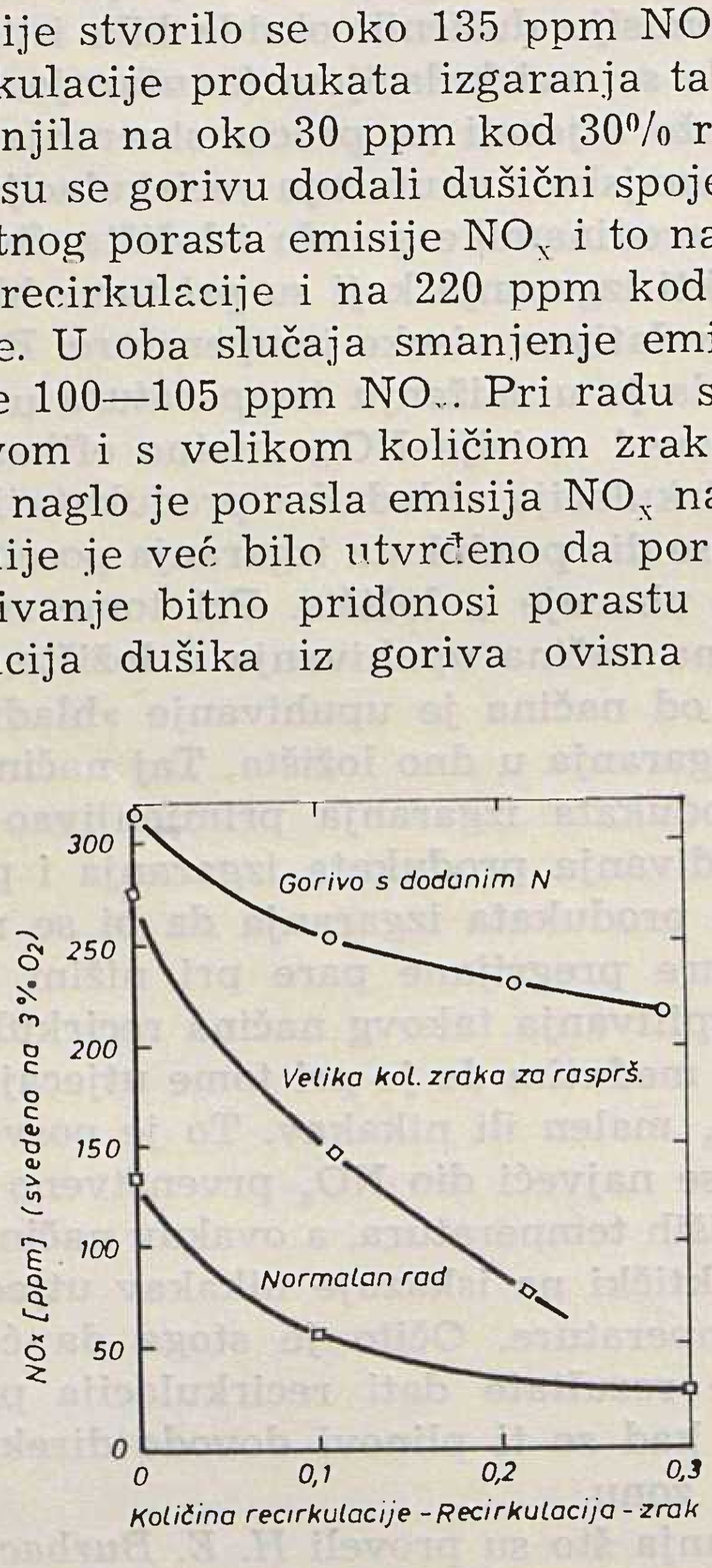
Jedan od načina je upuhivanje »hladnih« produkata izgaranja u dno ložišta. Taj način recirkulacije produkata izgaranja primjenjivao se prije radi ohlađivanja produkata izgaranja i povećanja volumena produkata izgaranja da bi se regulirale temperature pregrijane pare pri nižim opterećenjjima. Ispitivanja takovg načina recirkulacije pokazala su međutim da je pri tome utjecaj na stvaranje NO_x malen ili nikakav. To je posve razumljivo jer se najveći dio NO_x prvenstveno stvara u zoni najviših temperatura, a ovakav način recirkulacije praktički ne iskazuje nikakav utjecaj na te vršne temperature. Očito je stoga da će mnogo povoljnije rezultate dati recirkulacija produkata izgaranja kad se ti plinovi dovode direktno u tu najtopliju zonu.

Ispitivanja što su proveli *H. E. Burbach* i *C. E. Blakselle* pokazala su da se pri dodavanju produ-

kata izgaranja u dio zraka za izgaranje može reducirati emisija NO_x za 35% kod loženja uljem i za 60% kod loženja plinom kad recirkulacija iznosi 30%. Do istih rezultata došli su *F. A. Bagwel* i ostali /30/ ispitujući utjecaj recirkulacije na kotlovima loženim zemnim plinom pri tangencijalnom loženju. Recirkularni produkti izgaranja miješali su se samo s dijelom zraka za izgaranje. U toj činjenici autori vide mogućnost i za daljnje sniženje emisije kod postizavanja optimalnih parametara. Treba međutim imati na umu da ova tehnika snižavanja emisije NO_x zahtijeva različit pritsup kod postojećih i novih jedinica.

Značajan prilog istraživanju utjecaja recirkulacije na emisiju NO_x dali su *Siegmund* i *Turner* /28/, koji su dokazali da se recirkulacijom produkata izgaranja snižava samo NO_x^T.

I kod njihovih ispitivanja hladni produkti izgaranja oko 200°C miješali su se sa zrakom za izgaranje u zračnoj kutiji prije upuhivanja zraka u ložište. Ispitivanja su pokazala da je recirkulacija najefikasnija samo do 30% količine recirkuliranih produkata izgaranja. Ispitivanja su obavljena za razne sadržaje dušičnih spojeva u gorivu. Karakteristično je da je apsolutno sniženje praktički za sve slučajeve jednako i iznosi oko 110 ppm NO_x. S obzirom na to da je sniženje neovisno o sadržaju dušika u gorivu, to navodi na zaključak da se smanjuje samo količina NO_x^T. Da bi to provjerili, autori su obavljali i druge eksperimente, a rezultati su dani na sl. 4. Kod rada s normalnim gorivom bez recirkulacije stvorilo se oko 135 ppm NO_x, dok se kod recirkulacije produkata izgaranja ta količina bitno smanjila na oko 30 ppm kod 30% recirkulacije. Ako su se gorivu dodali dušični spojevi, došlo je do znatnog porasta emisije NO_x i to na oko 320 ppm bez recirkulacije i na 220 ppm kod 30% recirkulacije. U oba slučaja smanjenje emisije NO_x iznosilo je 100—105 ppm NO_x. Pri radu s normalnim gorivom i s velikom količinom zraka za raspršivanje naglo je porasla emisija NO_x na oko 275 ppm. Ranije je već bilo utvrđeno da porast zraka za raspršivanje bitno pridonosi porastu NO_x^T, jer je oksidacija dušika iz goriva ovisna praktički samo o sadržaju dušika u gorivu. U slučaju rada s mnogo zraka za raspršivanje efikasnost recirkulacije bitno se povećala, tako da se emisija NO_x kod 20% recirkulacije snizila za oko 200 ppm. Osim toga karakter srednje krivulje na sl. 4. nedvojbeno pokazuje da se kod 30% recirkulacije može očekivati praktički jednaka količina NO_x kao kod rada s normalnim gorivom i malom količinom zraka za raspršivanje i kod rada s normalnim gorivom i puno zraka za raspršivanje, što je još jedan dokaz da povećanje recirkulacije iznad 30% nema više značajnog efekta.



Slika 4. Recirkulacijom se eliminira NO_x^T

Ostali faktori koji utječu na temperaturna polja u ložištima, npr. stanje površine cijevnih stijena, zakretanje gorača i dr., nisu tako važni. Ubrizgavanje vode ili pare u plamen može međutim bitno sniziti nivo temperatura, a time i emesiju NO_x, no iz ekonomskih razloga ta se mjera široko ne primjenjuje. Kao što je već bilo rečeno, pretičak zraka u procesu izgaranja jedan je od tri bitna faktora kojima se može utjecati na stvaranje NO_x. Treba međutim naglasiti da za razliku od temperatura u procesu izgaranja, na koje se moglo utjecati nizom konstruktivnih i režimnih parametara, kod pretička zraka takvih mogućnosti nema. Režimi rada omogućavaju snižavanje pretička zraka u ložištu samo do određenih granica, koje su određene dopuštenom razinom ugljičnog monoksida, čađe i sadržaja krutih čestica u produktima izgaranja. Kod kojeg će se međutim pretička zraka dospjeti do tih granica na nekom kotlovskom postrojenju, ovisi o kvaliteti cjelokupnog postrojenja za pripremu goriva i uređaju za izgaranje, drugim riječima o kvaliteti gorača, viskozitetu goriva, načinu regulacije itd.

Treba međutim naglasiti, sumirajući rezultate raznih autora, da utjecaj pretička zraka na emisiju NO_x nije tako jako izražen kao što je to slučaj s temperaturama u procesu izgaranja.

Do takvih rezultata došli su autori /51/ sl. 5. Rezultati prikazani na toj slici dobiveni su na jedinicama razne veličine pri loženju zemnim plinom iz Gröningena. Najizraženija ovisnost NO_x o pretičku zraka utvrđena je kod jedinice 183 MW, kod koje su inače utvrđene najveće količine NO_x u produktima izgaranja. Kod jedinice snage 368 MW s tangencijalnim loženjem ta je ovisnost znatno manja, tako da smanjenje sadržaja kisika u dimnim plinovima od 4 na 2% ima za posljedicu sniženje emisije NO_x za oko 60 ppm. Kod malih emisija NO_x ovisnost je praktički linearna, što znači da snižavanje pretička zraka s recimo 1,05 na 1,02 neće donijeti značajnih sniženja emisije NO_x, dok je, s druge strane, potrebno uložiti znatan trud da se uspije sniziti pretičak zraka s 1.05 na 1,02, naročito kad je u pitanju teško ulje za loženje. Kod rada s ugljenom u principu se proces odigrava sa znatno većim pretičkom od spomenutog.

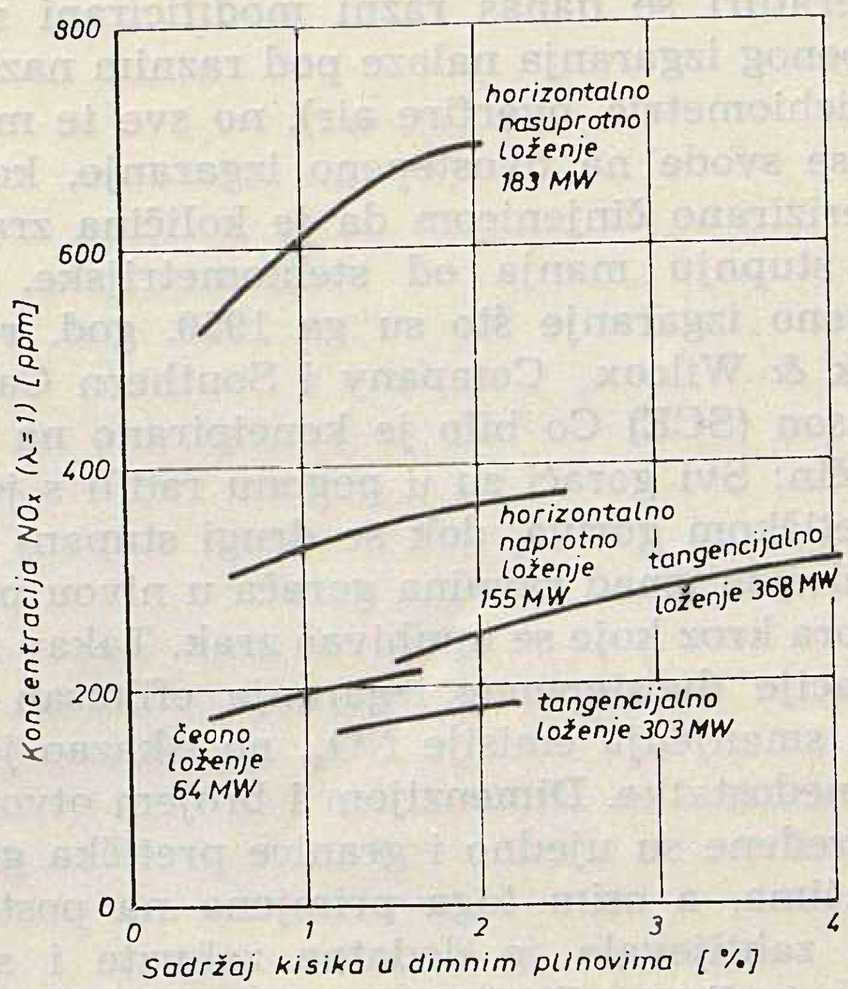
Kad razmatramo ove rezultate, treba međutim imati na umu da je utjecaj pretička zraka na emisiju NO_x svakao nešto veći nego što proizlazi iz

danih primjera. Kod ispitivanja u kotlovskim jedinicama snižavanje pretička zraka ima za posljedicu obvezno povećanje temperatura u procesu, ako zbog toga nije narušen intenzitet miješanja. U principu sve ovisi o kojem se pretičku radi. Kod ekstremno niskih pretičaka i vrlo malo smanjivanje pretička zraka može dovesti do lošijeg miješanja goriva i zraka, a posljedica toga je sporije izgaranje, plamen se izduži i u njemu se formiraju niže vršne temperature. Ako je sniženje pretička izvršeno u granicama u kojima nema utjecaja na kvalitetu miješanja, dolazi u svakom slučaju do povišenja vršnih temperatura, jer je manja količina štetnog zraka koji hladi plamen.

Laboratorijska ispitivanja vezana za stvaranje NO_x^T, o čemu se već govorilo, nedvojbeno su pokazala da je vrijeme prebivanja jedan od bitnih utjecajnih faktora na količinu stvorenog NO_x. Međutim, u praksi je određivanje ove veličine ili poduzimanje određenih mjera za smanjenje vremena prebivanja dušika i kisika u zoni visokih temperatura vrlo složeno, a osnovnu poteškoću čini i činjenica da praktički nije moguće vrijeme prebivanja na postrojenjima jednostavno mjeriti, kao što je to npr. slučaj s temperaturom. Osim toga u praksi i literaturi se vrijeme prebivanja i temperatura kao faktori teško luče jedan na drugoga. Kao primjer navodimo činjenicu da se vrlo često kao cilj određenih zahvata i mjera za smanjenje NO_x postavlja smanjenje vremena zadržavanja produkata izgaranja u području povišenih temperatura. Kao mjera se vrlo često javlja naglo hlađenje produkata izgaranja, što je u biti mjera koja vodi na snižavanje temperatura, a, promatrano egzaktno, dovodi do duljeg zadržavanja produkata izgaranja u određenom prostoru s obzirom na to da su se smanjile brzine strujanja produkata izgaranja zbog manjeg volumena.

Tako promatrano, jedina praktična mjera koja bi se mogla primijeniti radi smanjenja vremena prebivanja jest povećanje brzine strujanja zraka kroz gorač, i produkata izgaranja kroz plamen i ložište. Te mjere u praksi će međutim dovesti do bržeg odvijanja procesa izgaranja zbog boljeg miješanja zraka i goriva, ako drugi parametri ostaju isti, što opet dovodi do viših temperatura u procesu, a posljedica toga je veća emisija NO_x uzrokovana temperaturom. Očito je stoga da ovako promatrano vrijeme prebivanja i temperatura u procesu međusobno jako ovise, tako da se mora u praksi naći određeni kompromis, koji međutim neće biti optimum samo u pogledu stvorenog NO_x, već i niza drugih produkata izgaranja štetnih za čovjeka i njegovu okolinu.

Jedan od najnovijih načina smanjenja emisije NO_x, i to prvenstveno iz velikih energetskih kotlova, jest tehnika dvostepenog izgaranja. Taj način izgaranja sjedinio je u sebi prednosti nekoliko već opisanih načina snižavanja emisije NO_x. Osnovna je ideja kod ovako vođenog procesa da se proces izgaranja razdvoji na nekoliko koraka, tako da se u prvom stupnju ne oslobodi odjednom sva toplina



Slika 5. Koncentracija NOx u ovisnosti o sadržaju kisika u dimnim plinovima

goriva. To je u praksi moguće provesti samo na taj način da u procesu prvog stupnja nema na raspolaganju dovoljno zraka za izgaranje. U tom slučaju neće se postići tako visoka temperatura u plamenu. Drugi stupanj procesa, tj. izgaranje preostalih neizgorenih komponenata kao CO, raznih ugljikovodičnih spojeva, krutih čestica koksa, čađe itd. može se provesti tek kad se u produkte izgaranja prvog stupnja doda potrebna količina zraka za izgaranje. Pri tome je nužno da se taj zrak s produktima izgaranja što bolje izmiješa.

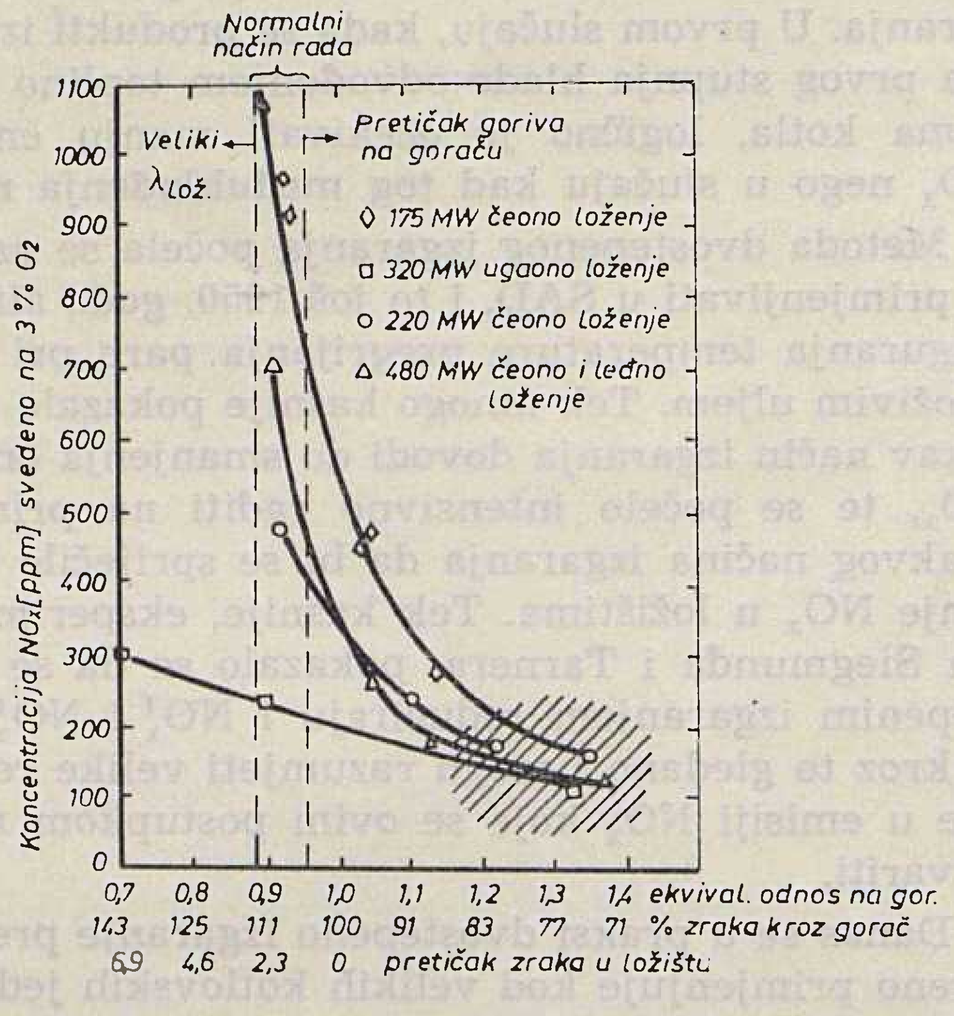
Imajući na umu prije iznesene načine smanjivanja NO_x, za dvostepeno je izgaranje očito da se mogu očekivati znatne redukcije u emisiji NO_x, s obzirom na to da se proces provodi pri nižim vršnim temperaturama u plamenu i pri bitno manjoj količini kisika. Dvostepeno izgaranje sa stajališta emisije NO_x moguće je provesti na dva načina: sa međuhlađenjem i bez međuhlađenja produkata izgaranja. U prvom slučaju, kada se produkti izgaranja prvog stupnja hlade odvođenjem topline stijenama kotla, logično je očekivati manju emisiju NO_x nego u slučaju kad tog međuhlađenja nema.

Metoda dvostepenog izgaranja počela se najprije primjenjivati u SAD, i to još 1950. god., ali radi osiguranja temperature pregrijanja pare pri radu s loživim uljem. Tek mnogo kasnije pokazalo se da takav način izgaranja dovodi do smanjenja emisije NO_x, te se počelo intenzivno raditi na primjeni ovakvog načina izgaranja da bi se spriječilo stvaranje NO_x u ložištima. Tek kasnije, eksperimentima Siegmunda i Tarnera, pokazalo se da se dvostepenim izgaranjem reduciraju i NO_x^T i NO_x^G, pa se kroz to gledano i mogu razumjeti velike redukcije u emisiji NO_x koje se ovim postupkom mogu ostvariti.

Danas se u praksi dvostepeno izgaranje prevenstveno primjenjuje kod velikih kotlovskih jedinica koje su opremljene velikim brojem gorača. U struč-

noj literaturi se danas razni modificirani načini dvostepenog izgaranja nalaze pod raznim nazivima (off-stoichiometric, overfire air), no sve te metode u biti se svode na dvostepeno izgaranje, koje je karakterizirano činjenicom da je količina zraka u prvom stupnju manja od stehiometrijske. Prvo dvostepeno izgaranje što su ga 1950. god. razvili Babcock & Wilcox Company i Southern California Edison (SCE) Co bilo je koncipirano na slijedeći način: Svi gorači su u pogonu radili s jednakim pretičkom goriva, dok se drugi stupanj izgaranja odvijao iznad ravnina gorača u nivou posebnih otvora kroz koje se upuhivao zrak. Takav način organizacije dvostepenog izgaranja efikasan je u pogledu smanjenja emisije NO_x, no iskazao je određene nedostatke. Dimenzijom i brojem otvora za zrak određene su ujedno i granice pretička goriva na goračima, a osim toga primjena na postojeće jedinice zahtijevala je dodatne zahvate i s tim skopčane troškove. Značajan nedostatak tako koncipiranog dvostepenog izgaranja bio je taj da otvori za zrak nisu omogućavali dovoljnu fleksibilnost u pogledu traženja optimuma s obzirom na emisiju ugljičnog monoksida.

S vremenom su ispitivanja pokazala da se metoda dvostepenog izgaranja može ostvariti i na drugi način, bez posebnih otvora za zrak. Dovoljno je pojedinim goračima sniziti količinu goriva, a količina zraka ostaje nepromijenjena. Ostalim goračima količina goriva povećava se bez promjene količine zraka, tako da jedan dio gorača radi s pretičkom goriva, a drugi dio sa znatnim pretičkom zraka, tako da su u ovom slučaju gorači koji rade s pretičkom zraka zamijenili otvore za zrak. Iskustva su pokazala da su mane ovog načina rada znatno manje nego pri upotrebi otvora za zrak. Ako se pak pojedinim goračima dovod goriva potpuno odstrani, a zrak i dalje ostavi u nepromijenjenoj količini, tada ovakav način rada praktički prelazi u naprijed spomenuti s otvorima za zrak, ali s drugačijim smještajem otvora kao i za specifičnim strujanjem zraka.



Slika 6. Dvostepeno izgaranje prirodnog plina

Tipični rezultati u smanjenju emisije NO ostvareni primjenom tehnike »dio gorača pretičak goriva, a dio gorača pretičak zraka« dani su na sl. 6. Rezultati su ostvareni na jedinicama različite veličine kod loženja zemnim plinom. Kao parametar koji određuje način rada gorača odabran je odnos između stehiometrijske količine zraka i stvarne količine zraka kroz gorač koji radi s pretičkom goriva (ekvivalentni ondos). Sve isipitivane jedinice koje imaju loženje riješeno na različite načine (ugaono loženje, čeono loženje itd.) kod normalnog rada s pretičkom zraka u ložištu oko $\lambda = 1{,}10$ i s istim pretičkom na svakom goraču iskazuju veoma velike razlike u emisiji NO, i to od 240 ppm do 1 050 ppm.

Kod dvostepenog izgaranja s dijelom gorača — pretičak goriva i dijelom gorača — pretičak zraka, bez obzira na način loženja, sve jedinice emitiraju NO u rasponu od 100 do 200 ppm, To ujedno znači, promatrajući ne samo apsolutno smanjenje emisije NO, već i njihove međusobne odnose, da je primjenom ovakve tehnike došlo do bitnih smanjenja u razlikama između pojedinih jedinica, drugim riječima smanjila se važnost individualnih karakteristika ložišta i načina u pogledu stvaranja NO_x. To se može potpuno razumjeti ako se ima na umu da dvostepeno izgaranje praktički znači otezanje procesa izgaranja, tako da se proces izgaranja obavlja u većem volumenu. Pri tome je hlađenje veće, a rezultat je i manje stvaranje NO_x, što je osim toga i posljedica manjka zraka u jednom dijelu volumena u kojem se odvija proces izgaranja. Jasno da kod svih jedinica, kad je proces ovako organiziran, individualne karakteristike gorača, intenzitet hlađenja, intenzitet vrtloženja, način raspršivanja imaju sve manju ulogu. S druge strane, što je prijašnji nepoboljšani proces, jasno sa stajališta emisije NO_x bio bliži poboljšanom procesu u smislu načina vođenja procesa izgaranja, to su ostvarene manje redukcije u emisiji NO_x. Maksimalna redukcija NO_x ostvaruje se kod one kombinacije gorača s pretičkom goriva odnosno zraka kod koje se osigurava da najveći dio goriva izgara u goračima koji rade s pretičkom goriva. To se u pravilu ostvaruje u režimima kod kojih je pretičak zraka u cijelom ložištu maksimalan.

Treba međutim istaći da je limitirajući faktor u pogledu količine goriva koja će izgorjeti u prvom stupnju s pretičkom goriva kod izgaranja plina količina CO koja će se pojaviti, a kod izgaranja ulja količina čađe, odnosno pojava dima. Pojava CO i dima može se izbjeći povećanjem količine zraka za ložište u cjelini ili selektivnim isključivanjem pojedinih gorača tako da se osigura dobro miješanje zraka kroz te gorače i dimnih plinova koji u sebi sadrže neizgorjele dijelove.

Praksa je pokazala da gorači u gornjim nivoima pokazuju tendenciju većeg emitiranja NO_x od gorača u donjim nivoima, što je između ostalog posljedica i činjenice da je plamen u području do-

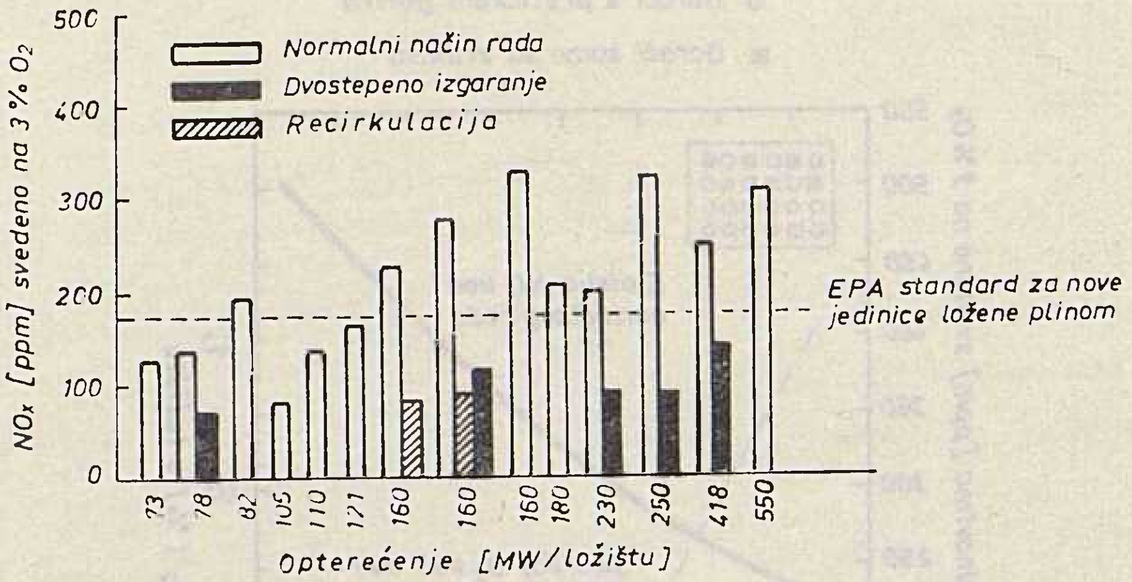
njih gorača bolje hlađen s donje strane, a plamen i produkti izgaranja s gornjih gorača miješaju se s još veoma vrućim produktima izgaranja donjih gorača, čime je spriječeno intenzivnije hlađenje. Iz tih razloga veći se efekti postižu u pogledu redukcije NO_x ako su gorači koji rade s pretičkom zraka smješteni u gornjim nivoima. Treba međutim naglasiti da se praktički za svaku jedinicu moraju provesti individualna ispitivanja da bi se utvrdili režimi rada koji daju maksimalnu redukciju NO_x. Pri tome je granica do koje se može ići, količina CO i pojava dima povezana sa zadovoljavajućom kvalitetom izgaranja.

Dvostepeno izgaranje na opisani način moguće je primjeniti na jedinice ložene plinom, uljem ili ugljenom prašinom. Iscrpne izvještaje o rezultatima ispitivanja, što ih je provela tvrtka Combustion Engneering daju *Blakeslee i Burbach* /36/ za sve vrste loženja.

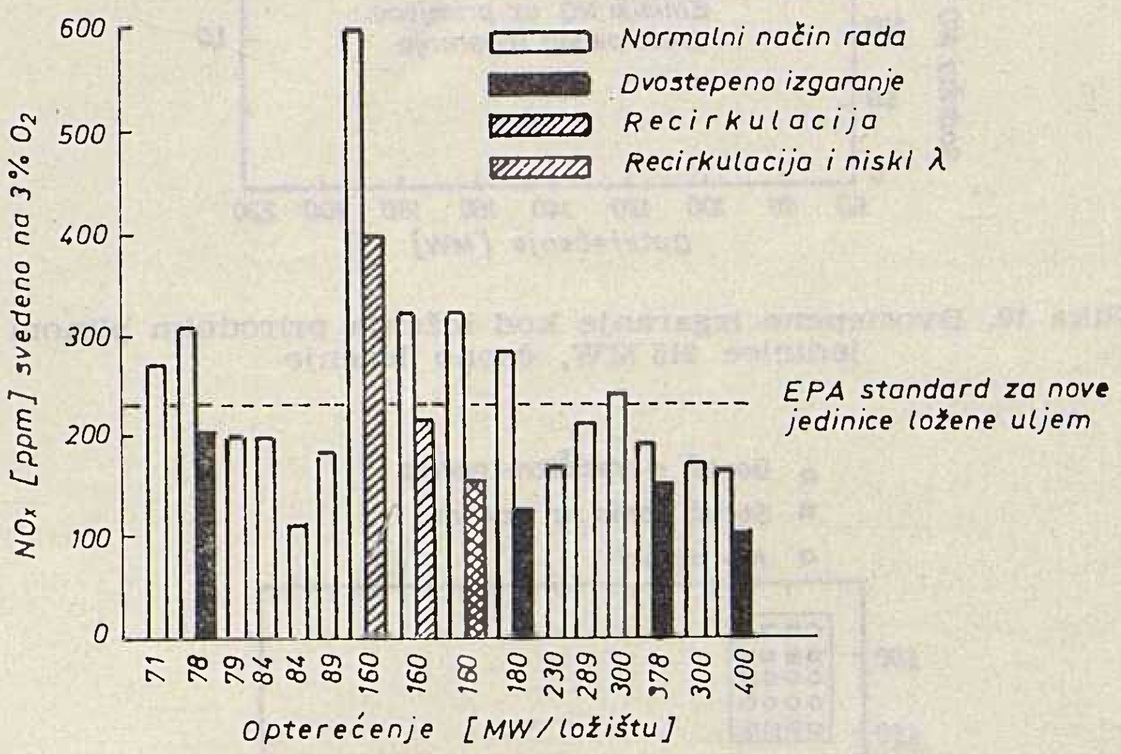
Na sl. 7. prezentirani su rezultati ostvareni na nizu jedinica razne veličine loženih plinom. Sve jedinice snage 73 do 550 MW imaju samo jedno ložište, tako da su rezultati s tog stajališta međusobno usporedivi. Trend porasta emisije NO_x s veličinom jedinica jasno je izražen. Od 14 ispitivanja jedinica samo 5 pri nominalnom radu zadovoljava propise o dozvoljenoj emisiji NO_x, dok ih sve ostale prekoračuju. Primjenom već opisane recirkulacije ili dvostepenog izgaranja kod svih jedinica na kojima su te metode primjenjivane osjetno je smanjena emisija NO_x.

Rezultati ispitivanja kod jedinica loženih teškim uljem dani su na sl. 8. Ono što se odmah uočava jest činjenica da se kod ovih rezultata ne opaža trend porasta emisije NO_x s porastom jedinica. Maksimalna emisija NO_x izmjerena je kod jedne jedinice snage 160 MW, no to je prvenstveno posljedica sadržaja dušika u gorivu koji je u tom slučaju iznosio 1,0%. Kod iste takve jedinice, koja je spaljivala gorivo sa 0,3% dušika, izmjerena je gotovo upola manja vrijednost NO_x. Od 16 ispitivanih jedinica 9 ih je zadovoljavalo propise emisije NO_x bez ikakvih promjena u načinu loženja. Treba međutim istaći da je od ovih devet sedam njih bilo projektirano i izvođeno za spaljivanje ugljena, tako da su u puosjeku imale malo opterećenje ložišta. Za sve jedinice, osim one od 160 MW koja je spaljivala ulje sa 1% dušika, sadržaj dušika u gorivu kretao se od 0,2 do 0,5%. Za većinu jedinica, kao što je to slučaj kod tangencijalnog loženja, nivo emisije NO_x najvećim se dijelom određivao količinom dušika u gorivu s_x^T obzirom na to da je NO iznosio po podacima autora ispod 100 ppm.

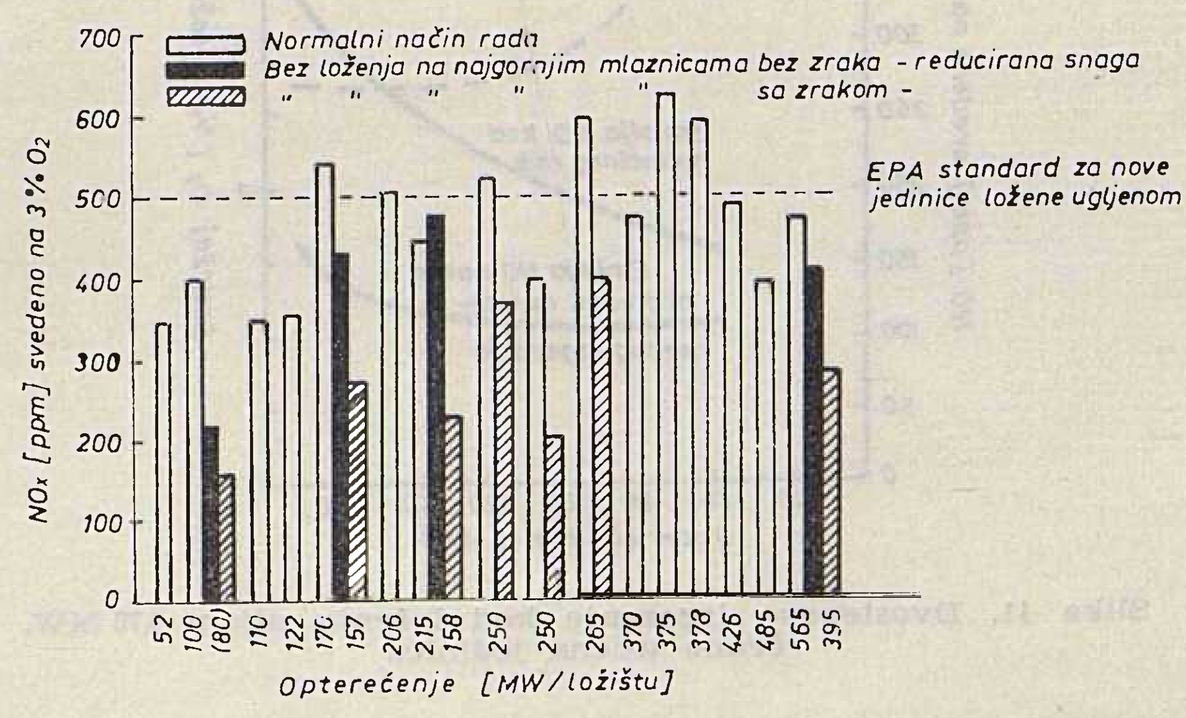
Kod izgaranja ugljena u prosjeku su dobivene znatno veće količine NO_x, sl. 9. Od 16 ispitivanih jedinica 10 ih zadovoljava propise o dozvoljenoj emisiji NO_x. Kod loženja ugljenom dvostepeno izgaranje ostvaruje se tako da se obustavi dovod goriva kroz najgornje mlaznice za smjesu zraka i ugljene prašine, a zrak se i dalje ostavi nepromijenjen. Na taj način mogu se ostvariti znatne redukcije u emisiji NO_x. Kod ispitivanih jednica pri tome je došlo do redukcije opterećenja, a vrijednosti redukcije su dane na sl. 9. Kod pojedinih jedinica redukcija NO_x se postigla kad se oko gornjih mlaznica, koje su bile isključene, obustavio i zrak, kao što je to bio slučaj s jedinicom 100 MW. No, takav način doveo je do znatno manje redukcije u pogledu NO_x nego kod dvostepenog izgaranja. Ugljeni koji su bili spaljivani bili su ligniti i bituminozni ugljeni sa sadržajem dušika u gorivo od 1,0 do 1,7%. Dvostepeno izgaranje s obzirom na efekte koji se postižu u redukciji NO_x svakako je neobično aktualno. Moramo biti u potpunosti svjesni »cijene« ove tehnike.



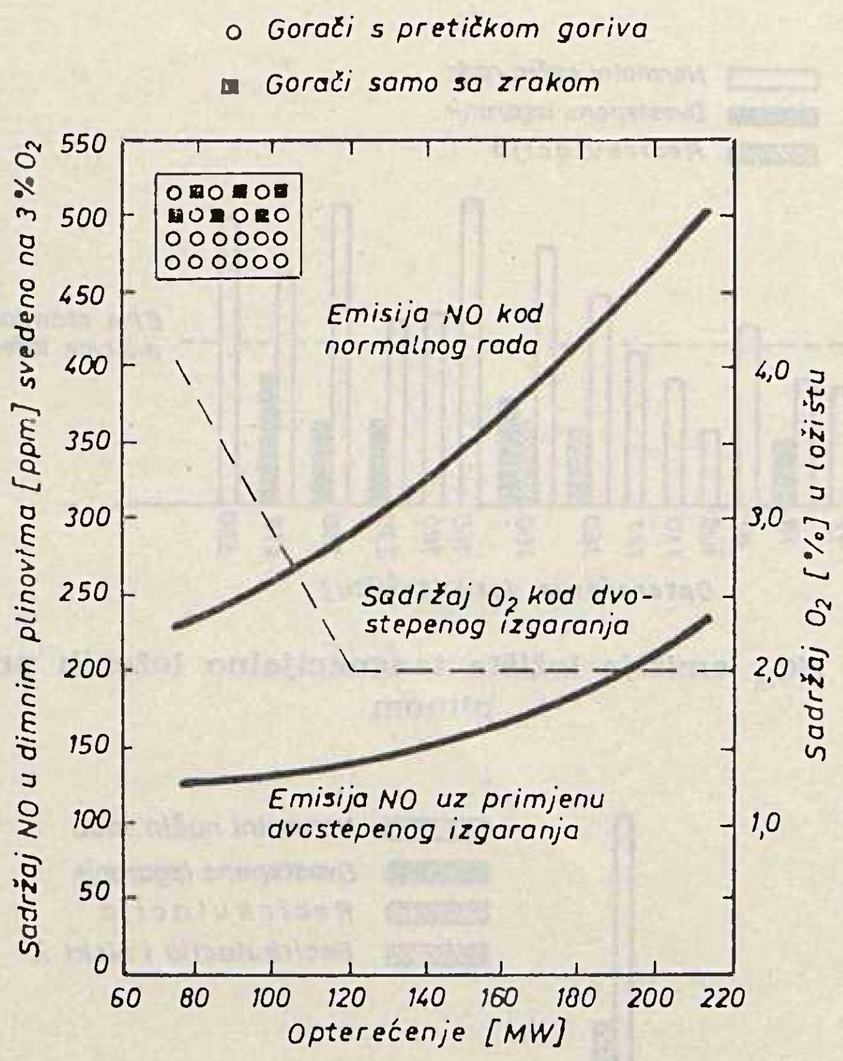
Slika 7. NO_x emisija ložišta tangencijalno loženih prirodnim plinom



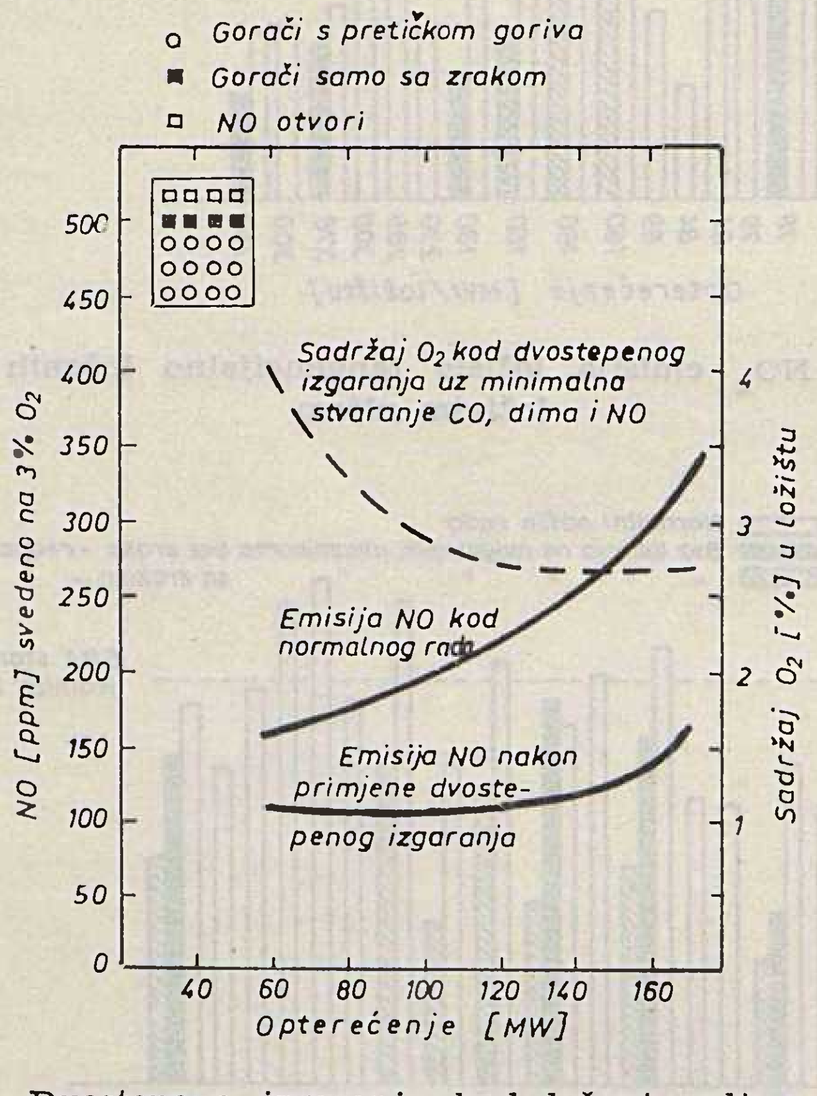
Slika 8. NO_x emisija ložišta tangencijalno loženih teškim loživim uljem



Slika 9. NO_x emisija ložišta tangencijalno loženih ugljenom



Slika 10. Dvostepeno izgaranje kod loženja prirodnim plinom jedinice 215 MW, čeono loženje



Slika 11. Dvostepeno izgaranje kod loženja uljem 175 MW, čeono ložena jedinica

Neminovno je da svako dvostepeno izgaranje organizirano na način kako je to ranije i opisano u sebi u najmanju ruku krije povećanu opasnost od nepotpunog izgaranja. To je potpuno razumljivo ako se ima na umu da organiziranje izgaranja u II stupnju dovodi do određenih problema jer je znatno teže organizirati i osigurati intenzivno miješanje produkata izgaranja I stupnja i zraka za organiziranje procesa u II stupnju, jer se taj proces treba organizirati u prostoru ložišta kad su brzine strujanja bitno manje. Poseban problem koji se postavlja pred organizaciju dvostepenog izgaranja po sistemu »dio gorača s pretičkom goriva, a dio s pretičkom zraka«, jest udešavanje svakog gorača posebno za takav rad, a takve je odnose potrebno zadržati u cijelom opsegu regulacije postrojenja. Opasnost od stvaranja CO, krutih čestica i čađenja znatno su veće nego kod klasičnog načina rada.

Za ilustraciju na sl. 10. i 11. dani su rezultati istraživanja grupe autora /30/. Na dijagramu su dane i redukcije emisije NO_x kod dvostepenog izgaranja za razna opterećenja, a također i vrijednosti O_2 u produktima izgaranja koje se moraju održavati da ne bi došlo do pojave čađenja i CO, odnosno do pogoršanja kvalitete izgaranja. Ono što nas u ovim razmatranjima zanima jest činjenica da su dani nivoi za sadržaj O_2 u produktima izgaranja znatno viši nego se to normalno postiže kod klasičnog rada. Kao primjer navodimo da kod izgaranja ulja uobičajena vrijednost koja se postiže kod klasičnog izgaranja iznosi 1% O_2 u produktima izgaranja. Razlika u pretičku zraka, koji se treba održavati u ložištu kod jednog i drugog načina izgaranja, jest »cijena« koja se plaća da bi se snizila emisija NO_x kod dvostepenog izgaranja.

ZAKLJUČAK

Izložena problematika stvaranja dušičnih oksida kao i veoma velik broj utjecajnih faktora nedvojbeno upućuju na kompleksnost ovog problema. Kompleksnost problema potvrđuje činjenica da današnjim spoznajama o ovom problemu nije moguće predvidjeti s potpunom sigurnošću kvantitativno poboljšanje pri poduzimanju pojedinih mjera.

U praksi, kad se odlučuje o mjerama i zahvatima koji će se poduzeti treba svakom postrojenju zasebno prilaziti, a pogotovo treba misliti na to da li se obavljaju rekonstrukcije na postojećem postrojenju ili se podiže novo postrojenje.

Svaka od poduzetih mjera ima svoju cijenu u investicionim ili pogonskim troškovima, li u jednima li drugima, ili pak u povećanom zagađivanju čovjekove okoline drugim tvarima. Zbog toga pri koncipiranju postrojenja treba upravo težiti za nalaženjem optimiuma, uzimajući u obzir sve tehničke ekološke i ekonomske faktore, što veoma često neće biti jednostavno zbog kompleksnosti ne samo problematike emisije NO, već i svih procesa i pojava u ložištima termoenergetskih postrojenja.

LITERATURA

1. Sigal I. J. — Gurevič N. A. — Nižik S. S. — Markovskii A. V., zbornik Teorija i praktika sžiganija gaza V, Lenjingrad, 1972.
2. Tumanovski A. G., zbornik Teorija i praktika sžiganija gaza V, Lenjingrad, 1972.
3. Lavrov N. V. — Fedorov N. A., zbornik Teorija i praktika sžiganija gaza VI, Lenjingrad, 1975.
4. Sigal I. J. — Gurevič N. A. — Lavrencov E. M., zbornik Teorija i praktika sžiganija gaza VI, Lenjingrad, 1975.
5. Efediev T. B. — Krutcev V. A. — Čuprov V. V. — Enjakin J. P., zbornik Teorija i praktika sžiganija gaza VI, Lenjingrad, 1975.
6. Packov E. A. — Rozenfeljd E. I. — Fedorov N. A., zbornik teorija i praktika sžiganija gaza VI, Lenjingrad, 1975.
7. Packov E. A. — Rozenfeljd E. K. — Fedorov N. A., Teploeneretika, 1974, № 8

8. Southern California Edison Limits NOx with Firing Modifications, Dispatching Ţecnique Electrical World, November 1970.
9. Heap M. P. — Lowes T. J. — Marti G. B., zbornik Fluis Mechanics of Combustion ASME
10. Fedorov N. A., Tehnika i efektivnost ispoljzovanija gaza, Moskva, 1975.
11. Efendiev T. B. — Kotler V. R., Teploenergetika, 1973, № 5
12. TRW Takes a Low-Nox Burner to Market Business Week, January 1974.
13. Wickert K., VGB 1974. Januar H. 1.
14. Brass W. — Leckinhaus H. J. — Resch G., VGB 1975. März H. 3.
15. Tumanovskii A. G., Teploenergetika 1973. — № 6
16. Wahnschaffe E., VGB 1973. April H. 4.
17. Bathke H. — Van Heyden L. — Wienke K., BWK 1974. № 1 Januar
18. Lowes T. M. — Bartelds H. — Heap M. P. — Walmsley R., BWK 1974. № 1 Januar
19. Sigal I. J., Gazovaja promišljenost 1969. № 2
20. Sigal I. J. — Gurevič N. A., Gazovaja promišljenost 1968. № 5
21. Sigal I. J. — Markovskii A. V. — Gurevič N. A. — Nižnik S. S., Teploenergetika 1971. № 4
22. Glebov V. P. — Motin G. I. — Sigal I. J. Sokolov M. L. — Fedjonin I. A. — Nižnik S. S., Teploenergetika 1972. № 10
23. Bell O., BWK — 1974. № 7 Juli
24. Tumanovskii A. G. — Hristič V. A. — Ševčenko A. M., Teploenergetika 1970. № 5
25. Glebov V. P. — Motin G. I. — Jahilevič F. M. — Fedjonin I. A., Teploenergetika 1975. № 4
26. Aghassi W. J. — Cheremisinoff P. N., Power Engineering 1975. June
27. Motin G. I. — Jahilevič F. M. — Sigal I. J. — Fedjonin I. A. Nižnik S. S. — Gračev S. V. Aljbertinskii L. I., Teploenergetika 1974. № 12
28. Siegmund C. W. — Turner D. W., Journal of Engineering for Power 1974. № 1 — January
29. First M. V. — Viles F. J., Journal of the Air Pollution Control Association 1971. № 3 — March
30. Bagwell F. A. — Rosenthal K. E. — Teixeira D. P. — Breen B. P. — Bayard De Volo N. — Kerho S., Journal of the Air Pollution Control Association 1971. № 11 — November
31. Lützke K., Staub-Reinhaltung der Luft 1975. № 4 April
32. Schwarzbach E., Staub-Reinhaltung der Luft 1975. № 4 April
33. Schmitz P., Staub-Reinhaltung der Luft 1975. № 4 April
34. Oelert H. H. — Woschini G. — Zajontz J., Staub-Reinhaltung der Luft 1975. № 4 April
35. Kollrack R. — Aceto L. D., Journal of the Air Pollution Control Association 1973. № 2 February
36. Blakslee C. E. — Burbach H. E., Journal of the Air Pollution Control Association 1973. № 1 January
37. Mac Kinnon D. J., Journal of the Air Pollution Control Association 1974. № 3 March
38. Brocke W. — Schade H., Staub- Reinhaltung der Luft 1971. № 12 Dezember
39. Van Heek K. H. — Jüntgen H., Rechnungen zur Kinetik der NO-Bildung in Verbrennungs processen
40. Reduce Nitrogen — Oxides Emissions Power — 1972. September
41. Biberracher G. — Greulich H. — Hess K. — Stickel R., Verfahrenstechnik 1971. № 3
42. Lommerzheim W. — Hahn H., gwf-gas/erdgas 1972. H. 8.
43. Gasiorowski K., VDI — Z 1972. № 4 — Oktober
44. Wolfrum J., Chemie-Ing-Techn 1972. № 10
45. Zalogin N. G. — Kropp L. I., Teploenergetika 1972.
46. Singh P. P. — Young W. E. — Ambrose M. J., Journal of Engineering for Power 1972. October
47. Gašparović N., BWK 1973. № 1 Januar
48. Alamitos — Pioneers in NOx Control Power 1973. February
49. Powell E. M. — Ulmer R. C., Zbornik: Energy 73 — London 1973.
50. Gatzemeyer J. B., zbornik Energy 73 — London 1973.
51. Van Der Kooij J. — Elhsout A. J., zbornik Energy 73 — London 1973.
52. Hung W. S. Y., Journal of Engineering for Power — July 1976.
53. Gerking E., Wärmekraftwerke und Uhmweltschutz VDEW 1975.
54. Faith W. L. — Atkinsson A. A., Air Pollution, New York — London — Sudney — Toronto 1972.
55. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft — TA Luft — vom 28. 8. 1974.

Naslov pisca:
Mr Dubravko Matanić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu, Zagreb

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.

Impregnira po najsuvremenijim metodama.

Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

PRIJEDLOG ZA POVEĆANJE INSTALIRANE SNAGE I PROIZVODNJE HE SKLOPE

Krešimir Pavičić, Senj

Iznesen je i obrazložen prijedlog kako da se postojeća hidroelektrana Sklope od 25 MW proširi još jednim ili čak dvama dodatnim agregatima. Na kraju je dan pregled radova i približan troškovnik.

DK 621.22.:621.311.21

Uvod

Mogućnost da se poveća instalirana snaga i proizvodnja uočena je još za vrijeme izgradnje prvog agregata HE Sklope. Međutim tada još nismo sasvim poznavali ponašanje akumulacije, nizvodnog dijela korita rijeke Like, a posebno retenzije Selište. Svaka izmjena u režimu voda odražava se na nizvodno područje, a interes nalaže da bude što manje štetnih posljedica. Tada je Selište još uvijek služilo za skretanje voda u prvi tunel, bez potreba za većim zadržavanjem i funkcioniranjem kao dodatna akumulacija. U toku rada HE Sklope sazrijeva ideja o mogućnosti njezina povećanja, pa je sredinom 1975. načinjen Prijedlog za povećanje instalirane snage koji je u stručnim krugovima dobro ocijenjen i prihvaćen kao podloga za daljnji rad. Sada je u izradi idejni probjekt i nadamo se da će ova investicija biti prihvaćena i uvrštena u plan razvoja elektroprivrede SRH s obzirom na energetsko-tehničke kvalitete i ulaganje financijskih sredstava.

Osnovna ideja iskorištenja voda rijeke Like i Gacke još iz 1954. godine predvidjela je izgradnju brane Sklope i stvaranje akumulacionog jezera korisne zapremnine od oko 130 hm³. U području brane predviđena je izgradnja HE Sklope. Elektroprojekt Zagreb izradio je 1959. godine Idejni projekt HE Sklope s dva agregata, svaki po 25 m³/sek. Nakon toga izrađen je 1963. godine investicijski program s jednim agregatom od 45 m³/s, i vezom na mrežu napona 35 kV.

Današnje rješenje odabrano je 1967. god. Radovi na izgradnji počeli su 16. V 1968, prva vrtnja 10. X 1969, a 12. I 1970. objekt je priključen na mrežu 110 kV.

Osnovni podaci

Kota maks. uspora u jezeru .	554	m.n.m.
Kota minim. gornje vode za rad He Sklope	516	”
Kota donje vode za Q=45 m³/s	484,5	”
Kota donje vode za Q=m³/s .	483,24	”
Gubici u dovodu za Q=m³/s /prema proj./	1,44	m
Neto pad varira za Q=45 m³/s od 30,06 do	68,06	m
Konstruktivni pad turbine je .	60	m
Nazivna snaga turbine . . .	32.000	KS
Nazivni instalirani protok . .	45	m³/s
Brzina vrtnje	250	okr/min
Nazivna snaga generatora . .	25	MVA
Srednji godišniji protok . . .	31,18	m³/s
Proizvodnja /prema projektu/	85	GWh/god.

Ponašanje objekta u pogonu

HE Sklope proizvela je:

1970. god.	56 872 722	kWh
1971. ”	56 143 096	”
1972. ”	85 970 840	”
1973. ”	49 523 464	”
1974. ”	106 978 624	”
1975. ”	62 955 867	”
1976. ”	88 263 700	”
Ukupno za 7 god.	506 708 313	kWh
ili prosječno	72 386 902	kWh/god.

U isto vrijeme preko brane Sklope preliveno je:

1970. god.	485 984 436	m³
1971. ”	172 003 494	m³
1972. ”	258 839 537	m³
1973. ”	22 234 710	m³
1974. ”	238 068 900	m³
1975. ”	4 439 485	m³
1976. ”	271 576 049	m³
Ukupno za 7 god.	1 453 151 611	m³
ili prosječno	207 593 659	m³/god.

Te vode HE Sklope nije mogla preraditi zbog premalene akumulacije i instalirane snage /1,4 Q sr./

Sav preljev je u stvari pasivan jer je HE Sklope bila sve vrijeme spremna, a naročito za vrijeme velikih dotoka.

Za ocjenu mogućnosti većeg opterećenja dovodnih organa do same turbine mogu poslužiti podaci dani u tablici 1, gdje je vidljivo da kod nazivnog protoka i 25,89 MW imamo 4,24 m gubitaka u dovodu ili 6%, a kod nazivne snage od 22,5MW gubitak u dovodu iznosi oko 3,3 m ili 4,7%. Brzina vode za nazivnu snagu i kotu jezera od 554 m.n.m. u dovodnom tunelu jest 1,05 m/s, u tlačnom cjevovodu 3,2 m/s, a kroz tablaste zatvarače 3,7 m/s. Dužina dovodnog tunela je 124 m, a tlačnog cjevovoda 156 m.

Tablica 1.

Q	m^3/s.	5,5	10,75	20,62	30,79	40,50	45,16
Otvor turbine	%	14	26	42,5	58%	73,5	82,2
Snaga turbine	MW	0,34	4,22	11,04	18,04	23,88	26,50
Snaga generatora	MW	0,34	3,86	10,67	17,55	23,31	25,89
Kota vode u jezero	m. n. m.	553,98	553,98	553,98	553,97	553,96	553,95
Kota donje vode	m. n. m.	483,63	483,87	484,24	484,50	484,81	484,92
Gubitak tlaka u dovodu do turbine	m	0,21	0,31	1,01	2,08	3,47	4,24

Stvarne mogućnosti HE Sklope za različite kote jezera donekle su vidljive iz dijagrama na sl. 1, koji daje ovisnost snage /MW/ i pada /m/. Ti podaci mjereni su u pogonu.

Iz dijagrama je vidljivo da se već kod pada 51,5 m /536-484,5/ može dobiti nazivna snaga od 22,5 MW.

U području kote 516 m.n.m. u jezeru se za puni otvor turbine javljaju virovi iznad ulaznog uređaja, pa postoji mogućnost ulaska zraka u cjevovod, dok je maksimalna snaga oko 8 MW.

Kod maksimalne kote 554 m.n.m. probali smo kratkotrajno teretiti agregat sve više i ubrzo je došao do 29 MW /39 400 KS/ što je za 23% više od nazivne snage turbine i za 29% više od nazivne snage generatora. Pri tome otvor turbine nije još došao na 100%.

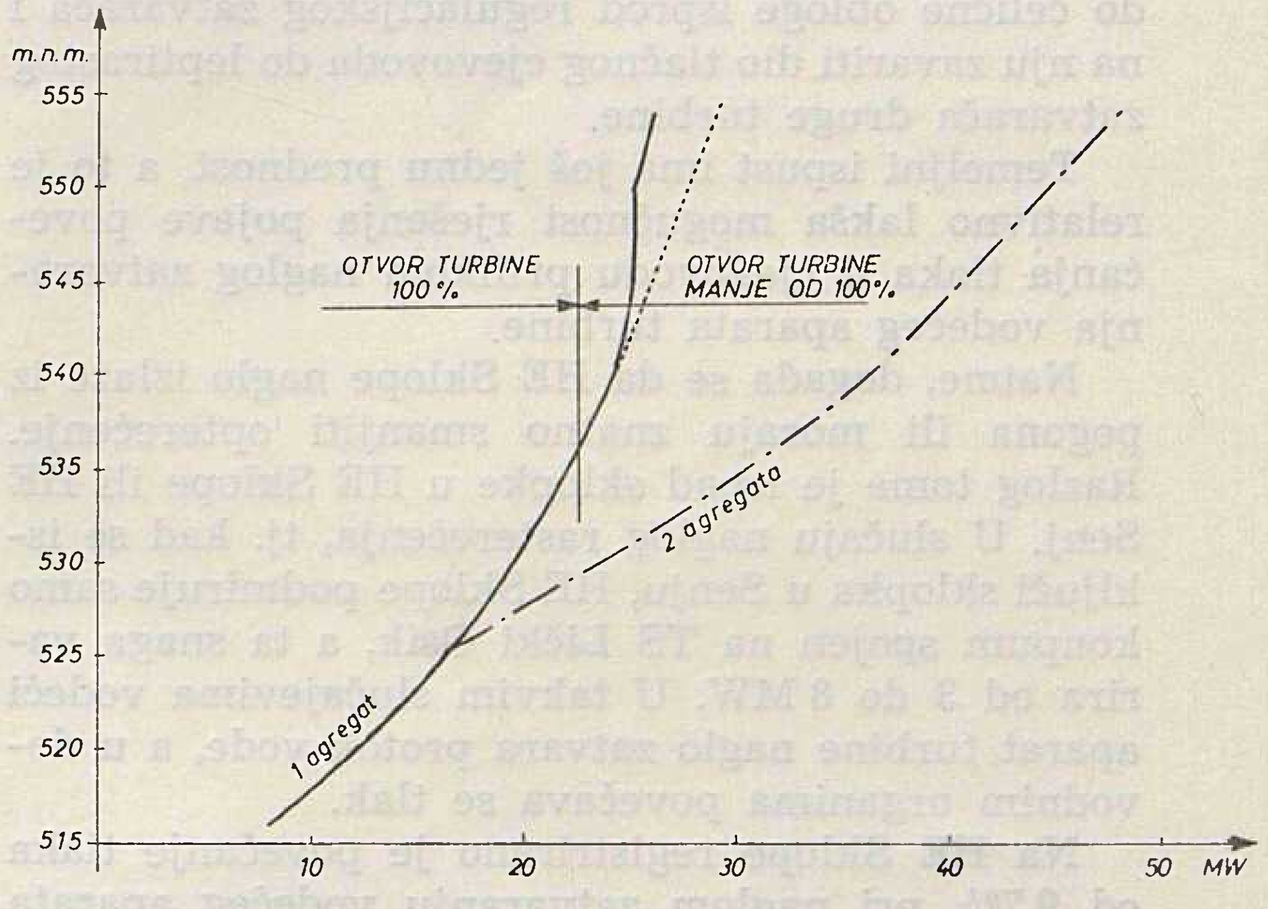
Prilikom mjernja 21. travnja 1970. umjetno je smanjen nivo jezera Sklope, kako bismo dobili podatak za ugovorenu korisnost pri konstruktivnom padu. Razina jezera bila je taj dan na koti 553,91 do 553,98 m.n.m. Trebalo je dakle umjetno spustiti nivo za oko 9,5 m. To je postignuto djelomičnim zatvaranjem otvora dovodnog tunela, koji se sastoji od dvije tablaste vozne zapornice.

Tom prilikom agregat je radio relativno mirno, pa su se mjerenja mogla uredno obaviti, iako je jedna /lijeva/tabla bila potpuno zatvorena, a druga djelomično. To daje dobru sliku o mogućnosti protjecanja i gubicima dovodnih organa. Puni otvor svake tablaste vozne zapornice je 3 000×1 800 mm.

U tablici 2. dati su podaci izmjereni prilikom ovog specijalnog režima rada.

Iz navedenih podataka vidi se red veličine gubitaka, a također i mogućnost preopterećenja dovodnih organa. Točnijim računom moglo bi se doći do veličine gubitaka za povećanje protoka koji bi nastao ugradnjom još jednog agregata /informativno je to oko 10 m/ za kotu jezera od 554 m.n.m. Konzutacijom s isporučiocem tablastih voznih zapornica moglo bi se odrediti do koje brzine vode možemo bez opasnosti povećavati protok, pa se tada odlučiti o potrebi eventualnog zahvata radi povećanja propusnosti.

Točniji proračuni dali bi podatke za snagu iz oba agregata, a za razne pogonske kote vode, te onaj pad kod kojeg je još moguć rad obaju agregata. Vjerojatno je to kota oko 525 m.n.m. a snaga ukupno oko 16 MW.



Sl. 1. Snaga HE Sklope za razne padove od kote 516 do 554 m. n. m.

Kod kote 554 iz dva generatora vjerojatno bismo mogli dobiti 2×24 MW. Informativni dijagram je na slici 1. Ti podaci baziraju se na aproksimativnim računima, što bi se trebalo točnijim izračunom potvrditi ili korigirati.

Posebnom analizom treba vidjeti da li je uputno mijenjati tip nove turbine kako bi se dobilo povoljnije iskorištenje vode za različite uvjete nižih kota jezera.

Pri koti 525 m.n.m. imamo u akumulaciji još 23 hm^3 ili 18% od ukupnog volumena.

Tablica 2.

PODACI IZMJERENI 21. TRAVNJA 1970. PRILIKOM UMJETNOG SPUŠTANJA RAZINE JEZERA SKLOPE DJELOMIČNIM ZATVARANJEM DOVODNOG TUNELA TABLASTIM ZAPORNICAMA

	19,40 sati	20,10 sati
Razina jezera (m. n. m.)	553 925	553 918
Q (m^3/s)	45 576	43 070
Otvor vod. aparata (%)	89	84,2
Pg (MW)	22 759	21 960
Pt (MW)	23 144	22.508
Otvor lijeve table (mm)	0	0
Otvor desne table (mm)	1 970	1 900
Gubici u dovodu do turbine (m)	12 235	12 888

U pogonu smo provjerili utjecaj donje vode koja znatno može smanjiti raspoloživu snagu. Takvih prilika imamo za vrijeme poplave Lipova polja, ali to je veoma rijetko i kratkotrajno.

Što se tiče spoja drugog agregata, treba analizirati mogućnost da se on priključi na temeljni ispust gdje je pomoćni i regulacijski zatvarač. Profil tunela temeljenog ispusta je do pomoćnog zatvarača potkovast u dužini 158 m, a dalje je kružani s promjerom 4 m u dužini 120 m.

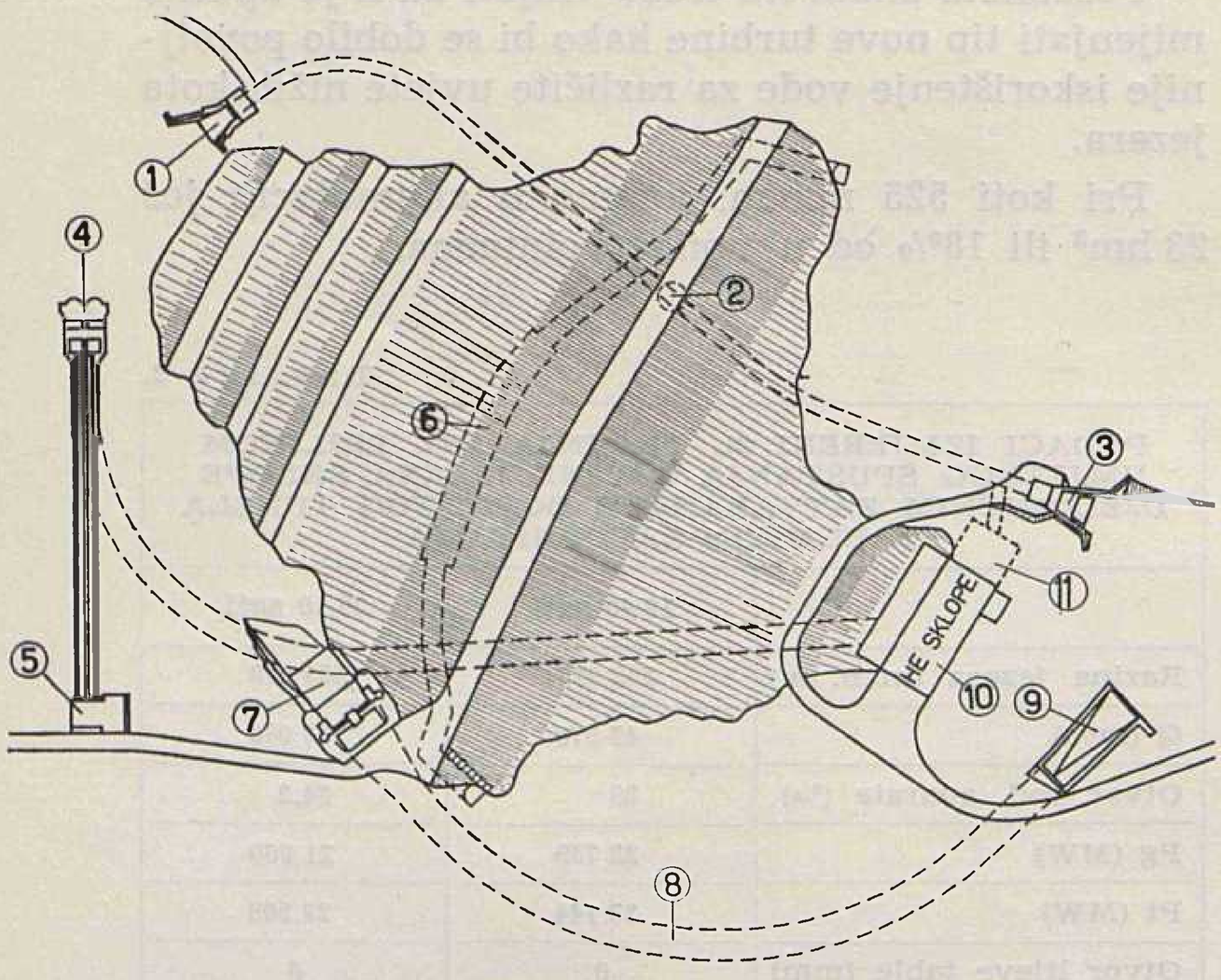
Spoj drugog agregata na temeljni ispust bio bi lakše izvediv i mnogo kraći. Potrebno bi bilo doći do čelične obloge ispred regulacijskog zatvarača i na nju zavariti dio tlačnog cjevovoda do leptirastog zatvarača druge turbine.

Temeljni ispust ima još jednu prednost, a to je relativno lakša mogućnost rješenja pojave povećanja tlaka u cjevovodu prilikom naglog zatvaranja vodećeg aparata turbine.

Naime, događa se da HE Sklope naglo izlaze iz pogona ili moraju znatno smanjiti opterećenje. Razlog tome je ispad sklopke u HE Sklope ili HE Senj. U slučaju naglog rasterećenja, tj. kad se isključi sklopka u Senju, HE Sklope podmiruje samo konpum spojen na TS Lički Osik, a ta snaga varira od 3 do 8 MW. U takvim slučajevima vodeći aparat turbine naglo zatvara protok vode, a u dovodnim organima povećava se tlak.

Na HE Sklope registrirano je povećanje tlaka od 9,7% pri naglom zatvaranju vodećeg aparata kod punog protoka, a brzina vrtnje povećana je 40%.

Te se teškoće mogu eliminirati ugradnjom regulatora tlaka u spiralu turbine, ali u našem slučaju na prvom agregatu radije smo dimezionirali dovode da mogu izdržati ove tlakove i opremu da može izdržati povećanje brzine vrtnje, nego da kompliciramo strojarski dio turbinske opreme.



Sl. 2. Tlocrt pregrade Sklope: 1. ulazni uređaj temeljnog ispusta, 2. pomoćni zatvarač, 3. regulacioni zatvarač, 4. ulazni uređaj dovodnog tunela, 5. zatvaračnica, 6. injekcijska galerija, 7. preljev, 8. tunel preljeva, 9. deflektor, 10. strojarnica, 11. HE Sklope II

Za drugi agregat, spojen na temeljni ispust, ovaj problem bi mogao biti riješen upotrebom regulacijskog zatvarača koji u danom momentu treba ispustiti određenu količinu vode i tako smanjiti porast tlaka na dovodnim organima pri naglom zatvaranju aparata i većem protoku.

O mogućnostima korištenja pomoćnog i regulacijskog zatvarača temeljnog ispusta za priključak drugog agregata treba se dogovoriti s isporučiocem opreme.

U produženju današnje strojarnice prema lijevoj obali ima dovoljno mjesta za smještaj drugog i trećeg agregata. Drugi bi se mogao spojiti na postojeći tlačni cjevovod, a treći na temeljni ispust. Spoj ovog trećeg bio bi zaista kratak (slika 2).

Posebno treba napomenuti da svim ovim kombinacijama ne remetimo planove eventualne buduće izgradnje i proširenja akumulacijske snage, jer bi se ovi radovi upravo uklopili u dinamiku izgradnje. Povoljna je činjenica što su ulaganja postupna i relativno vrlo malena.

HE Sklope s dva ili tri agregata po 25 MVA povoljnije bi iskoristila vodu radeći u vrhu dijagrama opterećenja. U tom smislu postojeća retenzija Selište odigrat će značajnu ulogu. Volumen ove retenzije pri koti 484 m.n.m. jest 3,08 hm^3 kad se kroz tunel Lika — Gacka može propustiti 48,9 m^3/s.

Kod kote 482 m.n.m. volumen iznosi 1,43 hm^3, a kroz tunel prolazi 44,8 m^3/sek.

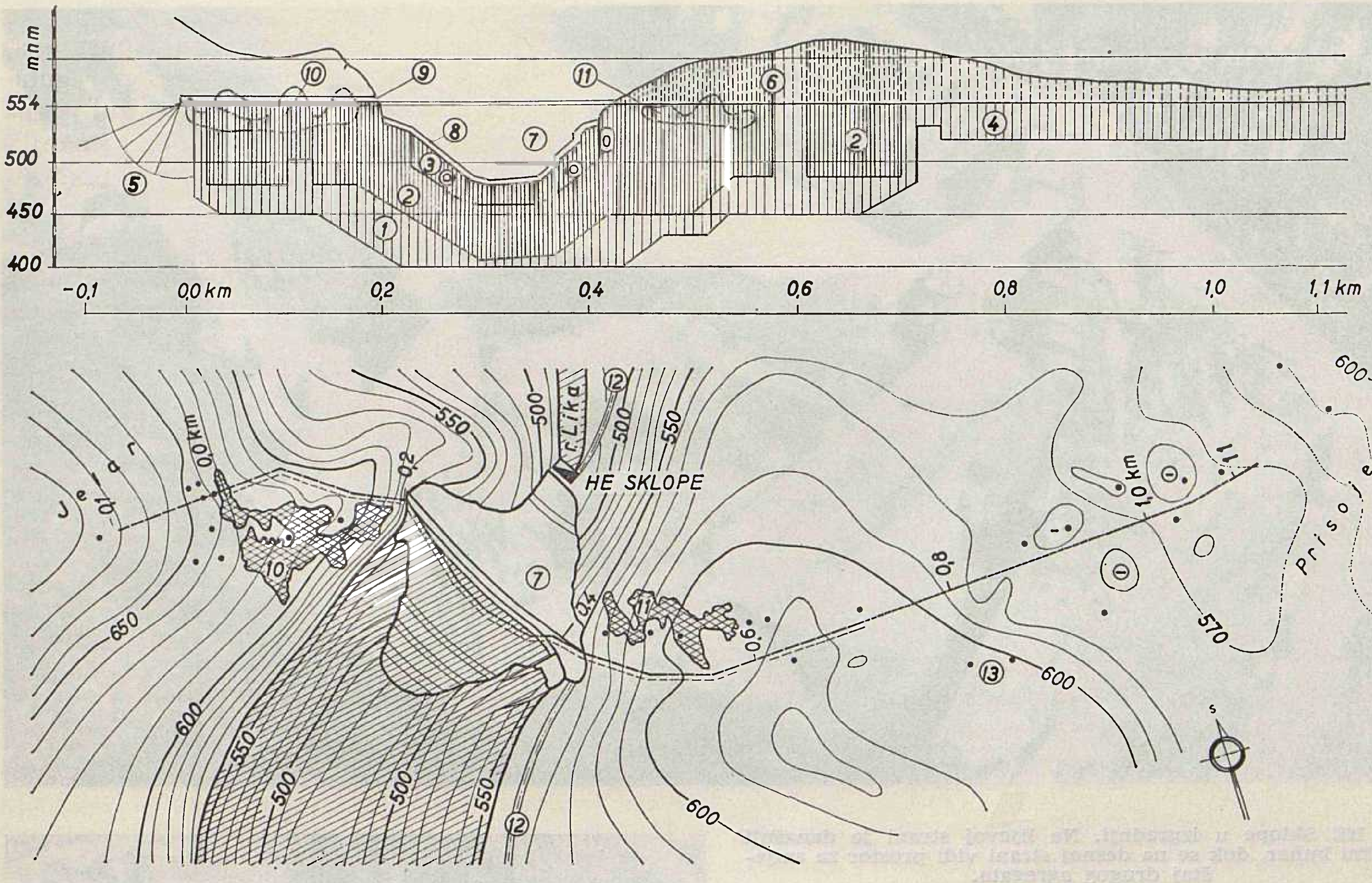
Ciklus rada HE Sklope s povećanom snagom trebalo bi odabrati tako da se osigura nesmetano doziranje HE Senj, a da se sva energija HE Sklope plasira u vrijeme vršnog opterećenja.

U krajnjem slučaju, kad je Gacka minimalna oko 5 m^3/s, a za HE Senj trebamo oko $5{,}10^6$ m^3/dan, HE Sklope morala bi uz protok od 90 m^3/s raditi oko 14 sati da bi iz jezera istekla potrebna količina vode za maksimalnu dnevnu proizvodnju HE Senj. Takav rijedak slučaj bi se eventualno mogao dogoditi ljeti. Obično u to vrijeme proizvedemo oko 1 do $2{,}10^6$ kWh/dan, a to znači da bi Sklope treba raditi 3,6 — 7,2 sata u toku dana ili 2 × po 1,8 — 3,6 sati s protokom od oko 90 m^3/s.

Retenzija Selište može pogodnim rasporedom dotoka primiti i veće količine vode. Točnije hidrološki računi za razne varijante opterećenja HE Sklope dali bi dinamiku punjenja i pražnjenja retenzije Selište te granične mogućnosti. Također bi se mogla dobiti točna dodatna proizvodnja koja prema sadašnjim približnim računicama iznosi oko 16 GWh/godinu na bazi prosjeka 70-74 god. Vrijednost ovog objekta ne treba cijeniti kroz povećanu proizvodnju cjelokupne proizvodnje od oko 90 GWh u vršnu energiju.

Što bi trebalo učiniti

1. Uz postojeću strojarnicu može se izgraditi još jedan betonski bunar u kojem bi se smjestio agregat br. 2 od 25 MVA. Ima mjesta i za dva nova agregata.



Sl. 3. Injekcijska zavjesa: 1. jednoredna zavjesa, 2. dvoredna zavjesa, 3. protezanje zavjese pod branom, 4. desna strana zavjese, jednoredna, 5. rozeta bušotina na lijevoj strani zavjese, 6. bušenje kroz jalovinu, 7. pregrada s hidroelektranom Sklope, 8. kontrolna galerija, 9. injekcijska galerija, 10. spilja u desnom boku pregradnog područja, 11. spilja u lijevom boku pregradnog područja, 12. prilazni put do brane i strojarnice Sklope, 13. istražna bušotina.

2. Geološki odnosi su poznati i trebalo bi da je situacija slična kao i kod postojećeg objekta, možda još nešto bolja, jer se temelji nalaze više na lijevoj obali, a ne u samom koritu rijeke Like.

3. Na koti 503 trebalo bi povezati postojeći objekt s cestom za regulacijski zatvarač. Na taj način bismo imali pristup s obje strane i bila bi olakšana izgradnja.

4. Betonara se može smjestiti kraj regulacijskog zatvarača, a dizalica tako da pokrije cijelo gradilište. To se naročito odnosi na mehanizirani iskop i betoniranje budućeg odvodnog kanala (što nije bilo pri izgradnji HE Sklopa).

5. Izolacija građ. jame od vode moguća je jer postoji nizvodni zagat, a po lijevom zidu postojećeg odvodnog kanala može se izgraditi dovoljno visok obrambeni betonski zagat da spriječi dovod vode zbog rada postojećeg agregata i zbog povećanja nivoa donje vode. Sa stražnje strane strojarnice moguće je također izvesti nasip u slučaju višeg vodostaja.

6. Priključak tlačnog cjevovoda agregata br. 2 trebalo bi izvesti kroz posebno prokopan tunel na postojeći cjevovod uz izgradnju račve. Ako bi se priključak jednog agregata izveo na temeljni ispust, dovodni organi bili bi relativno veoma kratki.

7. Posebno treba prekontrolirati propusnu moć postojećih zatvarača na dovodnom tunelu i po potrebi izvršiti rekonstrukciju u smislu povećanja otvora.

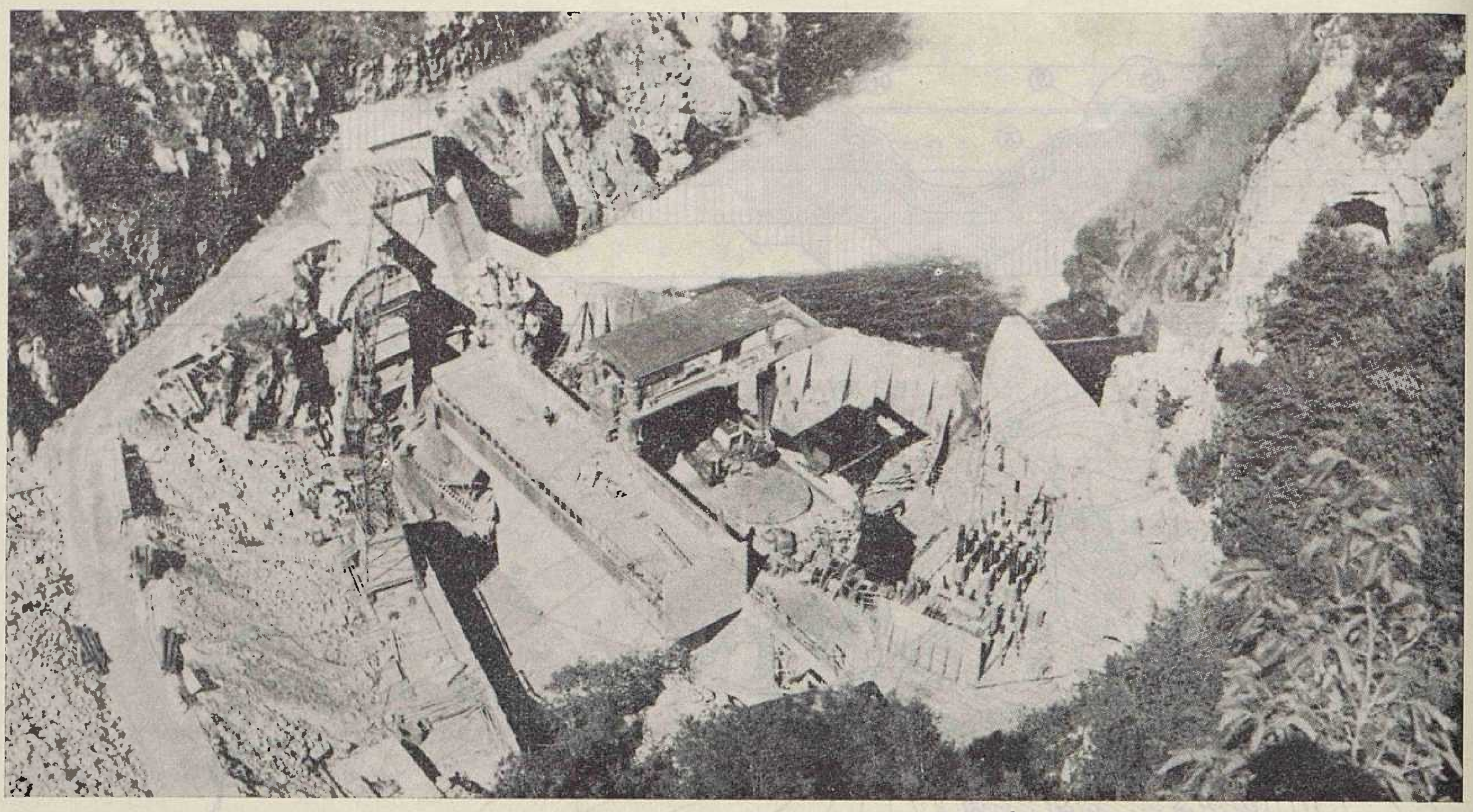
8. Bilo bi poželjno da turbina bude jednake konstrukcije, jer imamo dokumentaciju, a imamo dobra iskustva s postojećom. Trebalo bi je prekontrolirati s obzirom na to da se unekoliko mijenjaju neto padovi radi gubitaka u dovodu, a možda će biti potrebe da se radi s njom i ispod kote 516, kad postojeći agregat više ne može raditi. Dobra iskustva imamo i s generatorom.

9. Novi drenažni bunar ne treba izgrađivati ako beton novog bunara bude nepropustan čak i manje nego postojeći, što se može očekivati. Naime, postojeće crpke, mala 20 kW i velika 80 kW, mogu evakuirati svu procjednu vodu uz normalan nivo donje vode. Prema kontroli u pogonu za samo tri puta po 15 minuta rada manja crpka evakuira sav dnevni dotok. U tom slučaju zaista ne treba graditi nov drenažni bunar, nego novi spojiti s postojećim.

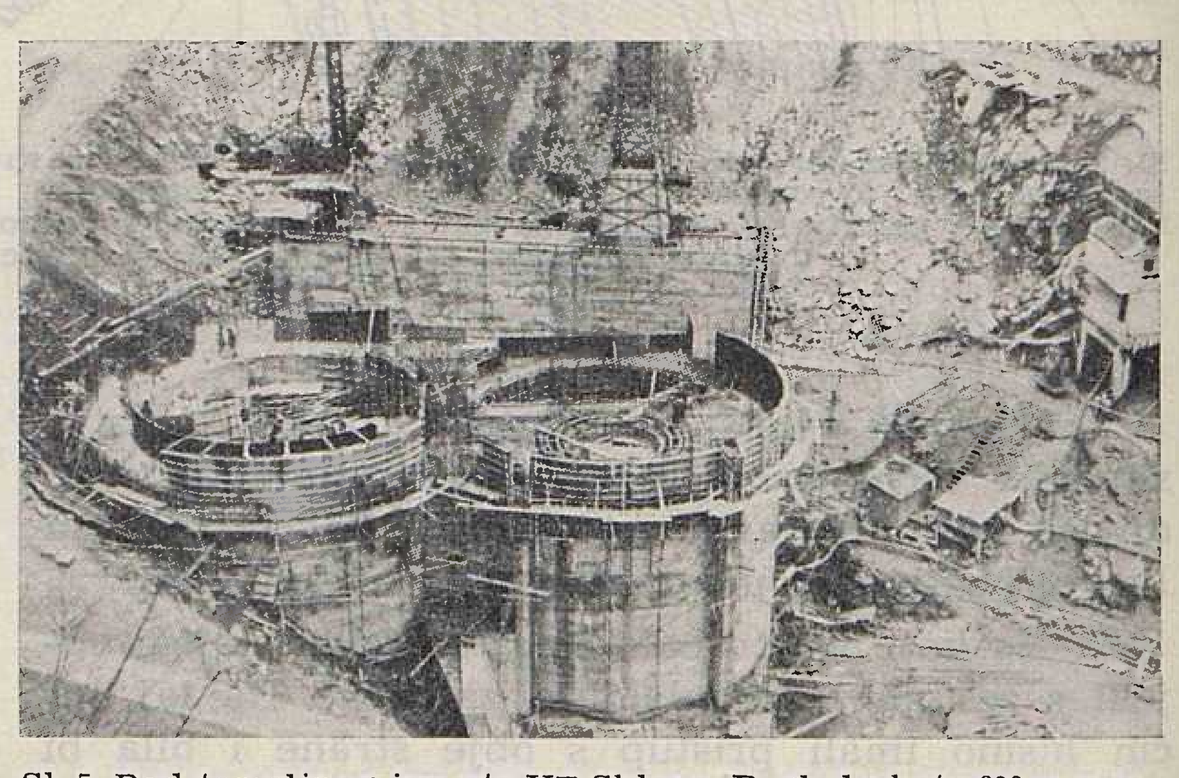
10. Novi filtar za vodu trebalo bi svakako ugraditi kako bismo imali rezervu, iako bi postojeći vjerojatno zadovoljio potrebe dvaju agregata.

11. Ostalu turbinsku opremu treba izgraditi kao kod agregata br. 1. Ugradnja trećeg kompresora za zrak vjerojatno bi zadovoljila dva agregata.

12. Sav se postojeći pomoćni pogon može koristit jer je dovoljno dimenzioniran. Predlažem još jednu aku-bateriju 110 V. Rasvjeta se znatno po-



Sl. 4. HE Sklope u izgradnji. Na lijevoj strani je današnji montažni bunar, dok se na desnoj strani vidi prostor za smještaj drugog agregata.



Sl. 5. Rad temeljnog ispusta HE Sklope. Pogled s kote 600 m.n.m.

većava, tako da kućni transformator kao i sav razvod zadovoljava. Posebno treba razmotriti prijelaz sa 110 V na 220 V istosmjerno radi unifikacije opreme.

13. Komandnu ploču treba prespojiti i preraditi kako bi u nju stalo polje agregata 2 i 3. Valja ugraditi automatiku za daljinsko upravljanje.

14. Pomoćne prostorije u produženju komandne zgrade treba izgraditi i funkcionalno urediti.

15. Na lijevoj obali treba izgraditi polje 110 kV s priključkom na postojeći prvi stup DV 110 kV i na njemu spojiti izlaze, ako bude potrebno izgraditi novi stup.

16. Transformator valja spojiti bakrenim šinama na 110 kV strani, a prijelaz u kabel, ako se spoj ne izvede sa šinama, izvesti u zatvorenoj a ne u vanjskoj izvedbi kako s kabelskim glavama ne bismo imali teškoća kao danas zbog vlage.

17. Nova dizalica nije potrebna. Treba produžiti priključni kabel i tračnice. Odbojnike premjestiti.

18. Nije potrebno izgrađivati nov DV 110 kV HE Sklope — Lički Osik jer je postojeći dovoljno dimenzioniran, (120 mm² Al č. dužina 19 km) pa može prenijeti trostruku snagu HE Sklope.

19. Na HE Sklope postoji rezervni turbinski rotor koji se može koristiti u prvo vrijeme, a kasnije naručiti jedan rezervni za dva agregata.

Naslov pisca:
Krešimir Pavičić, dipl. ing.
HE »Senj i Sklope«, Senj

TROŠKOVI IZGRADNJE DRUGOG AGREGATA OD 25 MVA U HE SKLOPE × 10³ DINARA (CIJENE KRAJEM 1976)

A. Građevinski radovi	
1. Priprema gradilišta	1 500.—
2. Iskop 4 500 m³ à 300 d/m³	1 350.—
3. Beton 7 000 m³ à 2 000 d/m³	14 000.—
4. Betonsko željezo 150 t. à 15 d/kp.	2 250.—
5. Ostali radovi	1 500.—
Ukupno građevinski radovi	20 600.—
B. Elektro strojarska oprema	
1. Tlačni cjevovod s račvom 50 t. à 30 d/kp.	1 500.—
2. Turbinska oprema 230 t. à 150 d³/kp.	34 500.—
3. Generator s priključkom 200 t. à 120 d/kp.	24 000.—
4. Transformator 55 t. à 55 d/kp.	3 000.—
5. N. N. razvod	500.—
6. Komanda	1 000.—
7. RP 110 kV	2 000.—
8. Ostalo	5 000.—
Ukupno elektro-strojarska oprema	71 500.—
C. Osiguranje	350.—
D. Transport	7 000.—
E. Montaža	7 000.—
Sveukupno objekt	106 450.—

PREDNOSTI IDEALNOG IZVORA TOPLINSKE ENERGIJE

Milan Crlenjak, Zagreb

Golemi i neminovni ireverzibilni gubici u procesu konverzije klasičnih i nuklearnih goriva u toplinsku energiju pokazuju u svjetskim razmjerima neodrživost takvog rasipanja. Rješenje je u novom prirodnom i ekološki čistom izvoru toplinske energije koji daje poželjne količine topline s raznim konstantnim temperaturama.

DK 620.91

UVOD

Razvoj suvremene masovne industrijske civilizacije približio se točki zasićenosti. Geometrijski prikazano, tangenta na krivulji uspona se horizontira, čime počinje manje ili više strm pad. Prate ga razne karakteristične popratne pojave, kao nagli porast pučanstva s društvenim, prehrambenim i ekološkim neskladom, čiji se počeci posvuda naziru, a intenzivno se očituju u pretjeranim industrijskim i urbanim aglomeracijama. Povijest tokova raznovrsnih civilizacija karakterizira sve brže udaljavanje zahvaćene grupe ljudi od prirodnog skladnog načina života, navika i običaja, čemu se ni psiha ni ustrojstvo ljudskog organizma ne može dovoljno brzo i harmonično prilagoditi. Kao posljedica toga počinju djelovati poznati neumoljivi biološki zakoni.

Ovdje želimo kritički i realno prikazati jednu od glavnih pokretača naše masovne industrijske civilizacije: suvremenu posrednu proizvodnju topline i motorne snage svijeta koju crpimo iz klasičnih i nuklearnih goriva. U Zaključku se napominje da odnedavna postoji realno rješenje za direktno dobivanje prirodne i čiste toplisnske energije, što bi naravno iz temelja promijenilo tehniku današnjega načina proizvodnje snage i topline.

Energija ili sposobnost vršenja rada samo je jedna jedina, no očituje se u mnogo različitih oblika: kao potencijalna, kinetička, svjetlosna, elektromagnetska, toplinska, nuklearna energija itd. Za naš je planet iskonski i konačni izvor svekolike energije naše Sunce, koji sadrži 99% mase našeg planetarnog sustava. Od ukupno isijane Sunčeve energije, koja iznosi oko 4 milijuna tona gubitka mase u sekundi na sve strane prostora, naš planet prima oko 1/300 milijuntinu Sunčeve energije. Djelovanjem te energije pokrenuto je sve što od eona i danas imamo.

S druge strane, svjetski godišnji proizvod i utrošak primarnih energija u svijetu iznosi tek 0,007% energije dosijane Zemlji od Sunca. Drugim riječima naš godišnji proizvod, na koji smo toliko gordi, naše nam Sunce dosije besplatno za 37 minuta. Iz toga bi globalnog proračuna slijedilo da globalna ugroženost svjetla još ne postoji, što je za toplinsko opterećenje Zemljine površine točno. Ta činjenica na žalost ne isključuje regionalne destrukcije prirodne uravnoteženosti naše okoline u brojnim pretjeranim urbanim i industrijskim aglomeracijama. One su gorak dokaz kratkovidnosti, ograničenosti i pogrešno usmjerenih ambicija današnjeg homo sapiensa.

I DIO

Energija je neuništiva i ne može se stvoriti ni iz čega, ali je prirodno i umjetno pretvoriva iz jednog oblika u drugi, teorijski 100%-tno. Izuzetak je na našem planetu uz život vezana toplinska energija koja postoji i broji se od apsolutne nule, 0°Kelvina (−273,15°C). Naš planet s globalnom prosječnom godišnjom temperaturom površine od oko 14°C ograničuje i koristivost toplinske energije do temperature (287°K). Niža temperatura prirodno je neiskoristiva za pretvorbu u drugi oblik energije. Ta temperatura naše okoline rezultat je uravnoteženosti Zemlji dosijane i odsijane topline u prostor u okviru infracrvenog spektra Sunčeve energije. Ostali dijelovi Sunčeva spektra prelaze u druge oblike energije, kao npr. fotosintetični, pa ostaju dulje ili kraće vrijeme latentni ili očuvani, npr. u hrani i fosilnim gorivima. Umjetno sintetizirani proizvodi vraćaju utrošenu energiju sinteze prilikom upotrebe ili razrađuje našoj okolini u obliku topline.

Značajno je da svi oblici utrošene energije svijeta na kraju poniru kao toplina nepovratno u atmosferu, tlo i mora.

Napomenimo da svekoliki oblici energije imaju zajedničku značajku da su definirani produktom ekstenziteta i intenziteta. Ekstenzitet je vezan uz masu, a intenzitet izražava veličinu kretanja nakupina čestice mase. Kod elektroenergije je intenzitet napon, kod potencijalne visina, kod kinetičke brzina mase, kod toplinske je temperatura koja definira visinu brzine kretanja molekula i atoma mase. Kod 0°K pada im brzina na nulu, pa toplina kao poseban oblik energije iščezava. Iskoristiva energija i izvršeni rad su skalari, tj. totalni diferencijali, ovisni samo o početnom i konačnom stanju njihovih obaju parametara, a neovisni o putu djelovanja.

Veličina iskoristive enrgije potpada pod opći princip relativiteta, npr. toplina s obzirom na temperaturu okoline, kinetičke s obzirom na sustav s kojeg se promatra, itd. Posebno mjesto zauzimaju svjetlosna energija i elektroenergija, koja se rasprostire apsolutnom kozmičkom brzinom.

Konačno, neuništivost je energije temelj fizikalne slike svemira. Ona postoji i djeluje po stro-

gim prirodnim zakonima koji ne poznaju iznimke i ne mijenjaju se. Stoga je današnje manipulirano komercijalno vrednovanje energije isključivo po standardiziranim kvantitetama, bez definirane vrijednosti kvailtete, termodinamički polovično i neprirodno. Realni i trajni su samo prirodni zakoni, kojima treba podrediti i temeljiti sva ljudska djelovanja.

II DIO

Suvremeni proizvod snage i topline, neophodan za održavanje i proširenje masovne industrijske civilizacije, termodinamički dijelimo u prirodni i posredni. Prirodni su izvori energije Sunčeva energija, energija vodopada i vjetra, te plime i oseke. Svi su oni od davnine poznati i neškodljivi. Oni se harmonično uklapaju u tok prirodnih mijena na Zemlji, pa se stoga i stalno pomlađuju. Prirodan je izvor hlapljenje mora i kondenzacija vodene pare u vidu oblaka. Njih vjetar posvuda raznosi, pa se od oborina stvaraju rijeke, jezera i vodopadi, a tu potencijalnu energiju pretvaramo u mehaničku i električnu u hidroelektranama. Priodan je izvor energije i gravitacijsko djelovanje između Sunca, Mjeseca i Zemlje na mora, što na prikladnim mjestima iskorištavamo. Tamo gdje pušu česti vjetrovi, ima starih i novih vjeternjača.

Iskorištavnje pak prirodnog izvora topline naše Zemlje jedva je dotaknuto. Odnedavna postoji realno rješenje i mogućnost za trajno crpljenje praktično neograničene količine topline iz dubina vanjske kore naše Zemlje, i to na bilo kojim mjestima kopna i mora, npr. ispod temelja termoelektrana. Taj je izvor najznačajniji, jer nam može davati temeljnu toplinsku energiju u poželjnim količinama s raznim konstantnim temperaturama, tj. onih kvaliteta koje su raznovrsnim grijanjima i toplinskim procesima snage potrebni. Taj je idealni izvor toplinske energije besplatan i čist, bez ikakvih nusprodukata. Prednosti takvog izvora topline leže u uštedi energije na svijetu, u smanjivanju ireverzibilnih gubitaka procesa konverzije na procesne minimume, a vrijedne sirovine sadržane u gorivima ostale bi na raspolaganju za proizvodnju čovječanstvu potrebnih i korisnih medikamenata i bjelančevina. Čista atmosfera i otpad otrovnih nusprodukata spaljivanjem današnjih goriva važno je za buduće generacije, ali i poželjno.

III DIO

Od današnje ukupno instalirane snage na svijetu, koja iznosi oko 15 milijardi kilovata, na elektrane otpada 11%, na lokomotive, brodove i avione 4%, a na automobile svih vrsta 85%. Svedemo li račun na kopna, gdje se nalaze pretežni proizvođači i potrošači energije, automobili opet fungiraju s 85%. Uz pretpostavku kontinuiranog nastavka sadašnjega trenda razvoja imat ćemo 1985. godine udvostručenje današnjih kapaciteta, tj. oko 30 milijardi kW, koji svi troše posredne enrgije, tj. goriva. Toplinski motori i grijanja koriste tek dio proizvedene energije, a ostatak ponire nepovratno u našu okolinu. Ne treba zaboraviti ni na goleme kapacitete naprava i uređaja za dobivanje ogrjevne topline.

Kontinuirani smjer razvoja tehnike od prve tehničke revolucije — od izuma Wattova parnog stroja, do današnje druge, oslobađanjem latentnih energija atoma — karakterizira sve veću koncentraciju energije na jedinicu volumena strojeva, naprava i postrojenja. To nas je dovelo do krune industrijske civilizacije, do nuklearnnih termoelektrana. Time je otvorena nova dubiozna epoha industrijske civilizacije.

Suvremeni standardizirani postupci i procesi za proizvodnju mehaničke i elektroenergije prezentiraju se komplicirano ovako:

Dobivanje temeljne toplinske energije vrši se kaotičnom ireverzibilnom oksidacijom C-H-spojeva klasičnih goriva. Ponajprije spaljivanjem šuma — prirodnih tvornica biogenog kisika i apsorbensa CO_2, pa zatim ugljenokopa i konačno nafte i zemnog plina. Proces izgaranja prati razaranje molekularnih struktura goriva s kvantnim fenomenima, od čega koristimo samo toplinski dio latentnih energija spaljenih goriva. To je neizbježno spojeno s ireverzibilnim energetskim gubicima. Dobivenu toplinsku energiju pri visokim teorijskim temperaturama neproduktivno spuštamo na mnogo niže temperature produktivnih toplinskih procesa. Taj se gubitak može kvantitativno proračunati entropijskim analizama.

Tako tretiranu toplinu dovodimo termodinamičkim procesima toplinskih motora, gdje se toplina uz gubitke pretvara u mehaničku energiju. Dobivenu mehaničku energiju pretvaramo u električnu elektrogeneratorima uz male gubitke. Tako proizvedenu elektroenergiju transformiramo na visoki napon i prenosimo dalekovodima do potrošača uz daljnje gubitke. Potrošači pretvaraju elektroenergiju pomoću elektromotora u mehaničku ili grijalicama u toplinu, ali opet s gubicima.

Uobičajeno je da se cijena proizvedene jedinice elektroenergije računa po standardiziranim stupnjevima djelovanja. Oni omjeravaju kvalitativno definiranu elektroenergiju s kvantitetom iscrpka topline iz utrošenog goriva, što je apsurdno; brojnik sadrži oba parametra energije, a nazivnik samo kvantitetu, iz čega ne može rezultirati nulta dimenzija omjeravanih brojeva, premda se dimenzije u koherentnim sustavima krate. Toplinski se iscrpak rađa iz goriva s teorijskom temperaturom izgaranja, a taj parametar energije-intenzitet topline, nije ni prešutno iskazan. Jasno je da se sa takvim stupnjevima djelovanja ne mogu ni naslutiti golemi gubici spaljivanja goriva. Na kraju potrošač poslovično neracionalno koristi utrošenu energiju tako da do efekta, tj. proizvodnosti početne energije po jedinici radnog vremena dolazi tek 2 do 3% sadržaja latentne energije fosilnih goriva.

Još poraznije je djelovanje našeg najnovijeg izvora toplinske enrgije za nuklearne elekrane. Po Einsteinu može se od 1 kg urana U^{235} fisijom pretvoriti tek 1 gram u energiju, pa 999 grama kontaminarane mase cirkulira između elektrane i postrojenja za regeneraciju. Od jedne tisućinke oslobođene energije dobivamo u ponajboljim nuklearnim elektranama tek 1/5 000=0,000 2% u obliku elektroenergije na pragu elektrane.

U natkritičnoj količini raspada se uran lančano i teško kod milijuna stupnjeva, s najtežim i dugoročnim posljedicama za živa bića. Nasuprot tome, u jednom rudniku urana u Africi vrši se prirodno usporena fisija pri ugodnoj ogrjevnoj temperaturi. Konačno, u unutrašnjosti Sunca vrši se kontinuirano proces termonuklearne fuzije, od kojeg smo udaljeni oko 150 milijuna kilometara. Na elektromagnetske, svjetlosne i korpuskularne radijacije Sunca sva su živa bića imuna još prije rođenja.

Klasična su goriva vrijedna sirovinska baza za mnoge korisne industrije i produkte, npr. lijekova i bjelančevina. Bjelančevine danas proizvode posebne bakterije 2 000 puta brže od strojeva od sirove nafte. Ta goriva, koja su nedoknadiva i ograničena nepovratna baština prošlih geoloških epoha, nemilice spaljujemo i nepotrebno trošimo. Usput trujemo našu biookolinu popratnim nusproduktima našeg današnjeg tehničkog umijeća. Već je duže vrijeme jasno da današnji način proizvodnje topline i snage nije održiv ni za prve generacije naših potomaka. Nastavimo li s takvim postupcima i proširujemo li i dalje opisane tehnološke postupke, unaprijed smo izgubili bitku za opstanak zdravog čovječanstva.

Napravimo usporedbu stihijskog izgaranja klasičnih goriva s prirodnim izgaranjem ljudske hrane. Oboje su sirovine pretežno C-H-spojevi. Procesom probave postupno se razgrađuju molekule hrane u spojeve prilagođene individualnim potrebama organizma. Zatim se pomoću posebnog enzima regulirano dodjeljuju pojedini atomi kisika tako da se oksidacija i — po količini i ritmu — vrši uz konstantnu temperaturu oko 40°C, koja je optimalna na funkcionalnost cjelokupnog organizma unatoč varijabilnim uvjetima opstanka. Otpadni produkti se prirodno raspadaju, uključujući izravno organizme nakon smrti tako da tvore podlogu za nove živote — biološku masu humus. Tehničko oponašanje takvog savršenstva hladnog izgaranja uz optimalnu kvalitetu topline i minimalni prirast entropije moglo bi biti nedostižna budućnost.

IV DIO

Na protuprirodne zahvate kojima nasilno zadiremo u ravnotežu naše prirodne okoline — u atmosferu tlo i mora — atakirani sistem reagira po prirodnim zakonima. Smjer i način otpora uravnoteženih sistema može se unaprijed odrediti kvalitativno pomoću Le Chatelierova univerzalnog načela »najmanje prisile«, objavljenog 1884. godine. Načelo vrijedi za sve prirodne i umjetne sisteme ako su stabilizirani, a obuhvaća sva fizikalno-kemijska tehnička područja, sve do objašnjenja nastanka neutronskih zvijezda. Nešto prošireno ono glasi:

»Prisilnom mijenjanju vanjskih uvjeta uravnoteženosti bilo kakvih stabiliziranih sistema, oduprirat će se atakirani sistem tako da će vlastitom latentnom energijom nastojati oslabiti ili poništiti smetnje svoje uravnoteženosti, nakon čega se uspostavlja prvotno ili novo stabilizirano stanje sistema«.

Za razumijevanje narinutih smetnji, neka nam posluži termodinamička formulacija Le Chatelierova načela: d(P,T,v)=0, odnosno f(P,T,v)=konstantno. Tlak (P) i temperatura (T) su parametri energije koji djeluju izvana na promatrani sistem mase (v). Sve tri promjenljive veličine stanja, funkcionalno su međusobno povezane po prirodnim zakonima, pa određuju svako ravnotežno stanje. Vjerodostojnost je prognoza to veća što temeljitije poznajemo sastav i okolinu promatranog sistema.

Indirektni dokaz ovog univerzalnog načela: Ako bi stabilizirani sistemi reagirali suprotno tom načelu, potpomogli bi djelovanje narinutih smetnji, pa uravnotežena stanja uopće ne bi bila moguća.

Treba naglasiti da u prirodi ne postoje neka trajna stabilna stanja, već samo manje ili više primjetljivi slijed približno reverzibilnih sekularnih promjena stabiliziranosti, npr. sazrijevanje ležišta nafte i ugljena, starenje planeta, itd. Pri uspoređivanju toka prirodnih promjena s tehničkim zahvatima vrijede naravno različite veličine jedinica vremena: za tehniku sekunde, za prirodu bitno duže jedinice, najvjerojatnije u omjeru s uspoređivanim masama.

ZAKLJUČAK

Sve što je ovdje izneseno i manje ili više poznato ne bi bilo objavljeno da od početka sedamdesetih godina ne postoji konkretna revolucionarna slika budućeg zdravog i prirodnog svijeta u pogledu dobivanja temeljne toplinske energije, čiste, besplatne, u iskonskom obliku, u poželjnim količinama i kvaliteti za čitav preostali vijek opstanka čovječanstva. Slika budućnosti izrađena je na trajnim prirodnim temeljima, a već današnja nam tehnika dopušta realizaciju tog pothvata.

Poznato je iz povijesti koliko je vremena trebalo da se uvriježene dogme odbace. To vrijedi i za naše, navodno duhovito i odlično iskorištavanje suvremenih goriva i neuporedivo savršenstvo suvremene proizvodnje topline i snage. Ovome se pridružuje i poslovična nezahvalnost za napore kojima se prodire do novih znanja i realizacija. No i taj se proces uklapa u spor prirodni tok kristalizacije novih ideja.

Naslov pisca:
Dr Milan Crlenjak, dipl. ing.
Zagreb, Šubićeva 9

IZBOR SPOJA I OPREME MJERNOG SLOGA NA ORAČUNSKIM MJERNIM MJESTIMA DISTRIBUTIVNIH POTROŠAĆA

Vojmir Dvornik, Split

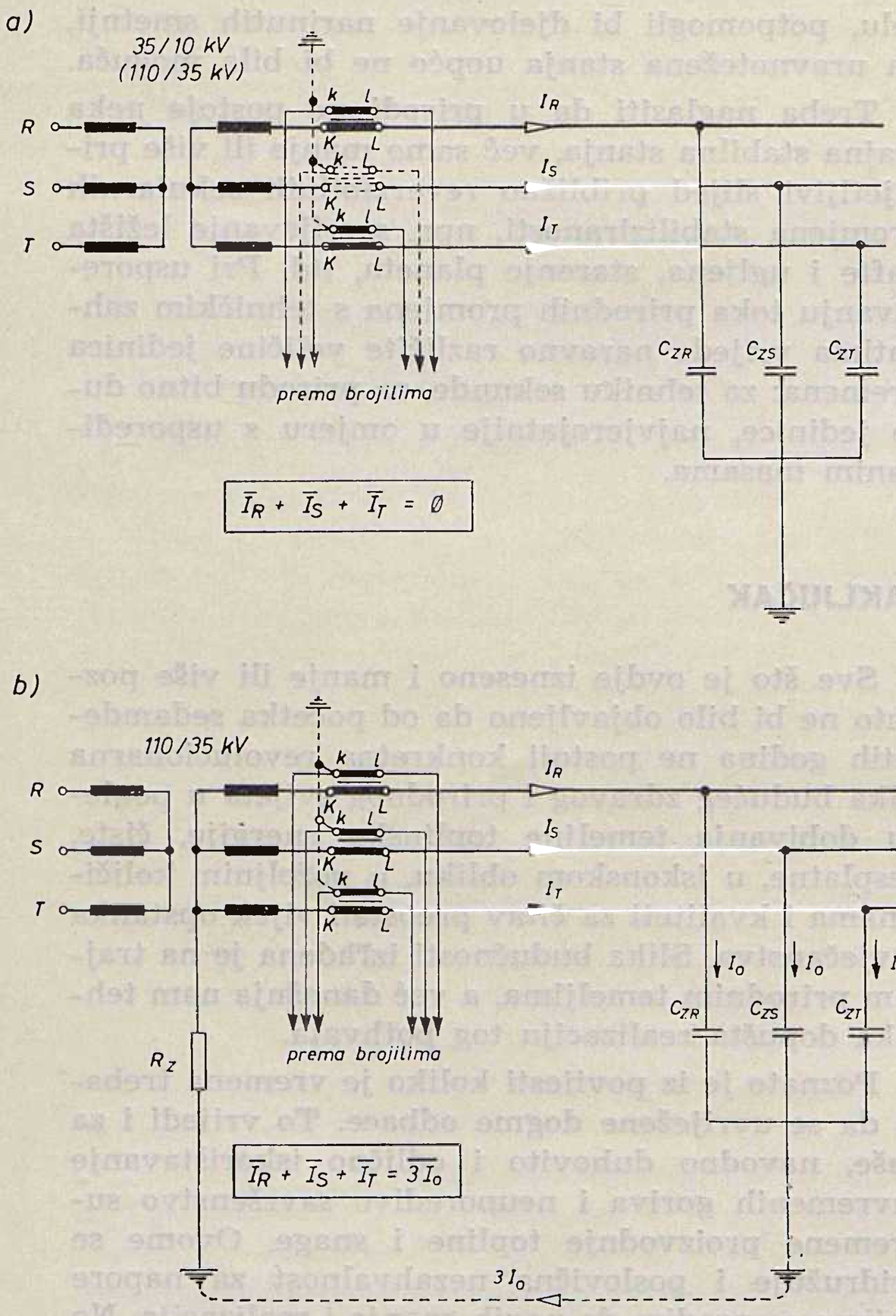
Razmatra se problem izbora opreme i spoja mjerne konfiguracije s obzirom na pogonski sustav i stanje distributivne električne mreže. Analiziraju se konfiguracijski spojevi koji se najčešće susreću na realnim mjernim mjestima distributivnih potrošaća.

DK 621.317..1:621.316.1

1. UVOD

Osim brojila kao osnovnih instrumenata, na mjernim mjestima električne energije i snage susreću se i drugi elementi mjerne opreme. Ovisno o veličini, konfiguraciji i ostalim konzumnim karakteristikama potrošača kao i primijenjenom stupnju tarifne odredbe, ti elementi mogu biti:

— mjerni transformatori;
— zbirni mjerni uređaji — sumatori,
— mjerila vršnog opterećenja,
— uklopni satovi,
— ostali pomoćni uređaji i oprema.



a) mreža s izoliranom nultočkom transformatora
b) mreža s uzemljenom nultočkom transformatora putem maloomskog otpora R_z

Sl. 1. Uobičajeni sustavi distributivnih visokonaponskih mreža

Spajanjem svih spomenutih instrumenata i uređaja putem spojnih mjernih vodova dobivamo funkcionalnu cjelinu nazvanu mjerni slog, odnosno mjerna konfiguracija.

Kako je ispravno i točno mjerenje isporučenih, odnosno preuzetih količina električne energije jedno od temeljnih pitanja u odnosima isporučitelj — kupac, a takvo se mjerenje smije očekivati samo na mjernim mjestima s ugrađenom kvalitetnom mjernom opremom i ispravnim spojem mjerne konfiguracije, očito je da ovom problemu valja posvetiti posebnu pozornost.

2. POGONSKI SUSTAVI DISTRIBUTIVNIH MREŽA

Budući da se danas u distributivnim električnim mrežama kao najviši napon pojavljuje naponski nivo 110 kV, ovisno o konfiguraciji mreže i gustoće opterećenja, primjenjuje se ili dvostepena ili trostepena transformacija, tj.:

— 110/10 kV . . . . . 10/0,4 kV
— 110/20 kV . . . . . 20/0,4 kV
— 110/35 kV . . 35/10 kV . . 10/0,4 kV

Prije nego se upustimo u analizu ispravnog izbora mjerne opreme u smislu točnog mjerenja energije i vršnog opterećenja, neophodno je konstatirati da u distributivnim električnim mrežama egzistiraju dva, bitno različita naponska sustava:

a) sustav s tri vodiča i izoliranom nultočkom transformatora — mreža 10(20) kV (slika 1.a);

b) sustav s tri vodiča i uzemljenom nultočkom transformatora preko maloomskog otpora, pri čemu zemlja ima ulogu četvrtog vodiča — mreža 35 kV (slika 1.b).

Sustav koji susrećemo na naponskom nivou 0,4 kV (sustav s četiri vodiča) nećemo posebno razmatrati jer sve zaključke izvedene analiziranjem mreže ad b) smijemo bez daljnjeg primijeniti i na ovaj mrežni sustav.

Osnovna je značajka sustva navedenog ad a) sadržana u relaciji:

$$\bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T = \emptyset \qquad (1)$$

što znači da suma struja u fazama u svakom momentu i na svakom dijelu mreže mora biti jednaka ništici.

U mrežnim sustavima navedenim ad b), zbog nejednakih dozemnih kapaciteta ($C_{ZR} \neq C_{ZS} \neq C_{ZT}$) i nejednakih dovoda ($G_R \neq G_S \neq G_T$) pojedinih faznih vodiča, pojavljuje se struja izjednačenja koja protječe zemljom i uzemljenjem nultočke, zbog čega ravnotežu sustava zadovoljava jednadžba

$$\bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T = \bar{I}_{O(Z)} \qquad (2)$$

U mrežama 0,4 kV, zbog niskog napona i kratkih dužina vodova, zanemarujemo odvode i dozemne kapacitete. Međutim radi nesimetrično opterećenih faza (jednofazni potrošači) i s tim u vezi uvijek prisutne struje u nulvodiču jednadžba ravnoteže je identična već navedenoj jednadžbi (2).

3. SPOJEVI MJERNIH KONFIGURACIJA

Za mjerenje električne energije i snage primjenjuju se danas na mjernim mjestima distributivnih potrošača slogovi u različitim spojevima (sl. 2). Pri tome razlikujemo dvije osnovne skupine slogova:

a) mjerni slogovi kod kojih se mjerne veličine (napon i struja) dobivaju putem dvaju dvopolno izoliranih naponskih i dvaju strujnih transformatora (sl. 2.a i g);

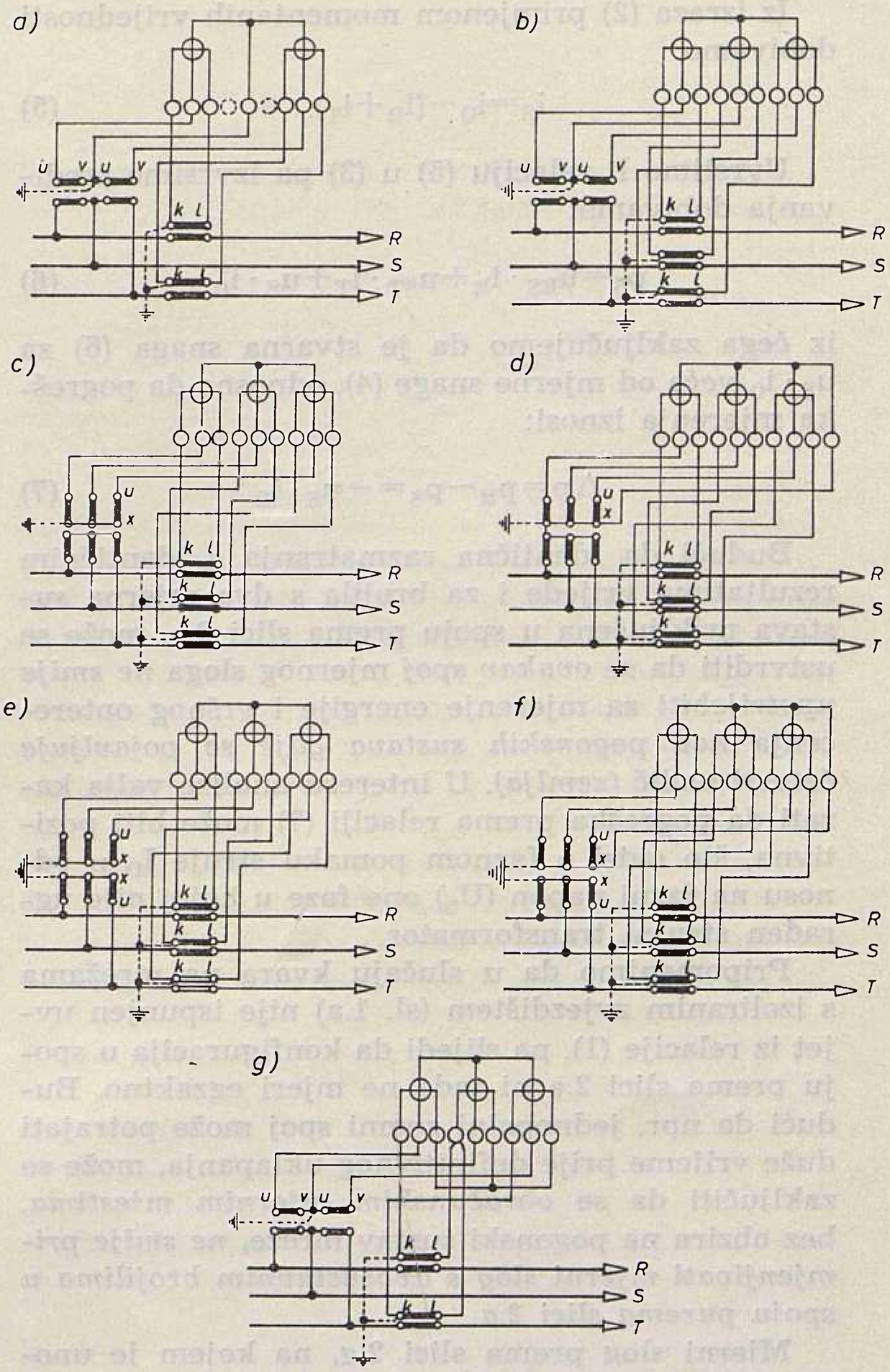
b) mjerni slogovi kod kojih se mjerne veličine dobijaju putem triju jednopolno izoliranih naponskih i triju strujnih transformatora (sl. 2.c, d, e i f).

Pitanja na koja treba odgovoriti glase: Da li svaki spoj mjernog sloga koji je naveden na slici 2. egzaktno mjeri električnu energiju i vršno opterećenje? Ima li pri izboru spoja mjernog sloga kakvu ulogu pogonski sustav mreže (sl. 1)? Konačno, koje spojeve smijemo primjenjivati na mjernim mjestima gdje se obračunava potrošnja električne energije između potrošača i distributivne elektroprivredne organizacije?

Započnimo analizu sa spojevima a i g sa slike 2, dakle s mjernim mjestima na kojima se mjerne veličine dobivaju putem dvaju naponskih (dvopolno izoliranih) i dvaju strujnih transformatora. U ovisnosti o tome na koji način i gdje su spomenuti mjerni transformatori ugrađeni, na stezaljke brojila možemo dovesti:

— međufazne napone, obično U_{RS} i U_{TS},
— struje, obično I_R i I_T.

Iz osnova elektrotehnike je poznato da unošenjem tih veličina u vatmetar s dva mjerna sustava možemo uspješno mjeriti snagu trofazne mreže (potrošača) jedino uz uvjet naveden relacijom (1), tj. ako je suma struja u sve tri faze jednaka nuli. Identičan slučaj je i s brojilima s dva mjerna sustava, što znači da mjerni slog u spoju prema slici 2. a i g smijemo primijeniti na mržama, odnosno potrošačima *s izoliranom nul-točkom* transformatora *pri zdravim pogonskim stanjima.*



Sl. 2. Spojevi mjernih slogova (posredni spoj) koji se susreću na mjernim mjestima distributivnih potrošača

Kod potrošača koji su napajani iz mreže s uzemljenom nul-točkom transformatora primjena ovih mjernih slogova u daljem izlaganju, uzrokuje pogrešno mjerenje energije i vršnog opterećenja. U tom smislu analizirat će se mjerenje snage, a radi zornosti razmatranja ćemo provesti upotrebom momentanih vrijednosti.

Stvarna snaga u mreži, odnosno stvarna snaga potrošača (p_s) u svakom momentu i na svakom mjestu mora zadovoljavati relaciju:

$$p_S = u_R \cdot i_R + u_S \cdot i_S + u_T \cdot i_T \qquad (3)$$

S druge pak strane vatmetar priključen u spoju prema slici 2.a mjeri snagu (p_M) koja iznosi:

$$p_M = u_{RS} \cdot i_R + u_{ST} \cdot i_T \qquad (4)$$

Kriterij na osnovi kojega možemo zaključiti o kvaliteti provedenog mjerenja svodi se na međusobno uspoređivanje stvarne (p_S) i mjerne (p_M) snage.

Iz izraza (2) primjenom momentanih vrijednosti dobivamo:

$$i_S = i_0 - (i_R + i_T) \tag{5}$$

Uvrstimo li relaciju (5) u (3) pa izvršimo sređivanja dobivamo:

$$p_S = u_{RS} \cdot i_R + u_{ST} \cdot i_T + u_S \cdot i_0 \tag{6}$$

iz čega zaključujemo da je stvarna snaga (6) za $u_S \cdot i_0$ veća od mjerne snage (4), odnosno da pogreška mjerenja iznosi:

$$\Delta p = p_M - p_S = -u_S \cdot i_0 \tag{7}$$

Budući da identična razmatranja s identičnim rezultatima vrijede i za brojila s dva mjerna sustava priključena u spoju prema slici 2.a, može se ustvrditi da se *ovakav spoj* mjernog sloga *ne smije upotrijebiti* za mjerenje energije i vršnog opterećenja *kod pogonskih sustava gdje se pojavljuje četvrti vodič (zemlja).* U interesu analize valja kazati da pogreška prema relaciji (7) može biti pozitivna, što ovisi o faznom pomaku struje I_0 u odnosu na fazni napon (U_S) one faze u kojoj nije ugrađen strujni transformator.

Pripomenimo da u slučaju kvara na mrežama s izoliranim zvjezdištem (sl. 1.a) nije ispunjen uvjet iz relacije (1), pa slijedi da konfiguracija u spoju prema slici 2.a ni tada ne mjeri egzaktno. Budući da npr. jednopolni zemni spoj može potrajati duže vrijeme prije definitivnog uklapanja, može se zaključiti da se *obračunskim mjernim mjestima,* bez obzira na pogonski sustav mreže, *ne smije primjenjivati mjerni slog s dvosustavnim brojilima u spoju purema slici 2.a.*

Mjerni slog prema slici 2.g, na kojem je upotrijebljeno brojilo s tri sustava u naročitom spoju, također ne mjeri točno energiju i vršno opterećenje. Osim pogreške spomenute u prethodnim izlaganjima, ovdje dolazi i do pojave dodatne pogreške u strujnim transformatorima s obzirom na to da nisu opterećeni jednakim sekundarnim bremenima.

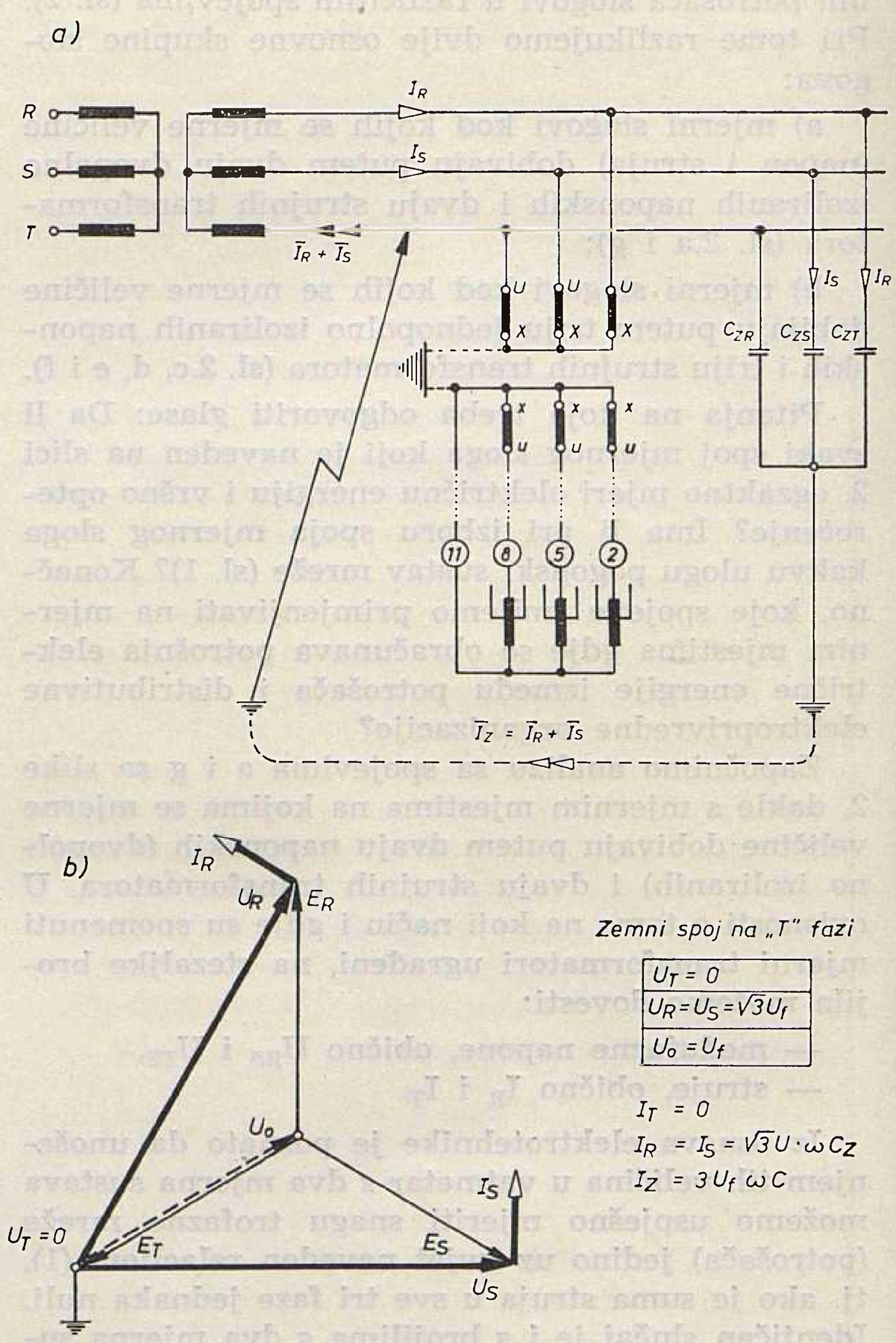
Može se dakle konstatirati da točno mjerenje električne energije i snage možemo očekivati samo na mjernim mjestima s tri strujna transformatora i upotrijebljenim trosustavnim brojilima.

Dilema ostaje u pogledu naponskih transformatora.

Razmotrimo u tu svrhu mjerne slogove navedene na slikama 2.b do f.

Lagano se utvrđuje da na slici 2.b, gdje su upotrijebljeni dvopolno izolirani naponski transformatori, na slikama 2.c i d gdje nisu uzemljena primarna zvjezdišta naponskih transformatora te na slici 2.e gdje je zvjezdište naponskih svitaka brojila ostalo »slobodno«, položaj nul-točke naponskih transformatora nije identičan s položajem nul-točke naponskih svitaka brojila. To dovodi do razlika u naponima na pojedinim mjernim sustavima brojila, koje k tome nikada nisu jednake razlikama koje nastaju na naponskim transformatorima. Naravno da ovo dovodi do nejednakih impedancija naponskih svitaka, što uzrokuje nejednake momente pogonskih sustava i nejednake unutrašnje fazne pomake. Dodamo li ovome i činjenicu da pri spojevima mjernih slogova izvedenih prema slikama 2. b, c i e zbog »slobodnog« zvjezdišta naponskih svitaka brojila jača i utjecaj trećeg harmonika, jasno je da *ovakve spojeve mjernih slogova ne valja dozvoljavati na obračunskim mjernim mjestima,* bar ne onima gdje se očekuje velik protok električne energije.

Očito je da na obračunskim mjernim mjestima smijemo upotrebljavati *samo mjerne slogove s trosustavnim brojilima koje valja priključiti na strujne i naponske (jednopolno izolirane) transformatore ugrađene u sve tri faze.* Pri tome nul-točku naponskih svitaka brojila, koja *mora biti* izvedena na stazaljku priključnice, valja galvanski povezati s uzemljenim sekundarnim zvjezdištem naponskih transformatora. *Uzemljiti treba i primarnu nul-točku naponskih transformatora. Tako izvedeni spoj* mjernog sloga, prikazan na slici 2. f, *garantira sasvim ispravno mjerenje električne energije i vrš-*



a) Tandem spoj sloga naponskih transformatora s brojilom
b) Vektorski dijagram napona i struja

Sl. 3. Prilike pri direktnom zemljospoju u mreži s izoliranom nul-točkom

nog opterećenja kod svakog distributivnog potrošača bez obzira na pogonsko stanje i sustav mreže iz koje je napajan.

Naravno da pri ovako izvedenom spoju konfiguracije mjernog sloga u mrežama s izoliranim zvjezdištem valja obratiti posebnu pažnju na izbor brojila i naponskih transformatora. Poznato je naime da u ekstremnom slučaju *pri direktnom spoju* jedne faze sa zemljom (sl. 3) »bolesna« faza prima potencijal zemlje pa je njezin napon prema zemlji jednak nuli. Napon dviju »zdravih« faza povećava se na iznos linijskog napona ($U_f \cdot \sqrt{3}$), a nul-točka sustava dobiva pun fazni napon. Kako slog naponskih transformatora vjerno slijedi pogonska stanja mreže, naponski svici brojila, koji su priključeni na naponske transformatore »zdravih« faza, primit će napon koji je za $\sqrt{3}$ veći od napona »normalnog« stanja. Ako se ovo ne uvidi prilikom izbora mjerne opreme, može se dogoditi da pri opisanom kvaru na mreži s izoliranom nul-točkom stradaju i naponski transformatori a i električna brojila.

Protekla izlaganja odnosila su se na električna brojila radne energije. Jednaka razmatranja mogu se provesti i za brojila jalove energije; rezultati su, u osnovi, također jednaki. Neznatne razlike u rezultatima nastaju pri nekim pogonskim stanjima mreže i upotrebi brojila jalove energije s različitim unutrašnjim kutovima (60°, 90° ili 180°).

4. ZAKLJUČAK

Iz provedenih razmatranja može se zaključiti da za *točno mjerenje* električne energije i snage *na obračunskim mjernim mjestima* distributivnih potrošača, bez obzira na pogonsko stanje i sustav mreže iz koje se potrošač napaja, u sustav konfiguracije mjernog sloga valja ugraditi:

— trosustavna temeljna brojila,

— strujne i naponske (jednopolno izolirane) transformatore u sve tri faze.

Pri tome nul-točku naponskih svitaka brojila valja galvanski spojiti sa sekundarnom nul-točkom naponskih transformatora; primarnu nul-točku naponskih transformatora obvezatno uzemljiti.

Dvosustavna brojila priključena na dva strujna i dva dvopolno izolirana naponska transformatora smiju se ugrađivati u visokonaponskim mrežama s izoliranim zvjezdištem na mjernim mjestima na kojima se vrši obračun energije i snage (pogonska mjerenja!).

Iznimno bi se ovakva konfiguracija mjernog sloga mogla tolerirati i na obračunskim mjernim mjestima potrošača sa skromnijom godišnjom potrošnjom električne energije, naravno uz punu suglasnost isporučioca i potrošača.

Naslov pisca:
Mr Vojmir Dvornik, dipl. ing.
»Elektrodalmacija« — Split

ELEKTROPRIVREDA
ZAGREB

PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU, PRIJENOS I KUPOPRODAJU ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE

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

NOVIJA KRETANJA U ENERGETICI SVIJETA

Vilim Boranić, Zagreb

Godina 1973. bila je prekretnica u svjetskoj proizvodnji i potrošnji energije. Do te godine potrošnja energije je u svjetskim razmjerima rasla ravnomjerno i u skladu s općim porastom privrede. Od 1960. do 1973. godine prosječna godišnja stopa rasta ukupne energije bila je 5,0%, ali proizvodnja i potrošnja ugljena pokazivala je tendenciju slabljenja, dok su kod ostalih nosilaca primarne energije stope bile različite — ovisno o zahtjevima za njima — tako je kod nafte stopa bila 7,6% kod prirodnog plina 8,0%, a kod hidroenegije i nuklearne enrgije 6,3%.

Potkraj 1973. godine najprije je poskupila nafta, a zatim poskupljuju i ostali nosioci energije. Tom poskupljenju slijedile su opće mjere štednje energije — napose nafte — pa je došlo do stagnacije u proizvodnji i potrošnji nosilaca primarne energije. To je pridonijelo inflatornoj tendenciji u privredi u čitavom svijetu. Svi ti faktori uvjetovali su stagnaciju u proizvodnji i potrošnji pojedinih nosilaca primarne energije sve do 1975. godine. Tek u 1976. godini opaža se polaganiji porast u proizvodnji i potrošnji energije.

U tablici 1. prikazana je svjetska situacija proizvodnje i potrošnje ukupne energije u 1973. 1974. i 1975. godini.

Kako se iz tablice vidi, situacija u te tri godine u pogledu proizvodnje i potrošnje energije u pojedinim krajevima svijeta gotovo je i po količinama i strukturi ostala nepromijenjena.

Zapadna Evropa u cjelini ne daje ni 9% svjetske proizvodnje energije, ali je troši oko 20%. — Socijalističke zemlje imaju uravnoteženu proizvodnju i potrošnju energije i u svjetskim razmjerima sudjeluju s oko 30% uz slab porast tog udjela. — U Africi proizvodnja energije — prvenstveno nafta ima tendenciju slabljenja, pa je i udio u spomenute tri godine oslabio za gotovo 1%, dok je potrošnja nešto porasla, na 1,9%. — I Bliski istok u pogledu proizvodnje — uglavnom nafte — pokazuje tendenciju slabljenja (za oko 100 milijuna tona), dok potrošnja stagnira uz udio od oko 1,8%. — Na Dalekom istoku proizvodnja energije ima slabu tendenciju porasta, a potrošnja slabljenja. — I u Sjevernoj Americi proizvodnja i potrošnja energije stagnira, pa se udio smanjio za 1%. — U ostalim dijelovima Amerike proizvodnja energije opada, a potrošnja lagano raste, pa se i udio neznatno mijenja.

U svijetu u cjelini proizvodnja primarnih nosilaca energije porasla je od 1973. do 1975. godine od 8,9 milijardi uvjetnog ugljena na 9,1 milijardi tona ili za samo 1,5%, a potrošnja od 8,6 milijardi tona na 8,7 milijardi tona ili za 1,3%.

Tablica 1

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ENERGIJE U SVIJETU (PREMA PODRUČJIMA) U MLN/TONA UVJETNOG UGLJENA

Područje	1973.				1974.				1975.			
	Proizvodnja		Potrošnja		Proizvodnja		Potrošnja		Proizvodnja		Potrošnja	
	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%
Zapadna Evropa	734	8,2	1 763	20,6	752	8,3	1 737	20,0	790	8,7	1 615	19,5
Socijalističke zemlje	2 509	28,1	2 370	27,7	2 646	29,1	2 493	28,7	2 783	30,7	2 615	30,1
Afrika	518	5,8	152	1,8	493	5,4	160	1,9	468	5,1	165	1,9
Bliski istok	1 621	18,1	148	1,7	1 672	18,4	159	1,8	1 509	16,6	152	1,8
Daleki istok	445	5,0	870	10,1	469	5,2	884	10,2	489	5,4	843	9,7
Sjeverna Amerika	2 608	29,1	2 904	33,9	2 562	28,2	2 859	33,0	2 573	28,3	2 830	32,6
Ostala Amerika	509	5,7	359	4,2	495	5,4	384	4,4	468	5,2	380	4,4
Ukupno — svijet	8 944	100,0	8 566	100,0	9 089	100,0	8 676	100,0	9 080	100,0	8 680	100,0

Tablica 2

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ENERGIJE U SVIJETU (PREMA NOSIOCIMA) U MLN TONA UVJETNOG UGLJENA

Nosilac primarne energije	1973.				1974.				1975.			
	Proizvodnja		Potrošnja		Proizvodnja		Potrošnja		Proizvodnja		Potrošnja	
	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%
Ugljen	2 479	27,7	2 502	29,2	2 556	28,4	2 539	29,4	2 634	29,0	2 575	29,7
Nafta	4 230	47,3	3 848	44,9	4 135	45,9	3 786	43,9	4 041	44,5	3 725	42,9
Prirodni plin	1 642	18,4	1 622	19,0	1 667	18,5	1 644	19,1	1 691	18,6	1 665	19,2
Hidroenergija i nuklear. energ.	593	6,6	594	6,9	653	7,2	654	7,6	714	7,9	715	8,2
Ukupno	8 944	100,0	8 566	100,0	9 011	100,0	8 623	100,0	9 080	100,0	8 680	100,0

U tablici 2. dana je svjetska situacija energije, za 1973, 1974. i 1975. godinu, ali iskazana prema pojedinim nosiocima primarne energije.

Prema prethodnim podacima proizvodnja ugljena od 1973. do 1975. godine pokazuje tendenciju blagog porasta, dakle suprotno od situacije do 1973. godine. Naime, proizvodnja ugljena porasla je od 2,5 milijardi tona uvjetnog ugljena u 1973. godini na 2,6 milijardi tona u 1975. godini, pa je udio u ukupnoj proizvodnji energije porasao od 28% na 29%. Slična je situacija i kod potrošnje, jer je ona porasla od 2,5 mililjardi tona na gotovo 2,6 milijardi tona, a udio povećan za 0,5%. — Kod nafte je situacija obrnuta: i kod proizvodnje i kod potrošnje osjeća se tendencija slabljenja. U 1975. godini proizvedeno je manje za 200 milijardi tona uvjetnog ugljena, pa je udio pao od 47,3% na 44,5%. Potrošnja je pala za oko 100 milijardi tona uvjetnog ugljena, pa se udio smanjio sa 2%, na 43%. — Proizvodnja i potrošnja prirodnog plina pokazuje tendenciju povećanja, ali su učešća ostala gotovo nepromijenjena. Znatan porast pokazuje proizvodnja hidroenergije i nuklearne energije — uglavnom ove potonje — pa je udio porasao od 6,6%, na 7,9%. Odgovarajući porast pokazujue i potrošnja.

Tablica 3.

KRETANJE SVJETSKE PROIZVODNJE I POTROŠNJE ENERGIJE U MLN TONA UVJETNOG UGLJENA

Područja	1960.				1970.				1973.				1975.			
	Proizvodnja		Potrošnja		Proizvodnja		Potrošnja		Proizvodnja		Potrošnja		Proizvodnja		Potrošnja	
	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%	mln t	%
Zapadna Evropa																
ugljen	499	79,3	541	58,3	381	57,3	449	29,0	340	46,3	392	22,2	331	41,9	365	21,5
nafta	23	3,7	280	30,2	29	4,4	841	54,3	30	4,1	997	56,6	42	5,3	885	52,2
prirodni plin	16	2,5	16	1,7	105	15,8	107	6,9	194	26,4	203	11,5	222	28,1	250	14,8
hidroenergija i nuklearna energija	91	14,5	91	9,8	150	22,5	151	9,8	170	23,2	171	9,7	195	24,7	195	11,5
Ukupno	629	100,0	928	100,0	665	100,0	1 548	100,0	734	100,0	1 763	100,0	790	100,0	1 695	100,0
Socijalističke zemlje																
ugljen	1 092	75,7	1 072	78,5	1 211	55,8	472	57,8	1 316	52,4	1 281	54,1	1 381	49,6	1 345	51,4
nafta	246	17,1	190	13,9	576	26,5	1 179	23,2	733	29,2	616	26,0	859	30,9	715	27,4
prirodni plin	76	5,3	76	5,6	314	14,5	318	15,6	383	15,3	396	16,7	453	16,3	465	17,8
hidroenergija i nuklearna energija	28	1,9	28	2,0	70	3,2	70	3,4	77	3,1	77	3,2	90	3,2	90	3,4
Ukupno	1 142	100,0	1 366	100,0	2 171	100,0	2 039	100,0	2 509	100,0	2 370	100,0	2 783	100,0	2 615	100,0
Afrika																
ugljen	43	65,2	43	55,1	60	11,9	59	46,5	68	13,1	67	44,1	77	16,4	77	46,7
nafta	20	30,3	32	41,0	431	85,3	57	44,9	426	82,3	68	44,7	362	77,4	70	42,4
prirodni plin	—	—	—	—	5	1,0	2	1,5	11	2,1	4	2,6	15	3,2	5	3,0
hidroenergija i nuklearna energija	3	4,5	3	3,9	9	1,8	9	7,1	13	2,5	13	8,6	14	3,0	13	7,9
Ukupno	66	100,0	78	100,0	505	100,0	127	100,0	518	100,0	152	100,0	468	100,0	165	100,0
Bliski istok																
ugljen	4	1,0	5	10,9	6	0,6	9	7,4	7	0,4	7	4,7	8	0,5	8	5,3
nafta	384	98,0	37	80,4	1 028	96,5	82	67,8	1 564	96,5	103	69,6	1 447	95,9	105	69,1
prirodni plin	3	0,8		6,5	29	2,7	28	23,1	46	2,8	34	23,0	50	3,3	35	23,0
hidroenergija i nuklearna energija	1	0,1	1	2,2	2	0,2	2	1,7	4	0,3	4	2,7	4	0,3	4	2,6
Ukupno	392	100,0	46	100,0	1 065	100,0	121	100,0	1 621	100,0	148	100,0	1 509	100,0	152	100,0
Daleki istok																
ugljen	144	65,2	156	52,2	188	51,1	215	29,7	184	41,3	215	24,7	210	43,0	233	27,6
nafta	39	17,6	105	35,1	100	27,2	431	59,5	164	36,9	560	64,4	163	33,3	500	59,3
prirodni plin	6	2,7	6	2,0	20	5,4	18	2,5	34	7,6	32	3,7	43	8,8	37	4,4
hidroenergija i nuklearna energija	32	14,5	32	10,7	60	16,3	60	8,3	63	14,2	63	7,2	73	14,9	73	8,7
Ukupno		100,0	299	100,0	368	100,0	724	100,0	445	100,0	870	100,0	489	100,0	843	100,0
Sjeverna Amerika																
ugljen	401	25,3	380	22,7	565	22,6	494	19,1	552	21,1	524	18,0	613	23,8	530	18,7
nafta	603	38,1	717	42,9	895	35,8	1 071	41,4	912	35,0	1 257	43,3	826	32,1	1 200	42,4
prirodni plin	479	30,3	476	28,5	868	34,8	852	32,9	920	35,3	899	31,0	849	33,0	815	28,8
hidroenergija i nuklearna energija	99	6,3	99	5,9	170	6,8	170	6,6	224	8,6	224	7,7	285	11,1	285	10,1
Ukupno	1 582	100,0	1 672	100,0	2 498	100,0	2 587	100,0	2 608	100,0	2 904	100,0	2 573	100,0	2 830	100,0
Ostala Amerika																
ugljen	7	2,1	11	7,2	10	2,0	15	5,1	12	2,3	16	4,5	14	3,0	17	4,5
nafta	289	89,5	114	74,0	403	81,9	203	68,8	401	78,8	247	68,8	342	73,1	250	65,8
prirodni plin	18	5,6	17	11,0	44	9,0		14,2	54	10,6	54	15,0	59	12,6	58	15,2
hidroenergija i nuklearna energija	9	2,8	12	7,8	35	7,1	35	11,9	42	8,3	42	11,7	53	11,3	55	14,5
Ukupno	323	100,0	154	100,0	492	100,0	295	100,0	509	100,0	359	100,0	468	100,0	380	100,0
Ukupno — svijet																
ugljen	2 190	47,0	2 208	48,6	2 421	31,2	2 420	32,5	2 479	27,7	2 502	29,2	2 634	29,0	2 575	29,7
nafta	1 604	34,5	1 475	32,5	3 462	44,6	3 157	42,4	4 230	47,3	3 848	44,9	4 041	44,5	3 725	42,9
prirodni plin	598	12,8	594	13,1	1 385	17,8	1 367	18,4	1 642	18,4	1 622	19,0	1 691	18,6	1 665	19,2
hidroenergija i nuklearna energija	263	5,7	266	5,8	496		497	6,7	593	6,6	594	6,9	714	7,9	715	8,2
Ukupno	4 655	100,0	4 543	100,0	7 764	100,0	7 441	100,0	8 944	100,0	8 566	100,0	9 080	100,0	8 680	100,0

Za bolje uočavanje proizvodnje i potrošnje nosilaca primarne energije dana je u tablici 3. situacija za pojedine krajeve svijeta za godine 1960, 1970, 1973. i 1975.

Podaci iz te tablice daju slijedeće odnose:

Zapadna Evropa. Sve do 1975. godine proizvodnja i potrošnja ugljena opada, ali nakon 1973. godine znatno sporije nego do tada. U svakom slučaju vlastita proizvodnja ne pokriva potpuno potrebe, pa se manjak pokriva uvozom. U odnosu prema ukupnoj proizvodnji energije udio ugljena pao je od 79% u 1960. godini na 42% u 1975. godini, a udio potrošnje od 58% na oko 22%. — Proizvodnja nafte pokazuje tek u zadnje vrijeme znakove povećanja, tj. nakon otvaranja ležišta u podmorju Sjevernog mora. No, i ta povećana proizvodnja iznosila je u 1975. godini oko 40 milijuna tona uvjetnog ugljena, a udio u ukupnoj proizvodnji energije bio je nešto preko 5%. Obrnuto od proizvodnje, potrošnja nafte naglo je rasla i do 1973. godine dosegla je gotovo jednu milijardu tona uvjetnog ugljena. U kasnijim godinama potrošnja slabi i u 1975. godini je ispod 900 milijuna tona. Udio raste od 30% u 1960. godini do oko 57% u 1973. godini, a u 1975. godini pada na 52%. — Proizvodnja i potrošnja prirodnog plina stalno raste; proizvodnja nakon otvaranja plinskih polja u Nizozemskoj, a potrošnja i zbog uvoza iz SSSR-a i sjeverne Afrike, pa proizvodnja u 1975. godini dosiže preko 200 milijuna tona uvjetnog ugljena uz udio od 28%, a potrošnja 250 milijuna tona s udjelom od gotovo 15%. — Električna energija proizvedena u hidroelektranama ili nuklearnim termoelektranama pokazuje u potrošnji stalno povećanje, pa u 1975. godini dosiže 195 milijuna tona uvjetnog ugljena uz udio od 11,5%.

Zapadnoj Evropi u cjelini nedostaje oko 10% ugljena. Vlastita proizvodnja nafte ne pokriva ni 5% potreba, a uvozom prirodnog plina pokriva se za sada samo 10% potreba.

Socijalističke zemlje imaju gotovo uravnoteženu proizvodnju i potrošnju energije uz tendenciju slabljenja udjela ugljena, koji je pao od 76% u proizvodnji i 79% u potrošnji u 1960. godini na 50% u proizvodnji i 51% u potrošnji, dakle razmjerno visoka učešća prema drugim područjima. Proizvodnja i potrošnja porasla je od 1,1 milijarde tona uvjetnog ugljena u 1960. godini na oko 1,4 milijarde tona u 1975. godini. — Proizvodnja nafte i njezina potrošnja također raste, dok je u 1960. godini bilo proizvedeno 246 tona nafte u ekvivalentu uvjetnog ugljena u 1975. godini proizvodnja je dosegla 860 milijuna tona, a udio je porastao od 17% na 31%. Potrošnja je porasla u tom razdoblju od 190 milijuna tona na 715 milijuna tona također izraženo u uvjetnom ugljenu, a udio je porastao od 14% na preko 27%. — Proizvodnja i potrošnja prirodnog plina porasle su više od šest puta i u 1975. godini dosegle su oko 460 milijuna tona uvjetnog ugljena, a udio je iznosio 18%. — Proizvodnja i potrošnja električne energije iz hidroelektrana i nuklearnih termoelektrana ima slabiji porast i u 1975. godini iznosi 90 milijuna tona uvjetnog ugljena uz udio nešto veći od 3%.

Zemlje Afrike — većim dijelom privredno nerazvijene — dale su u 1975. godini oko 5% svjetske proizvodnje energije, a pretežni dio ili preko 77% bila je nafta. Uz ukupnu proizvodnju energije od oko 470 milijuna tona uvjetnog ugljena na naftu je otpalo 362 milijuna tona. Međutim, potrošnja u 1975. godini bila je samo 1,9% od svjetske potrošnje ili 165 milijuna tona uvjetnog ugljena, oko 47% bio je ugljen, a preko 42% nafta. Treba spomenuti da se u zadnje vrijeme opaža tendencija laganog porasta ugljena, a slabljenja nafte. — Proizvodnja prirodnog plina započela je tek u sedamdesetim godinama i u 1975. godini dosegla je 15 milijuna tona uvjetnog ugljena, a potrošnja samo 5 milijuna tona. Znatniji porast zabilježen je kod proizvodnje i potrošnje električne energije, pa je udio u 1975. godini u proizvodnji bio 3%, a kod potrošnje gotovo 8%.

Bliski istok je u pogledu proizvodnje energije izraziti proizvođač nafte, koja čini preko 96% od ukupne proizvodnje energije — 1,5 milijardi tona uvjetnog ugljena prema 1,4 milijarde tona. Treba spomenuti da je do 1973. godine proizvodnja nafte rasla, a od tada slabi, da bi tek u 1976. godini počela rasti. Od ukupne potrošnje energije koja je u 1975. godini prekoračila 150 milijuna tona — samo 1,8% od svjetske potrošnje — na naftu je otpalo 69%. — Proizvodnja prirodnog plina, unatoč ograničenim mogućnostima otpreme, postepeno raste i u 1975. godini iznosila je 50 milijuna tona uvjetnog ugljena ili preko 3% od ukupne proizvodnje energije. Potrošnja, koja je u toj godini iznosila 35 milijuna tona imala je udio od 23%. — Električna energija ima znatan udjel u proizvodnji i potrošnji nosilaca primarne energije.

Daleki istok pokazuje — usprkos kriznim godinama nakon 1973. godine — povećanje proizvodnje energije, pa je u 1975. godini proizvodnja ugljena iznosila 210 milijuna tona uz udio od 43%, a nafte 163 milijuna tona uvjetnog ugljena i s udjelom od preko 33%. Proizvodnja prirodnog plina nema veliku važnost. Iznosi 43 milijuna tona s udjelom oko 9% u 1975. godini, dok je udio električne energije dobivene hidroelektranama i nuklearnim termoelektranama bio 15%, a proizvodnja 73 milijuna tona. — Potrošnja energije — nakon rasta do 1973. godine — slabila je i u 1975. godini prekoračila je 840 milijuna tona (oko 10% svjetske potrošnje). U toj potrošnji udio ugljena bio je gotovo 28%, nafte 59%, prirodnog plina oko 4,5% i električne energije 9%.

Zemlje Dalekog istoka svojom ukupnom proizvodnjom energije pokrivaju oko 70% svojih potreba na energiji, ali na nafti samo 30%.

Sjeverna Amerika (pretežnim dijelom SAD) nakon socijalističkih zemalja najveći je proizvođač i potrošač energije u svijetu. U 1975. godini udio u proizvodnji bio je 28%, a u potrošnji oko 32,5%.

Tablica 4.

SVJETSKE REZERVE NEOBNOVLJIVIH NOSILACA ENERGIJE 1976. GODINE

Područje	Ugljen		Nafta		Prirodni plin		Uran (1000 t Uran-metala)			
							Troškovi do			
	mlrd t uvjetnog ugljena	%	mlrd t	%	mlrd t kub. met.	%	15 $ za funtu U_3O_8	30 $ za funtu U_3O_8	Ukupno	%
Zapadna Evropa	492	4,5	3 453	3,9	5 550	8,6	61	426	487	26,4
Socijalističke zemlje	6 870	63,7	14 066	15,7	24 000	37,6	145—295	. . .	295	15,9
Afrika	52	0,6	8 695	9,7	5 870	9,2	300	72	372	20,1
Bliski istok	8	0,1	50 079	55,9	15 260	23,8	. . .	. . .	. . .	. . .
Daleki istok	301	2,8	2 881	3,2	3 180	5,0	5	35	40	2,2
Sjeverna Amerika	3 045	28,2	5 405	6,0	7 600	11,8	467	160	627	33,9
Ostala Amerika	14	0,1	4 972	5,6	2 560	4,0	14	13	27	1,5
Ukupno	10 782	100,0	89 551	100,0	64 020	100,0	1 142	706	1 848	100,0

No, dok je proizvodnja ugljena iznad potreba, kod nafte je raskorak između mogućnosti proizvodnje i potreba sve veći (u 1973. godini 62% od potreba, a u 1975. godini 45% daje vlastita proizvodnja), a proizvodnja prirodnog plina jedva pokriva potrebe. Proizvodnja ugljena postupno raste i u 1975. godini dosegla je 613 milijuna tona i 24% ukupne proizvodnje enenrgije, a potrošnja 530 milijuna tona uz udio 19%. — Proizvodnja prirodnog plina već nakon 1970. godine postupno opada, pa je od 868 milijuna tona pala na 849 milijuna tona u 1975. godini uz udio od 33%. Potrošnja je u 1975. godini pala na 815 milijuna tona, a udio je bio 29%. — Hidroelektrane i nuklearne elektrane dale su energije u ekvivalentu 285 milijuna tona uvjetnog ugljena, a udio je bio oko 10% od ukupne energije.

Ostala Amerika u proizvodnji energije sudjeluje stalno samo s nešto preko 5%, a u potrošnji s ispod 5%. Ugljen je u tom području malo značajan i u proizvodnji i potrošnji iznosi oko 15 milijuna tona. — Proizvodnja nafte već niz godina nazaduje, a u 1975. godini iznosila je 342 milijuna uvjetnog ugljena sa 73% udjela u ukupnoj proizvodnji enenrgije. Međutim, potrošnja je u toj godini bila 250 milijuna tona i uz udio od 60%. Proizvodnja električne energije postupno raste i u 1975. godini dosiže, izražena u uvjetnom ugljenu, 55 milijuna tona, što čini 11%, a u potrošnji 14,5%.

Zemlje koje čine ostalu Ameriku jednim dijelom privredno nerazvijene i svojom proizvodnjom energije pokrivaju potrebe.

Kako je već spomenuto, stagnacija u potrošnji energije trajala je od 1973. do 1975. godine i već u 1976. godini zabilježen je blagi porast u potrošnji. No, sve skuplji nosioci energije sile potrošače da pribjegnu mjerama štednje energije i njezinu racionalnom i selektivnom korištenju. Mjere zaštite okoline od zagađivanja sile pak potrošače da troše takve nosioce energije koji zadovoljavaju zahtjeve zaštite. Proizvođači energije morat će svoje procese pretvorbe primarne energije u sekundarnu, sve više prilagođavati tim zahtjevima.

Ne samo sve skuplja energija, nego i raspoloživost neobnovljivih nosilaca primarne energije silit će proizvođače da se postupno preorijentiraju s onih nosilaca energije čije su rezerve pred iscrpljenjem na druge, s bogatijim rezervama, kao i da se koriste novim izvorima čija se primjena proučava i razvija.

U tablici 4 dano je stanje svjetskih rezervi neobnovljivih nosilaca energije sa stanjem u 1976. godini.

Treba istaći da se ti podaci odnose na dosad utvrđene i raspoložive rezerve. Postoje, svakako, geološki uvjeti da se otkriju i za eksploataciju otvore nova nalazišta, no sva će takva nova nalazišta biti u udaljenim predjelima, pa bi eksploatacija i transport do potrošača bio preskup. To sve znači da će i ubuduće energija biti sve skuplja.

Iz podataka se vidi da socijalističke zemlje raspolažu s gotovo 65% rezervi ugljena, a taj udio je za Sjevernu Ameriku nešto preko 28%. — Od rezervi nafte na Bliski istok otpada preko 55%, a na socijalističke zemlje oko 16%. Nešto je drugačija situacija s prirodnim plinom, gdje socijalističke zemlje (SSSR) raspolažu s oko 40% svjetskih rezervi, Bliski istok i Afrika s gotovo 35% svjetskih rezervi a Sjeverna Amerika sa samo 12%. Kod urana situacija je složnija jer su za socijalističke zemlje objavljeni samo podaci o rezervama, gdje proizvodnja U_3O_8 stoji do 8$ po funti, tj. samo takve rezerve iznose 145 do 295 hiljada tona U-metala. Samo s tim rezervama kod socijalističkih zemalja ukupne svjetske rezerve urana kao metala iznose nešto preko 1,8 milijuna tona, gdje Sjeverna Amerika raspolaže sa 627 000 tona ili s oko 34%.

LITERATURA

1. Anon. Energestik; Kohle und Heizöl, *30* 10—12 (2/1977)
2. G. Kratz — Herder, Energiequellen für Westeuropa; Erdöl-Erdgas-Zeitschrift, *93* 7—13 (1/1977).

Tablica 5.

TROŠKOVI ZAGRIJAVANJA PROSTORIJA U SR NJEMAČKOJ (ZA STUTTGART)
Prema cijenama — listopad 1976.

Sistem zagrijavanja — pojedinačni peći	Dugo-žarne peći	Peći na ugljen	Peći na ulje za loženje	Plinske peći	Elektro-akumulacijske peći
Vrsta enrgije	Briket kam. ugljena	Briket mrkog ugljena	Ulje za loženje za domaćinstvo	Prirodni plin	Elek.-energija noćna tarifa
Zagrijavanja sobna površina u m² (1 soba)	25	25	25	25	25
Specifična potreba za toplinom u kcal/h m²	140	140	140	140	140
Potreba za toplinom po DIN 4701 u kcal/h	3500	3500	3500	3500	3500
Troškovi grijanja					
Godišnja potreba za toplinom u 1000 kcal	4320	4320	4320	4320	4320
Kalorična vrijednost goriva kcal za kg, l, m³, kwh	7400	4800	8400	8070	860
Stupanj iskorištenja	75	70	75	75	95
Korisna toplinska energija u kcal/h	5550	3360	6300	6053	817
Godišnja potrošnja goriva u kg, l, m³, kwh	778	1285	685	714	5288
Cijena goriva po jedinici (uklj. porez na promet)	21.— DM/50 kg	13,55 DM/50 kg	45,— DM/100 l	4,94 Pf/Mcal	5,45 Pf/kwh
Godišnji troškovi za gorivo u markama	326,76	348,24	308,25	284,61	288,25
Osnovna davanja, zakupnina za brojilo	—	—	—	153,18	47,95
Troškovi za struju za ventilator i dnev. tarifa	—	—	—	—	40,—
Godišnji troškovi održavanja	20,00	20,00	40,00	30,00	20,00
Godišnji troškovi zagrijavanja	346,76	368,24	348,25	467,79	396,20
Cijena instalacije u markama	800,00	500 00	800,00	1000 00	1400.00
Godišnja amortizacija u markama	80,00	50,00	80,00	83,00 (12)	117,00 (12)
Ukupni godišnji troškovi u markama	426,76	418,24	428,25	550,79	513,20

Kohle und heizöl, XI 1976.

ELEKTRA KRIŽEVCI

OSNOVNA ORGANIZACIJA UDRUŽENOG RADA

ELEKTRE ZAGREB

TRG KALNIČKIH PARTIZANA 3

Telefon: 74-322, 74-074, 74-100

PROIZVODNJA NAFTE U SVIJETU U 1976. GODINI

Svjetska proizvodnja nafte u 1976. godini iznosila je 2,84 milijarde tona, što je za oko 200 milijuna tona ili 7,6% više nego u 1975. godini kad je ostvarena proizvodnja od 2,64 milijarde tona.

Situacija u pojedinim područjima u posljednje tri godine bila je ovakva (u mln tona):

Područje	1974.	1975.	1976.	Razlika 1976/75 %	Udio u 1976.
Zap. Evropa	16,0	24,2	33,7	+39,5	1,2
SSSR i Ist. Evr.	482,1	513,4	544,5	+ 6,1	19,1
Afrika	258,8	231,5	263,4	+13,8	9,3
Bliski istok	1086,8	980,6	1101,7	+12,4	38,7
Daleki istok	173,8	186,1	206,9	+11,2	7,3
ist. hemisfera	2017,8	1935,8	2150,2	+ 8,4	75,6
Sjev. Amerika	548,4	522,8	511,7	— 2,2	17,9
Karipsko podr.	173,3	141,3	137,5	— 2,7	4,8
Juž. Amerika	46,0	44,1	44,2	+ 0,4	1,7
zap. hemisfera	767,7	708,2	693,5	— 2,1	24,8
Ukupno — svijet	2785,2	2644,0	2843,7	+ 7,6	100,0

Kako se iz tablice vidi, proizvodnja nafte na istočnoj hemisferi iznosila je u 1976. godini 2,15 milijardi tona ili za 8,4% više nego ug prethodnoj godini, pa je proizvodnja povećana za oko 115 milijuna tona.

U Zapadnoj Evropi proizvodnja je porasla za 9,5 milijuna tona na 33,7, ali u postocima to je povećanje za 39,5% i samo 1,2% od svjetske proizvodnje.

SSSR i zemlje istočne Evrope u cjelini su imale proizvodnju od 544,5 milijuna tona ili za 6,1% više nego u 1975. godini kad je proizvodnja bila 513,4 milijuna tona. Udio tih zemalja u svjetskoj proizvodnji nafte je 19,1%.

Veliko povećanje proizvodnje zabilježeno je u Africi, jer je proizvodnja porasla za 13,8%, tj. na 263,4 milijuna tona. Zemlje Bliskog istoka povećale su proizvodnju za 12,4%, ali količinski je to preko 120 milijuna tona. Na Dalekom istoku proizvodnja je bila 207 milijuna tona ili 11,2% više nego u prethodnoj godini.

Na zapadnoj hemisferi proizvodnja je u cjelini pala za 2,1% ili za oko 15 milijuna tona na 693,5 milijuna tona. Pad je zabilježen u svim zemljama Sjeverne i Centralne Amerike — osim u Meksiku, gdje je proizvodnja povećana za 10% na 45,7 milijuna tona. U zemljama Južne Amerike zabilježeno je neznatno povećanje od 0,4% ili oko 100 000 tona. Zapravo su sve zemlje osim Bolivije i Ekvadora imale smanjenu proizvodnju.

Zbog različite dinamike u proizvodnji nafte udio istočne hemisfere je sve veći na račun zapadne hemisfere, kako to pokazuju ovi brojevi (u milijunima tona):

Hemisfera	1970.		1973.		1976.	
	mln t	%	mln t	%	mln t	%
Istočna	1463,8	2850,9	1972,3	69,2	2150,2	75,6
Zapadna	871,4	62,7	878,6	30,8	693,5	24,4
Ukupno — svijet	2335,2	100,0	37,3	100,0	2843,7	100,0

Kako se vidi, u razdoblju od 1970. do 1976. godine udio istočne hemisfere u svjetskoj proizvodnji nafte porastao je od 62,7% na 75,6%.

Prilike kod pet najvećih proizvođača nafte u svijetu bile su prema redoslijedu iz 1976. godine — slijedeće:

Proizvođač	1974. mln t	1975. mln t	1976. mln t	Udio u svj. proizv. %	Razlike 1976/75. %
SSSR	459,0	489,8	521,0	18,3	+ 6,4
Saudijska Arabija	421,9	352,0	428,6	15,1	+21,8
SAD	431,3	411,4	403,0	14,2	— 2,0
Iran	299,9	266,7	293,9	10,3	+10,2
Venezuela	155,1	122,1	118,1	4,2	— 3,1
Ukupno	1767,2	1642,0	1764,7	62,1	+ 8,1

Prema gornjim podacima pet najvećih svjetskih proizvođača nafte imaju u 1976. godini 62% od svjetske proizvodnje nafte — isto kao u 1975. godini, ali uz povećanje od 8,1%. Po količini proizvedene nafte na prvom mjestu je Sovjetski Savez, gdje se proizvodnja povećala za 32 milijuna tona na 521 milijun tona. Na drugo mjesto izbila je Saudijska Arabija, gdje je proizvodnja porasla za gotovo 22% ili za preko 76 milijuna tona. SAD, koje su do 1973. godine bile na prvom mjestu, a 1974. i 1975. godine na drugom po proizvodnji nafte, u 1976. godini pale su na treće mjesto, jer im se proizvodnja smanjila za 2%. To je posljedica ne samo smanjenja raspoloživih rezervi nafte, nego i stava naftnih poduzeća, koja zbog politike cijena nemaju znatnog interesa za ulaganja u nova, sve skuplja istraživanja.

Proizvodnja nafte u Iranu dosegla je gotovo domet iz 1974. godine, pa se godišnjom proizvodnjom približava broju od 300 milijuna tona. Proizvodnja nafte u Venezueli ima stalnu tendenciju slabljenja, a u 1976. bila je za 3% manja nego u prethodnoj godini i za 50% manja nego u 1974. godini.

Proizvodnja nafte u Evropi (bez SSSR-a) bila je u posljednje tri godine slijedeća:

Zemlja	1974.	1975.	1976.	Razlika 1976/75. %
Zapadna Evropa				
Austrija	2 238	2 037	1 950	— 4,3
Danska	90	157	180	+ 14,6
Francuska	1 081	1 070	1 060	— 0,9
Italija	1 461	1 572	1 500	— 4,6
Nizozemska	1 026	1 017	1 070	+ 5,2
Norveška	1 704	9 277	9 832	+ 6,0
SR Njemačka	6 191	5 741	5 570	— 3,0
Španjolska	1 810	1 745	1 960	+ 12,3
Velika Britanija	410	1 551	10 580	+582,1
Istočna Evropa				
Albanija	2 200	2 310	1 870	— 19,0
Bugarska	144	120	120	—
Čehoslovačka	148	142	130	— 8,5
Jugoslavija	3 458	3 691	3 710	+ 0,5
Mađarska	1 996	2 005	2 100	+ 4,7
Njemačka DR	200	200	200	—
Poljska	550	553	550	— 0,5
Rumunjska	14 460	14 637	14 850	+ 1,5

Proizvodnja nafte u zemljama zapadne Evrope — osim u zemljama oko Sjevernog mora — Danskoj, Norveškoj i Velikoj Britadiji, te donekle SR Njemačke — uglavnom ne prelazi dva milijuna tona i ima tendenciju opadanja. Slična je situacija i u zemljama istočne Evrope, gdje se proizvodnja samo u Rumunskoj kreće oko 15 milijuna tona i u 1976. godini je porasla za 1,5%.

Proizvodnja nafte u Jugoslaviji porasla je u 1976. godini samo za 0,5% i prekoračila nešto preko 3,7 milijuna tona. Taj slabi porast proizvodnje je posljedica poteškoće oko financiranja istraživanja i otvaranja novih naftnih polja i nabave uvozne opreme. No, i s tom je proizvodnjom Jugoslavija na šestom mjestu u Evropi — iza SSSR-a, Rumunjske, Velike Britanije, Norveške i SR Njemačke.

Prema podacima u Petroleum Economist, I, 1977.

V. B.

IZGRADNJA HIDROELEKTRANA U SOVJETSKOM SAVEZU

Iz biltena SEV-a prenose se tablice hidropotencijala Sovjetskog Saveza u evropskom i azijskom dijelu zemlje. Radi se o ogromnom potencijalu koji je, u usporedbi s industrijaliziranim zemljama, još dobrim dijelom neiskorišten. Izgradnja odgovarajućih postrojenja je, razumije se, vezana s planiranim razvojem pojedinih oblasti, regulacijom vodotoka, bilo da se radi o potrebama plovidbe, bilo navodnjavajna, odnosno obuzdavanja rijeka.

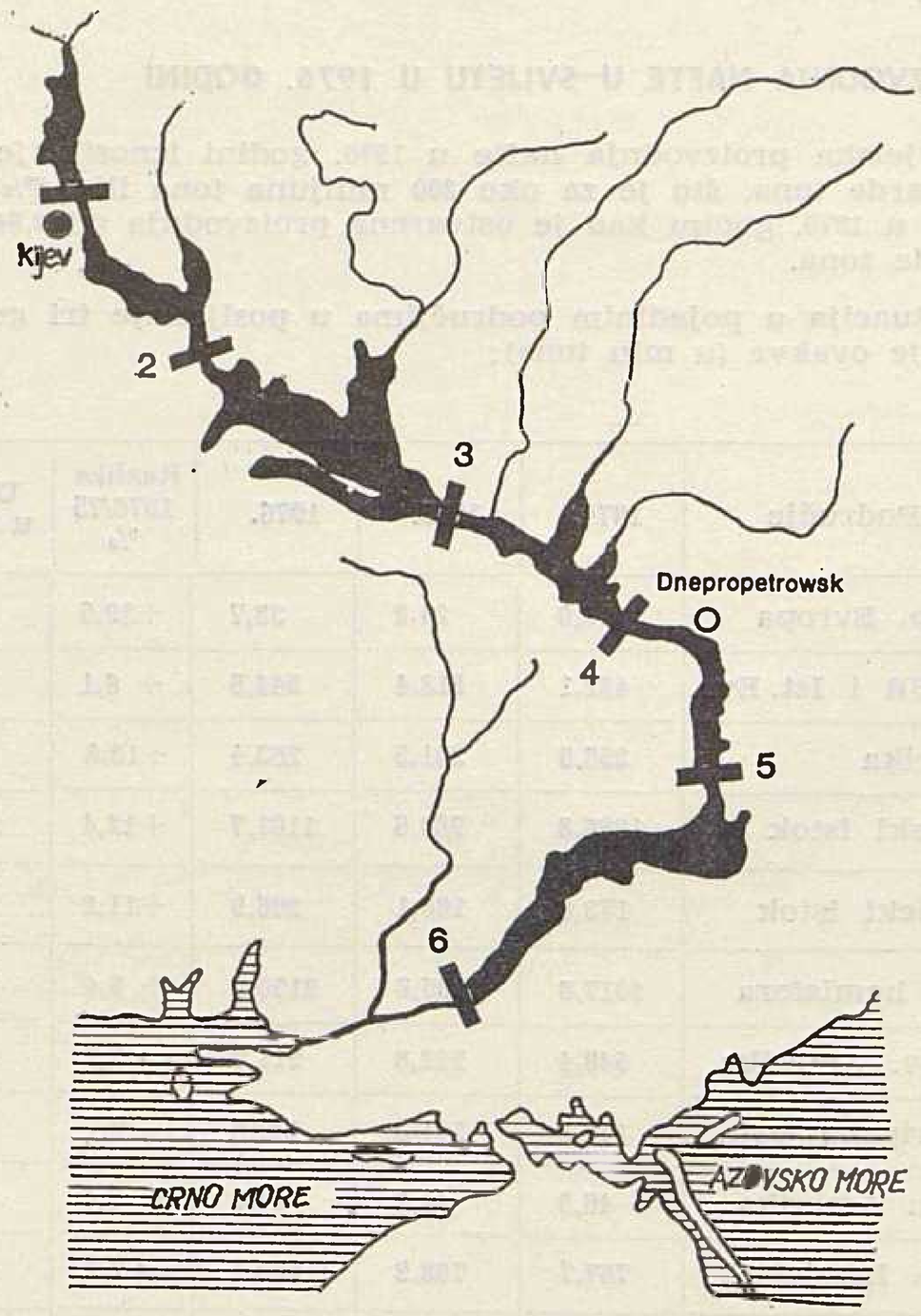
Sovjetski hidroenergetski potencijal s obzirom na proizvodjnu električne energije iznosi u milijardama kWh:

Hidroenergetski potencijal	Evropa	Azija	Ukupno
Teorijski potencijal	690	3 250	3 940
Potencijal tehnički iskoristiv	315	1 790	2 105
Industrijski iskoristivi potencijal	195	900	1 095

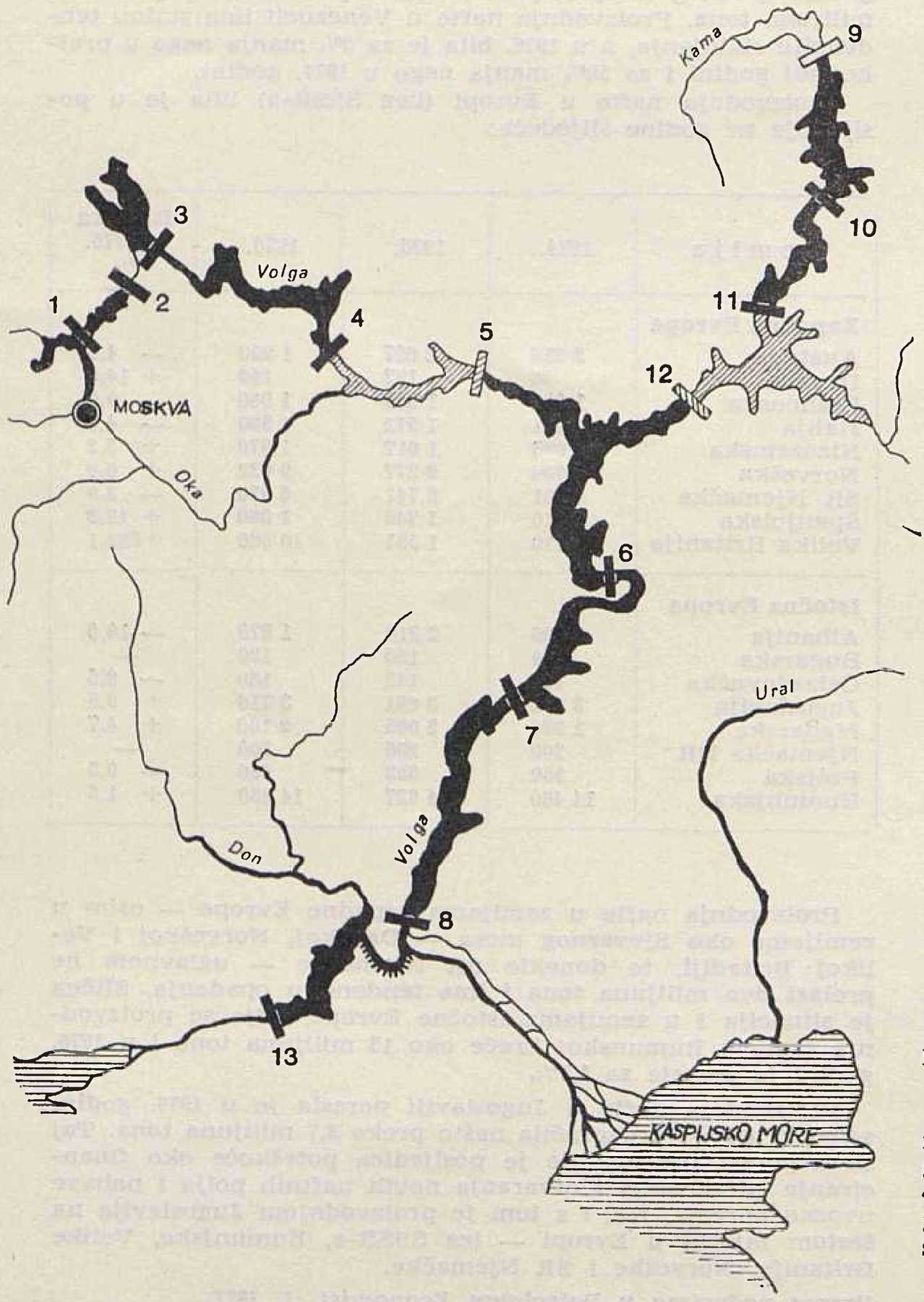
Krajem 1974. godine instalirana snaga u hidroelektranama iznosila je 33,4 milijuna kW, dok je u gradnji bilo daljnjih 20,0 milijuna.

Glavni vodotoci su:

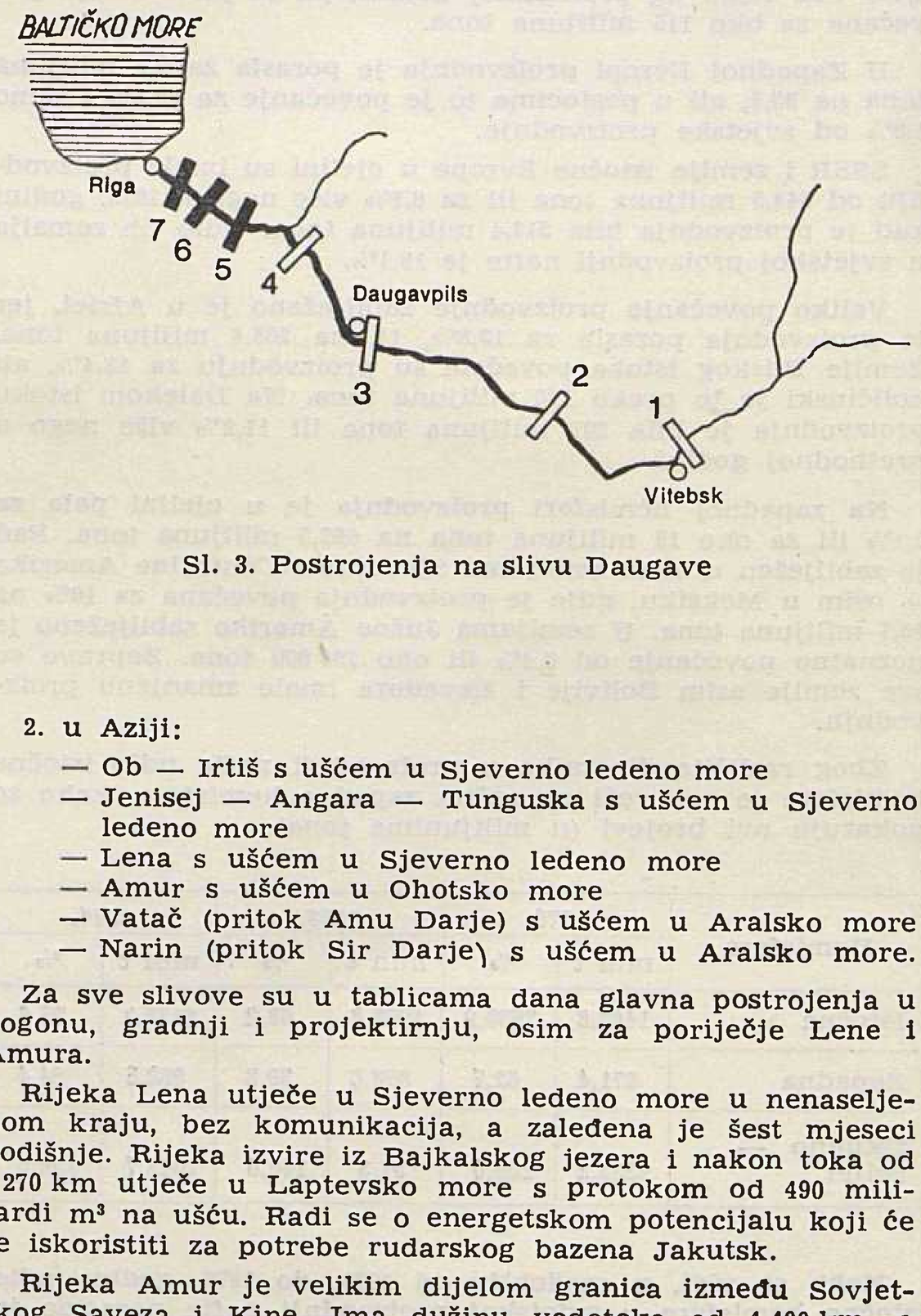
1. u Eevropi:
   - — Volga — Kama — Don s ušćem u Crno i Azovsko more
   - — Dnjepar s ušćem u Crno more
   - Daugava (Dvina) s ušćem u Baltičko more



Sl. 2. Postrojenja na slivu Dnjepra



Sl. 1. Postrojenja na slivu Volga-Kama-Don



Sl. 3. Postrojenja na slivu Daugave

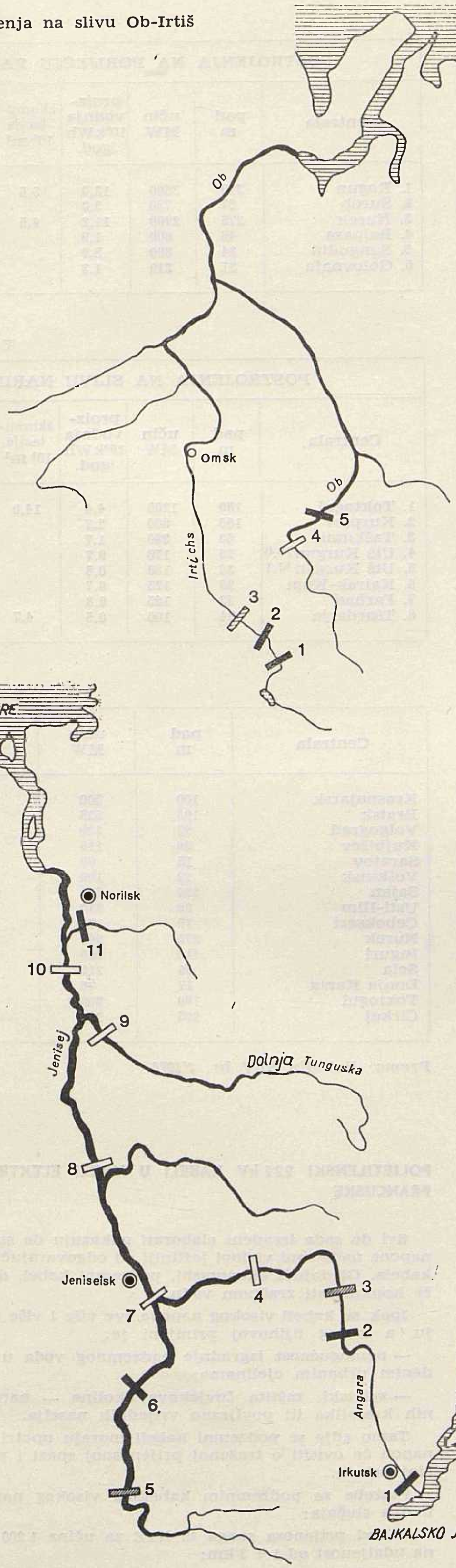
2. u Aziji:
   - — Ob — Irtiš s ušćem u Sjeverno ledeno more
   - — Jenisej — Angara — Tunguska s ušćem u Sjeverno ledeno more
   - — Lena s ušćem u Sjeverno ledeno more
   - — Amur s ušćem u Ohotsko more
   - — Vatač (pritok Amu Darje) s ušćem u Aralsko more
   - — Narin (pritok Sir Darje\ s ušćem u Aralsko more.

Za sve slivove su u tablicama dana glavna postrojenja u pogonu, gradnji i projektirnju, osim za poriječje Lene i Amura.

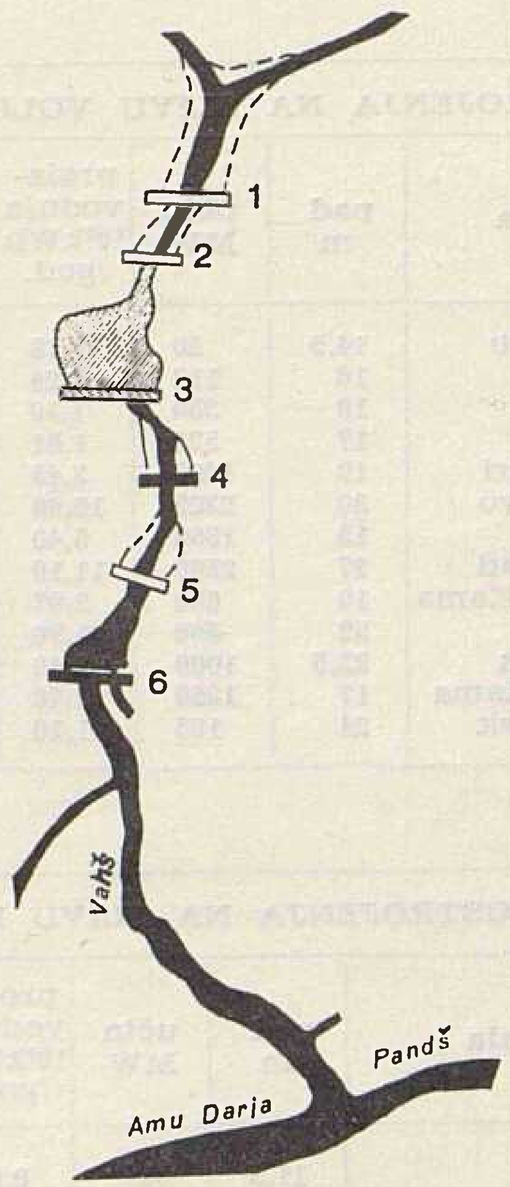
Rijeka Lena utječe u Sjeverno ledeno more u nenaseljenom kraju, bez komunikacija, a zaleđena je šest mjeseci godišnje. Rijeka izvire iz Bajkalskog jezera i nakon toka od 4 270 km utječe u Laptevsko more s protokom od 490 milijardi m³ na ušću. Radi se o energetskom potencijalu koji će se iskoristiti za potrebe rudarskog bazena Jakutsk.

Rijeka Amur je velikim dijelom granica između Sovjetskog Saveza i Kine. Ima dužinu vodotoka od 4 400 km, a protok joj na ušću iznosi 350 milijardi m³.

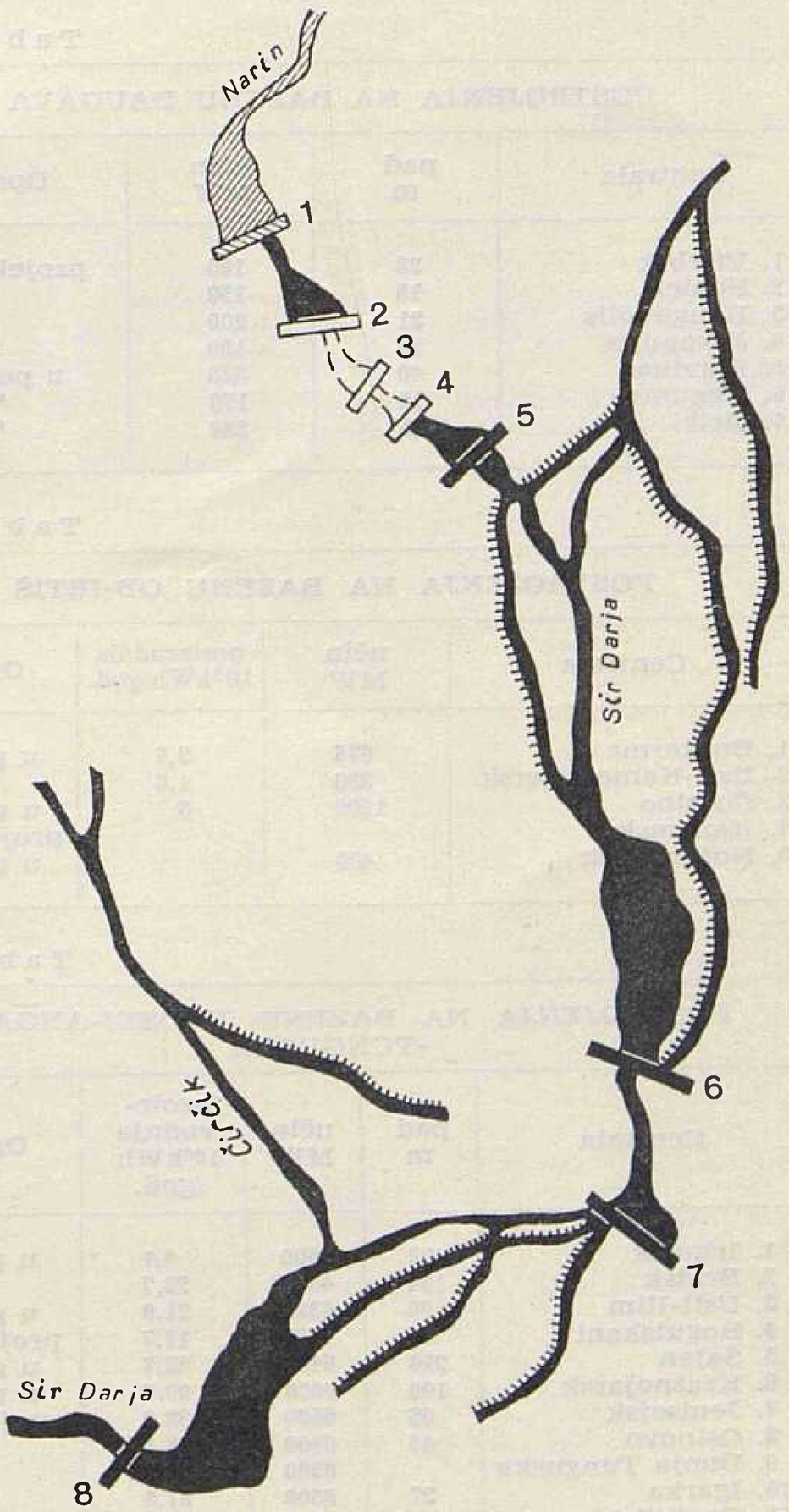
Sl. 4. Postrojenja na slivu Ob-Irtiš



Sl. 5. Postrojenja na slivu Jenisej-Angara-Tunguska



Sl. 6. Postrojenja na slivu Vahša



Sl. 7. Postrojenja na slivu Narin

Tablica I

POSTROJENJA NA SLIVU VOLGA-KAMA-DON

Centrala	pad m	učin MW	proizvodnja 10^9kWh/god.	akumulacija 10^9 m³	Opaska
1. Ivankovo	14,5	30	0,12	1,0	u pogonu
2. Uglitč	16	110	0,24	0,6	"
3. Ribinsk	18	330	1,10	16,7	"
4. Gorki	17	520	1,51	2,8	"
5. Ceboksari	19	1400	3,45	5,7	u gradnji
6. Kujbiševo	30	2300	10,90	34,6	u pogonu
7. Saratov	15	1360	5,40		"
8. Volgograd	27	2560	11,10	8,2	"
9. Gornja Kama	19	630	2,07	6,9	projektira se
10. Kama	22	500	1,90	9,8	u pogonu
11. Votkinsk	22,5	1000	2,40	3,7	"
12. Donja Kama	17	1250	2,70	4,6	u gradnji
13. Zimljansk	24	165	1,10		u pogonu

Tablica II

POSTROJENJA NA SLIVU DNJEPRA

Centrala	pad m	učin MW	proizvodnja 10^9kWh/god.	akumulacija 10^9 m³	Opaska
1. Kijev	11,5	350	0,6	1,2	u pogonu
2. Kanev	15,0	420	0,8	0,3	"
3. Kremenčug	17,0	625	1,5	9,0	"
4. Dneprodžerčinsk	10,5	350	1,3	0,3	"
5. Dnjeproges	38,5	650	3,6	0,8	"
6. Kačovka	16,5	350	1,4	6,8	"

Tablica III

POSTROJENJA NA BAZENU DAUGAVA

Centrala	pad m	učin MW	Opaska
1. Vitebsk	28	180	projektira se
2. Polock	18	150	"
3. Daugavpils	21	200	"
4. Jekappils	16	150	"
5. Plavinas	40	825	u pogonu
6. Kegums	15	170	"
7. Dole	16	380	"

Tablica IV

POSTROJENJA NA BAZENU OB-IRTIŠ

Centrala	učin MW	proizvodnja 10^9kWh/god.	Opaska
1. Buhtarma	675	3,5	u pogonu
2. Usti-Kamenogorsk	330	1,6	"
3. Čulbino	1200	3	u gradnji
4. Kamensk			projektira se
5. Novosibirsk	400		u pogonu

Tablica V

POSTROJENJA NA BAZENU JENISEJ-ANGARA-TUNGUSKA

Centrala	pad m	učin MW	proizvodnja 10^9kWh/god.	Opaska
1. Irkutsk	30	600	4,1	u pogonu
2. Bratsk	105	4600	22,7	"
3. Usti-Ilim	90	4320	21,9	u gradnji
4. Bogutskani	75	4000	17,7	projektira se
5. Sajan	220	6400	23,7	u gradnji
6. Krasnojarsk	100	6000	20,7	u pogonu
7. Jenisejsk	65	6500	32,9	projektira se
8. Osinovo	45	6500	28,8	"
9. Donja Tunguska		8300	38,6	"
10. Igarka	27	6600	31,8	"
11. Cantajka		450	2,0	u pogonu

Tablica VI

POSTROJENJA NA PORIJEČJU VAHŠA

Centrala	pad m	učin MW	proizvodnja 10^9kWh/god.	akumulacija 10^9 m³	Opaska
1. Rogun	310	3600	13,0	8,6	u planu
2. Šurob	57	750	3,0		"
3. Nurek	275	2700	11,2	4,5	u gradnji
4. Baipasa	46	600	1,9		u pogonu
5. Sangudin	84	800	3,9		u planu
6. Golovnaja	31	210	1,3		u pogonu

Tablica VII

POSTROJENJA NA SLIVU NARIN

Centrala	pad m	učin MW	proizvodnja 10^9kWh/god.	akumulacija 10^9 m³	Opaska
1. Toktogul	180	1200	4,4	14,0	u gradnji
2. Kurpsai	100	800	2,7		projektira se
3. Taškumir	60	380	1,7		"
4. Utš Kurgan N.0	25	170	0,7		"
5. Utš Kurgan N.1	36	180	0,8		u pogonu
6. Kairak-Kum	25	125	0,7		"
7. Farhad	33	125	0,8		"
8. Tšardarja	24	100	0,5	4,7	"

Tablica VIII

Centrala	pad m	učin MW	Opaska
Krasnojarsk	100	500	u pogonu
Bratsk	105	225	"
Volgograd	27	125	"
Kujbišev	30	115	"
Saratov	15	60	"
Votkinsk	22	100	"
Sajan	220	640	u gradnji
Usti-Ilim	90	240	"
Ceboksari	19	78	"
Nurek	275	300	"
Inguri	410	260	"
Seia	95	215	"
Donja Kama	17	78	"
Toktogul	180	300	"
Čirkej	205	250	"

Prema: Bulletin SEV br. 2/1976.

B. Mr.

POLIETILENSKI 225 kV KABELI U MREŽI ELEKTROPRIVREDE FRANCUSKE

Svi do sada izrađeni elaborati pokazuju da su kod visokih napona nadzemni vodovi jeftiniji od odgovarajućih podzemnih kabela. Gledajući ekonomski, podzemni kabel, dakle, ne može konkurirati zračnom vodu.

Ipak se kabeli visokog napona sve više i više upotrebljavaju, a razlog njihovoj primjeni je:

— nemogućnost izgradnje nadzemnog voda u gusto izgrađenim urbanim cjelinama;

— estetski, zaštita čovjekove okoline — naročito pojedinih krajolika ili povijesno vrijednih naselja.

Tamo gdje se podzemni kabeli moraju upotrijebiti, njihov napon će ovisiti o traženoj prijenosnoj snazi i potrebnoj dužini kabela.

Potrebe za podzemnim kabelima visokog napona nastaju u dva slučaja:

— kod prijenosa snaga iz NTE za učina 1 200 + 1 600 MVA, na udaljenost od 1 + 3 km;

— kod dubokih uvoda u gradove s potrebnim prijenosom od 100 + 800 MVA u dužinama i do 15 km.

Današnje mogućnosti francuske kabelske industrije ograničene su presjekom od 1 300 mm²; to je, naime, najveći presjek koji se proizvodi u zemlji. Vodiči su u pravilu od aluminija. Radi povećanja prijenosne snage kabela mogao bi se upotrijebiti i bakar, ali to je znatno skuplje.

Za sada se proizvode osim klasičnih uljnih kabela i kabeli s izolacijom iz PE (polietilen) do napona 225 kV (radi se o nekom neumreženom polietilenu); maksimalna prijenosna snaga takvog kabela iznosi 300 MW. Ispitivanja su pokazala da se s vanjskim prisilnim hlađenjem prijenosa moć takvog kabela povećava na 600 MW. Takvo rješenje je, uzimajući u obzir investiciju, troškove održavanja i gubitke za 25% jeftinije od polaganja dvaju paralelnih kabela.

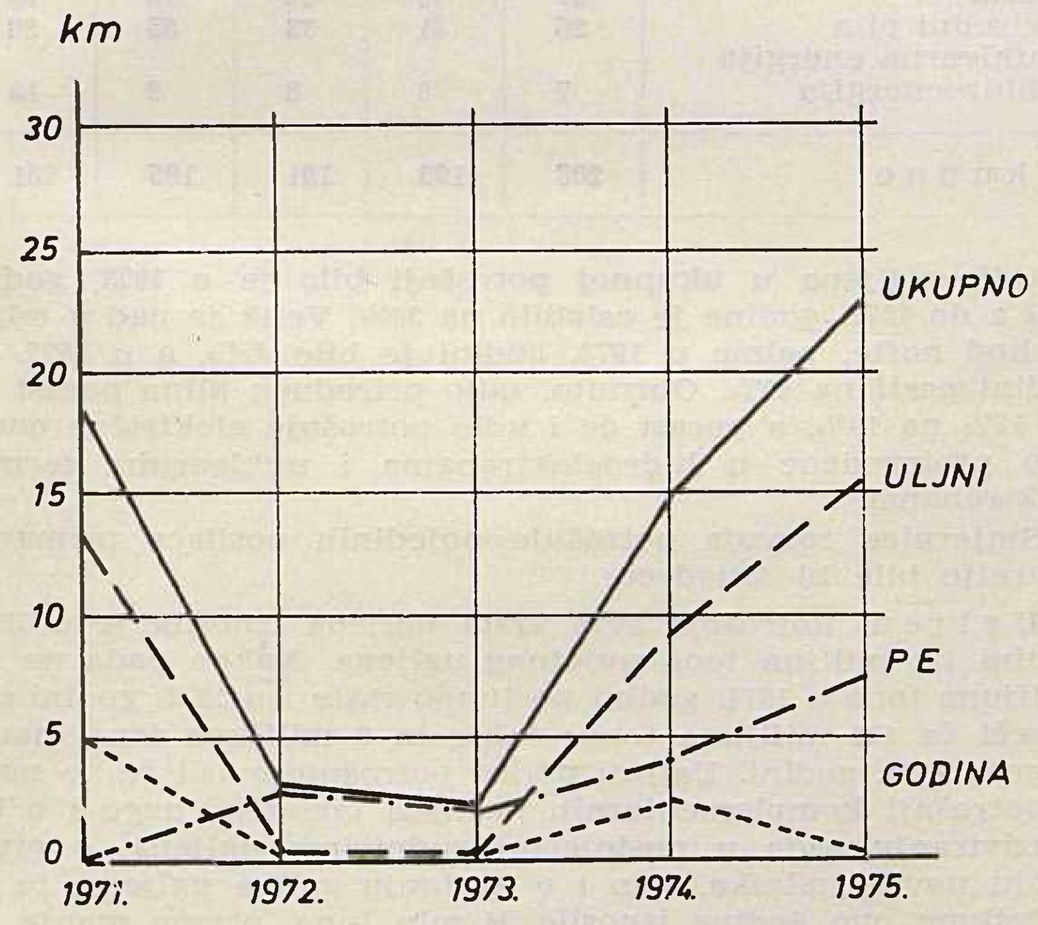
Za prijenos većih snaga proizvode se uljni kabeli do napona od 400 kV. Maksimalna prijenosna snaga im je oko 700 MW.

U tablici su dane količine kabela visokog napona u pogonu u EDF-u za 1. 1. 1975.

ELEKTROPRIVREDA FRANCUSKE
VISOKONAPONSKI KABELI U POGONU ZA 1. 1. 1975.

izolacija			
napon kV	PE km	ostale km	ukupno km
400	—	2,3	23,0
225	9,0	217,0	226,0
150	—	13,3	13,3
90	2,0	27,	29,9
63	150,0	1015,0	1165,0

Iz tablice vidimo da je u pogonu 161,0 km PE kabela. Ako znamo da je EDF prve PE izolirane kabele ugradio u mrežu 1971. godine (sl. 1), da je njihova upotreba iz godine u godinu sve veća i da je 1975. godine kod V. N. kabela u pogonu preko 30% kabela s PE izolacijom, očito da su iskustva s PE kabelima bila dobra i da je elektroprivreda upotrebom kabela s takvom izolacijom našla i svoju ekonomsku računicu.



Sl. 1. Godišnja ugradnja 225 kV kabela (trofazno) u elektroprivredi Francuske

Danas elektroprivreda Francuske za napon 225 kV upotrebljava isključivo PE izolirane kabele zbog niže cijene ugrađenog kabela, jednostavnije izgradnje, laganog održavanja i što je naročito važno, istog ili manjeg broja kvarova nego do sada u pogonu klasičnih kabela.

S PV kabelima vršena su u Francuskoj vrlo opsežna ispitivanja. Ispitivanje 225 kV kabela započeta su 1968. godine u laboratorijima EDF-a. Tek kada su izvršena sva ispitivanja, kao uostalom za svaku novu konstrukciju V. N. kabela, odobrena je ugradnja takvih kabela u mrežu Francuske.

Prosječan broj mjesečnih kvarova u pogonu svakog novog kabela računa se po Weibullovoj formuli, a treba da je manji od zadanog (postojećeg) postotka kvarova. Takav način procjene mogućih kvarova na novom kabelu zahtijeva dugotrajna ispitivanja uz dovoljno visok napon da bi se mogla odrediti pouzdanost izolacije u ovisnosti o vremenu i naponu.

Kod preuzimanja kabela svaki bubanj 225 kV stavlja se pod napon od 280 kV u vremenu od jednog sata. Smatra se da je kabel ispravan ako od 50 ispitanih bubnjeva probije jedan.

Kabel ne smije probiti pod $\sqrt{3}$ višim naponom (od nominalnog) kroz 6000 h i 250 termička ciklusa.

Za to ispitivanje uzima se 5 uzoraka 40 m dužine (s odgovarajućim spojnicama i kabelskim glavama). Takav kabel se polaže u zemlju na dubinu od 80 cm.

Narinuti je linijski napon iz mreže 400 kV, dakle za $\sqrt{3}$ veći od nominalnog napona. Tako je ispitani kabel izložen svim pogonskim prenaponima mreže.

Termički ciklus znači zagrijavanje kabela strujom u trajanju od 8 sati, tako da se kabel zagrije 10°C više od dozvoljene temperature (70°C); nakon 2 000 sati ispitivanja zagrijavanje se povisi na 15°C iznad dozvoljenoga.

Ako dođe do proboja nakon 4 000 sati ispitivanja, kabel se popravi, a ispitivanje nastavi, ali je tada ukupno vrijeme ispitivanja 9 000 sati.

Kod pojedinih uzoraka ispitivanje se nastavlja uz iste uvjete i nakon propisanih 6 000 sati, tako da se još ispituje, bez kvara, 225 kV kabel sada već preko 22 000 sati (u ispitivanju je i 63 kV kabel spreko 55 000 sati).

Ispitivanje na prenapone. Kao prvo, 225 kV kobel je ispitan na udarni val i zatim s prenaponom industrijske frekvencije. Uzorak dužine 20 m mora izdržati po 10 udara oba polariteta valom 1/50 tjemene vrijednosti 1 050 kV. Nakon toga je 24 sata pod naponom od 350 kV i 50 Hz.

Kod pojedinih ispitivanja se išlo više, do preskoka na porculanu kabelske glave koje je nastalo kod + 1 400 kV, odnosno −1 350 kV. Nakon toga od svih uzoraka probila je jedna kabelska glava kod ispitivanja naponom 50 Hz.

Uz uobičajena ispitivanja ispituje se kabel i s prenaponima koji se mogu pojaviti u pogonu.

Tako je vršeno ispitivanje s odrezanim valom (1/50 i odvodnicima kraj kabelskih glava). Ispitivano je do 950 kV po 10 udara obaju polariteta.

Ispitivanja su vršena i s manevarskim valovima sporoga čela (240/4 000). Ispitivanje se počinje sa 600 kV sa stupnjevima od po 50 kV do 850 kV. Svaki put je ispitano sa po trideset udara obaju polariteta, a na kraju još sa 10 dodatnih. Kod + 850 kV i — 1 050 kV došlo je do preskoka na porculanu kabelskih glava.

Odabrane su dvije vrste oscilirajućih valova: 47 kHz uz prigušenje 1,6 i 24 kHz i prigušenje 1,4. Ispitivanja su počela od 600 kV sa stupnjevima od 50 kV sa po 15 udara obaju polariteta i nastavljena do ± 1 050 kV, tj. preskoka na porculanu.

Iz svega što je rečeno o ispitivanju može se zaključiti da su vršena vrlo opsežna i savjesna ispitivanja koja su dala izvrsne rezultate.

Već je u uvodu rečeno da se očekuju maksimalne snage koje treba prenijeti od 1 600 MW, koje se očekuju do 1985. godine.

Predviđa se do 225 kV domena kabela s izolacijom iz UPE (umreženi polietilen). SAD normalno proizvodi 138 kV, a Švedska je počela s proizvodnjom 154 kV kabela s UPE kao izolacijom. Nema vidljivog razloga da se s istim materijalom ne izoliraju i 225 kV kabeli i iskoriste odlične tehničke osobine tog materijala.

Za prijenos većih snaga na naponu 400 kV i više predviđa se u budućnosti primjena plinskih kabela, pogotovo izoliranih sa SF_6 u kombinaciji s takvim rasklopnim postrojenjima. Na takav se način mogu prenositi snage i do 3 000 MVA bez hlađenja. Montaža je jednostavna, a održavanje malo. Konačno, takvi kabeli imaju malene gubitke, malene kapacitivne struje i mogućnost preopterećenja. Glavna mana takvih kabela, potrebni prostor, i nije tako značajna, jer svi ostali kabeli koji mogu prenesti sličnu snagu moraju biti prisilno hlađeni, što također traži prostor.

Konačno, velike su mogućnosti na napon 400 kV PE izoliranog kabela s vanjskim prisilnim hlađenjem. Izvanredne električne kvalitete tog materijala i njegova čistoća daju nadu da će se s gradijenta od 10 kV/mm uskoro prići na 15 kV/mm, što mu omogućava da bude konkurentan u tim naponskim nivoima. Pitanje je zašto se taj kabel ne proizvodi kao podmorski, primjerice u slučaju većeg povezivanja sistema Engleske i Francuske, pogotovo ako imamo u vidu za to potrebne količine kabela.

Prema: Revue Générale de L'Électricitè 10/76.

B. Mr.

SUPERAKUMULATOR

Na narudžbu Američkog instituta za električna istraživanja, uz cijenu od 2,5 milijuna dolara, dovršit će Centar za istraživanja i razvoj General Eelectrica istraživanja i izraditi konstrukciju novog superakumulatora s pet puta većim kapacitetom po kilogramu od klasičnog akumulatora olovo-kiselina.

Radi se o akumulatoru s natrijem i sumporom, razumije se u rastopljenu stanju, i čvrstog elektrolita od specijalne keramike. Optimalna radna temperatura takvih akumulatora je između 300÷350°C. Materijali za njihovu izradu su jeftiniji.

Za sada je General Eletric znatno smanjio oštećivanje keramike koja dijeli tekući natrij i sumpor. Buduća istraživanja nastoje produžiti vijek akumulatora poboljšanjem nenih stanica, za punjenje.

Cilj je istraživanja konstruirati akumulator kapaciteta od 100 kWh koji je moguće prevoziti kamionom do distributivnih stanica, za punjenje.

RGE 1976/10

B. Mr.

MJEŠAVINA BENZIN — METANOL

Nedavno je s uspjehom završeno višemjesečno praktično ispitivanje mješavine benzin-metanol. Ispitivanja su vršena na koloni vozila koja se kretala od polarnog kruga do Korzike i prevalila 1,75 mln kilometara. Ispitivanja su vršena prema tzv. programu M-15 i trebala su utvrditi sposobnost mješavine benzin-metanol za pogon normalnih Otto-motora. Pokusi su vršeni s mješavinom od 85% motornog benzina s 0,15 grama tetraetilolova na litru i 15% metanola. Na temelju povoljnih rezultata računa se da bi se takve mješavine mogle već sredinom devedesetih godina uvesti kao alternativno motorno gorivo.

Erdöl-dienst, 25. II 1977.

V. B.

POTROŠNJA ENERGIJE U SAD

Potrošnja energije u SAD u 1976. godini iznosila je oko 1870 milijuna tona u ekvivalentu nafte (1 kg=10 000 kcal), a predviđeno je da će u 1977. godini biti veća za 6% i doseći će nešto preko 1950 milijuna tona.

Situacija pojedinih primarnih nosilaca energije u ovoj i prošloj godini je ova:

Nosilac energije	1976.	(plan) 1977.
Kameni ugljen (milijuna tona)		
— proizvodnja	6,2	6,1
— uvoz (čisti)	— 1,1	— 1,1
— potrošnja	5,1	5,0
Mrki ugljen (milijuna tona)		
— proizvodnja	697	665
— uvoz (čisti)	— 64	— 59
— potrošnja	633	597
Nafta (milijun kubnih metra)		
— proizvodnja	567	558
— uvoz (čisti)	483	385
— potrošnja	1050	943
Prirodni plin (milijardi kubnih metra)		
— proizvodnja	540	563
— uvoz	25	25
— potrošnja	565	588
Hidroenergija (milijardi kwh)		
— proizvodnja	320	310
— uvoz	10	10
— potrošnja	330	320
Nuklearna energija (milijardi kwh)		
— proizvodnja	237	186

Forescat in US Energy Consumption it's 1977, II. 1977.

V. B.

KAPACITETI ZA PRERADU URANOVE RUDE

Povećana potražnja za uranom i njegova sve veća cijena uvjetovala je povećanje kapaciteta za preradu njegove rude. Kapaciteti u 1975, 1980. i 1985. godini bili bi slijedeći (t/god.).

Zemlje	1975.	1980.	1985.
Francuska	1 700	2 000 — 3 000	2 000
Gabon	800	800	1 000
Južna Afrika	3 500	4 000	6 000 — 8 000
Kanada	4 600	10 000	12 000 — 15 000
Namibija	—	2 000 — 4 000	4 000
Niger	1 200		4 000 — 6 000
SAD	14 000	20 000 — 25 000	30 000 — 35 000
Ostali	500	2 000	3 000 — 5 000

Podacima nisu obuhvaćene socijalističke zemlje.

Energy International, II 1977.

V. B

POTROŠNJA ENERGIJE U VELIKOJ BRITANIJI

Ukupna potrošnja nosilaca primarne energije u Velikoj Britaniji iznosila je u 1976. godini 195 milijuna tona u ekvivalentu nafte, što je za 4 milijuna tona ili oko 2,0% više nego u 1975. godini, ali ipak za 13 milijuna tona manje nego u 1973. godini. To smanjenje je posljedica poskupljenja energije u protekle tri godine, mjera za štednju enrgije kao i inflacija.

Za 1977. godinu očekuje se — s obzirom na stanovit porast privredne aktivnosti — da će potrošnja energije porasti opet za 2% i da će doseći 201 milijun tona u ekvivalentu nafte, dakle još uvijek ispod dometa u 1973. godini.

Struktura potrošnje energije od 1973. godine do 1976. godine i predvidivo u 1977. godini jest ova (u milijunima tona u ekvivalentu nafte):

Energija	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.
Ugljen	78	69	72	71	73
Nafta	97	90	80	79	80
Prirodni plin	26	31	33	35	38
Nuklearna energija i hidroenergija	7	8	8	9	10
U k u p n o	208	199	191	195	201

Udio ugljena u ukupnoj potrošnji bilo je u 1973. godini 38% a do 1977. godine je oslabilo na 36%. Velik je pad u udjelu kod nafte, naime u 1973. godini je bilo 47%, a u 1977. će godini pasti na 40%. Obrnuto, udio prirodnog plina porast će od 12% na 19%, a porast će i udio potrošnje električne energije proizvedene u hidroelektranama i nuklearnim termoelektranama.

Smjernice razvoja potrošnje pojedinih nosilaca primarne energije bile bi slijedeće:

U g l j e n. Potrošnja svih vrsta ugljena iznosila je u 1973. godini 131 milijun tona uvjetnog ugljena. Nakon pada na 116 milijuna tona u 1974. godini postupno raste i u 1977. godini dodoseći će 122 milijuna tona, dakle za 9 milijuna tona manje nego u 1973. godini. Daljnji porast potrošnje ovisit će ne samo o potrošnji komplementarnih nosilaca energije, nego i o intenziviranju rada u postojećim rudnicima ugljena, o otvaranju novih rudnika, kao i o kretanju zaliha ugljena, te su početkom ove godine iznosile 34 mln tona, prema manje od 29 milijuna tona krajem 1975. godine.

N a f t a. Do 1975. godine potrebe za naftom pokrivene su isključivo iz uvoza, koji je u 1973. godini iznosio oko 80 milijuna tona, a u 1975. godini nešto više od 70 milijuna tona. Te godine započeta je proizvodnja nafte u Sjevernom moru,koja je u 1976. godini dosegla 12 milijuna tona. Za ovu godinu očekuje se da bi proizvodnja na Sjevernom moru mogla iznositi 35 do 45 milijuna tona i mogla bi pokriti polovinu potreba. Očekuje se da bi već u doglednoj perspektivi ta proizvodnja mogla pokriti potrebe cijele zemlje.

Potrošnja p r i r o d n o g p l i n a će i dalje rasti i ravnat će se prema mogućnostima proizvodnje i dopreme. U 1973. godini bilo je proizvedeno 29 milijardi kubnih metara, a do 1976. godine porasla je na preko 35 milijarde. Računajući s daljnjim rastom proizvodnje, očekuje se da će ta proizvodnja već potkraj ove godine pokrivati više od 20% potreba za ukupnom energijom.

Ukupna proizvodnja električne energije, koja je u 1973. god. iznosila 259 Twh, do 1976. godine oslabila je na oko 245 Twh. Mežutim, proizvodnja na nuklearnim termoenerganama porasla je do 23,7 Twh u 1973. godini na 31,8 Twh u 1976. godini. Kako proizvodnja hidroenergije stagnira, to se sva povećanja u proizvodnji hidroenergije i nuklearne energije odnose na povećanja na tim instalacijama. Na taj će način ta dva izvora električne energije u ukupnoj potrošnji energije u 1977. godini sudjelovati s 5%, prema 3% u 1973. godini. Sva daljnja povećanja ovisit će o razvoju izgradnje nuklearnih termoelektrana. Naravno da nije uzeta u obzir situacija proizvodnje električne energije na termoelektranama, koja je u 1976. godini iznosila oko 213 Twh.

Energy Trends, I. 1977.

V. B.

TERMOELEKTRANA U SURGUTU

Nedavno je dovršena gradnja termoelektrane u Surgutu, u zapadnom Sibiru, u centru naftnog i plinskog područja. Svojom će proizvodnjom ona alimentirati novu industriju, koja se gradi na srednjem Obu. Termoelektrana ima kapacitet 1,28 milijuna kw, a kao gorivo upotrebljava prirodni plin, koji se dobiva zajedno s naftom.

U gradnje tog objekta uštređeno je pravilnim projektiranjem oko 50 000tona raznog materijala (samo čelika 5 500 tona, cementa 5 100, šljunka 18 000 m^3 i sl.).

Erdöl-diens, 18. II. 1977.

V. B.

SKLADIŠTENJE RADIOAKTIVNIH OTPADAKA U AUSTRIJI

Radi što sigurnijeg uskladištavanja radioaktivnih otpadaka iz triju nuklearnih termoelektrana izrađen je projekt prema kojem će se takvi otpaci uskladištavati u rovove izrađene u kristalnom pragorju.

Za provedbu tog projekta trebalo bi investirati 2,5 do 3,0 mlrd šilinga: oko 1,5 do 2 milijuna šilinga otpalo bi na rudarske radove i objekte, a oko jedna milijarda šilinga na površinske objekte. Godišnji troškovi nadzora i održavanja stajali bi do 40 milijuna šilinga.

Troškovi proizvodnje električne energije bili bi opterećeni s oko pet groša na 1 kwh. Površinski objekti trebali bi biti dovršeni do 1892. godine, a podzemni do 1990. godine.

Erdöl-dienst, 18. II. 1977.

V. B.

POTROŠNJA ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ

Potrošnja ukupne energije u SR Njemačkoj u 1976. godini iznosila je 370,7 milijuna tona uvjetnog ugljena, što je za 6,6% više nego u prethodnoj godini i za oko 8 milijuna tona manje od potrošnje u 1973. godini. U toj je godini potrošnja iznosila 378,5 milijuna tona uvjetnog ugljena. Udio pojedinih nosilaca primarne energije u 1976. godini bio je ovaj

Nafta	53,1%
Kameni ugljen	18,9%
Mrki ugljen	10,1%
Prirodni plin	13,9%
Nuklearna energija	2,2%
Hidroenrgija i ostalo	1,8%

Oel, I, 1977.

V. B.

INSTALIRANI KAPACITETI GEOMETRALNIH ELEKTRANA

Island	2 MW
Italija	406 MW
Japan	48 MW
Meksiko	78 MW
Novi Zeland	192 MW
SAD	502 MW
Ukupno u svijetu	1 228 MW

Petroleum Review, I. 1977.

V. B.

REZERVE URANA U AUSTRALIJI

Prema izvještaju Australske komisije za atomsku energiju rezrve urana, koje se mogu eskploatirati uz troškove ispod 15.— dolara za funtu U_3O_8 iznose 227.000 tona urana, što je 21%od ukupnih svjetskih rezervi (bez socijalističkih zemalja). To je povećanje za 43.000 tona radi otkrivanja novih rezervi kod Jabiluka 2 u sjevernom dijelu zemlje.

Energy International, II 1977.

V. B.

Elektra e k
KOPRIVNICA

OOUR ELEKTRE — ZAGREB
PODUZEĆA ZA DISTRIBUCIJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

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

Vijesti iz elektroprivrede

U POGONU NOVE TRANSFORMATORSKE STANICE

Potrošnja električne energije na području Rijeke i Istre iz godine u godinu raste, naročito zbog ubrzanog razvoja industrije i turizma, ali i široke potrošnje.

Osigurati konzumu kvalitetne količine električne energije i popraviti naponske prilike može se izgradnjom novih elektroprijenosnim objektima.

Petogodišnji plan razvoja poduzeća »Elektroprenos« Matulji predviđa do 1980. godine gradnju većeg broja transformatorskih stanica napona 110 kV i 220 kV. Početak realizacije tog programa počeo je u 1976. godini. Na području »Elektroprenosa« — Matulji prošle godine izgrađeni su i pušteni u pogon objekti TS 110/35 kV Krk i TS 110/35 kV Pazin.

Današnji slabi prijenosni kapaciteti na kvarnerskim otocima s naponom od 35 kV, uz velike gubitke u naponima, a sve veće potrebe konzuma traže izgradnju novog sistema za napajanja kvarnerskih otoka energijom.

NAPAJANJE KRKA 110 kV MREŽOM

Investitor »Elektroprenos« Matulji planirao je u nekoliko faza izgradnju novog sistema za napajanje otoka električnom energijom. U prvoj fazi izgrađena je TS 110/35 kV Crikvenica, preko koje otoci dobivaju električnu energiju iz HE »Nikola Tesla« — Vinodol.

Podmorskim 110 kV kabelom Crikvenica — Konjin energija se prenosi od kopna na Krk i od Krka do Cresa — za sada pod naponom od 35 kV.

TS 110/35 kV Krk, snage 1 × 20 MVA, počela se graditi 1975, ali glavni radovi završeni su potkraj 1976. godine, tako da je od 21. prosinca 1976. u pogonu. Građevne radove je izvelo poduzeće »Primorje«, montažu elektroopreme »Rade Končar«.

Treba istaknuti da je TS 110/35 kV Krk prva stanica na jadranskim otocima koja prenosi energiju pod naponom 110 kV.

Drugi važni izgrađeni elektroprijenosni objekt prošle godine na području »Elektroprenosa« Matulji jest TS 110/35 kV Pazin, koja je 29. studenoga puštena u pogon.

Tehnički pokazatelji TS 110/35 kV Pazin jesu: U prvoj etapi instalirana snaga stanica 2 × 40 MVA, a u drugoj još dva transformatora iste snage. Ima deset polja 110 kV i 20 polja 35 kV. U prvoj etapi radi pet polja 110 kV i 15 polja 35 kV. U TS ima pet 110 kV rezervnih dalekovodnih polja, i to za Buzet, Poreč II, Plomin II, »Istra I« i prema budućoj TS 220/110 kV »Istra«.

Za sada TS 110/35 kV Pazin prenosi električnu energiju iz TE Plomin, ali u budućnosti, izgradnjom nove dalekovodne mreže, i iz TE »Rijeka I« (u gradnji) i HE Senj.

Građevne radove na ovom objektu obavilo je poduzeće »Primorje«, a kompletnu montažu »Rade Končar«. Glavni dio elektroopreme proizvela je tvornica »Rade Končar«, a uređaji zaštite i mjerenja nabavljeni su iz uvoza od tvrtke BBC — Landis Gyr.

Ukupne investicije za izgradnju TS Pazin iznose oko 45 milijuna novih dinara.

DALJNJI PLANOVI

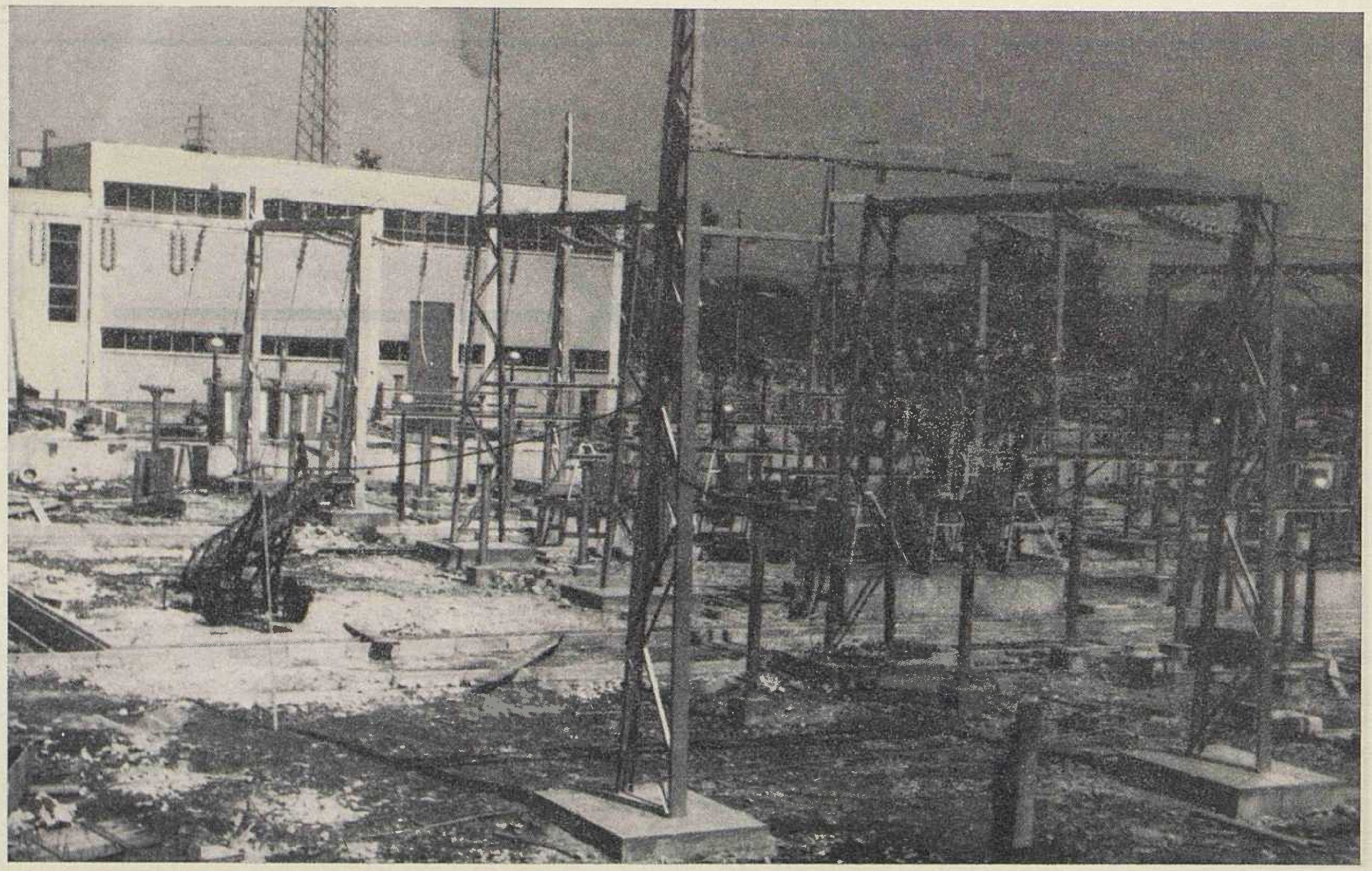
U TS 220/110/35 kV Pehlin izvršena je montaža i drugog transformatora, snage 150 MVA, što ga je proizveo »Rade Končar«.

Stavljanje u pogon novog transformatora druga je etapa u proširenju transformatorske stanice Pehlin. Tim proširenjem znatno će se popraviti naponske prilike konzuma na području Rijeke i Istre.

Poduzeće »Elektroprenos« Matulji i u 1977. godini nastavlja s radom na daljnjoj izgradnji i rekonstrukciji elektroprijenosnih objekata. Za novu TS 110/35 kV Poreč i TS 110/35 kV Lički Osik, proširenje, izrada glavnih projekata je u završnoj fazi. U izradi je i idejni projekt za novu TS 220/35 kV »Istra«.

Plan izgradnje novih transformatorskih stanica obuhvaća i TS 110/35 kV Plitvice, Karlobag i »Istra I«.

Pogled na TS 110/35 kV Poreč



RAZVOJ IZGRADNJE 380 kV MREŽE

Prva etapa izgradnje magistrale 380 kV mreže »Nikola Tesla« na području »Elektroprenosa« Matulji, u ukupnoj dužini oko 206,2 km, odvijaju se uspješno. Prsten 380 kV mreže »Nikola Tesla« na tom području podijeljen je u tri gradilišta:

— dionicu Meline — Brinje, dugu oko 59,4 km,
— dionicu Meline — Slovenska granica, oko 25,6 km i
— dionicu Brinje — Zrmanja, oko 121,2 km, gdje gradnju nastavlja »Elektroprenos« iz Splita.

U prvi plan došla je izgradnja dionice Meline — Brinje i radovi su tako daleko došli da gradnja tog voda ulazi u završnu fazu. Predviđeno je da vod u prvoj etapi radi naponom 220 kV.

U toku su radovi na trasi Meline — Slovenska granica. Planirano je da kompletno budu završeni do kraja ove godine.

Građevni dio i montažu obaju vodova investitor je ustupio poduzeću »Dalekovod«.

Izrađena je kompletna tehnička dokumentacija i obavljene sve pripreme za početak glavnih radova na dionici Brinje — Zrmanja. Dobar dio opreme je ugovoren i već su na trasi isporučeni stupovi. S poduzećem »Dalekovod« ugovorene su izvedbe građevnih i montažnih poslova.

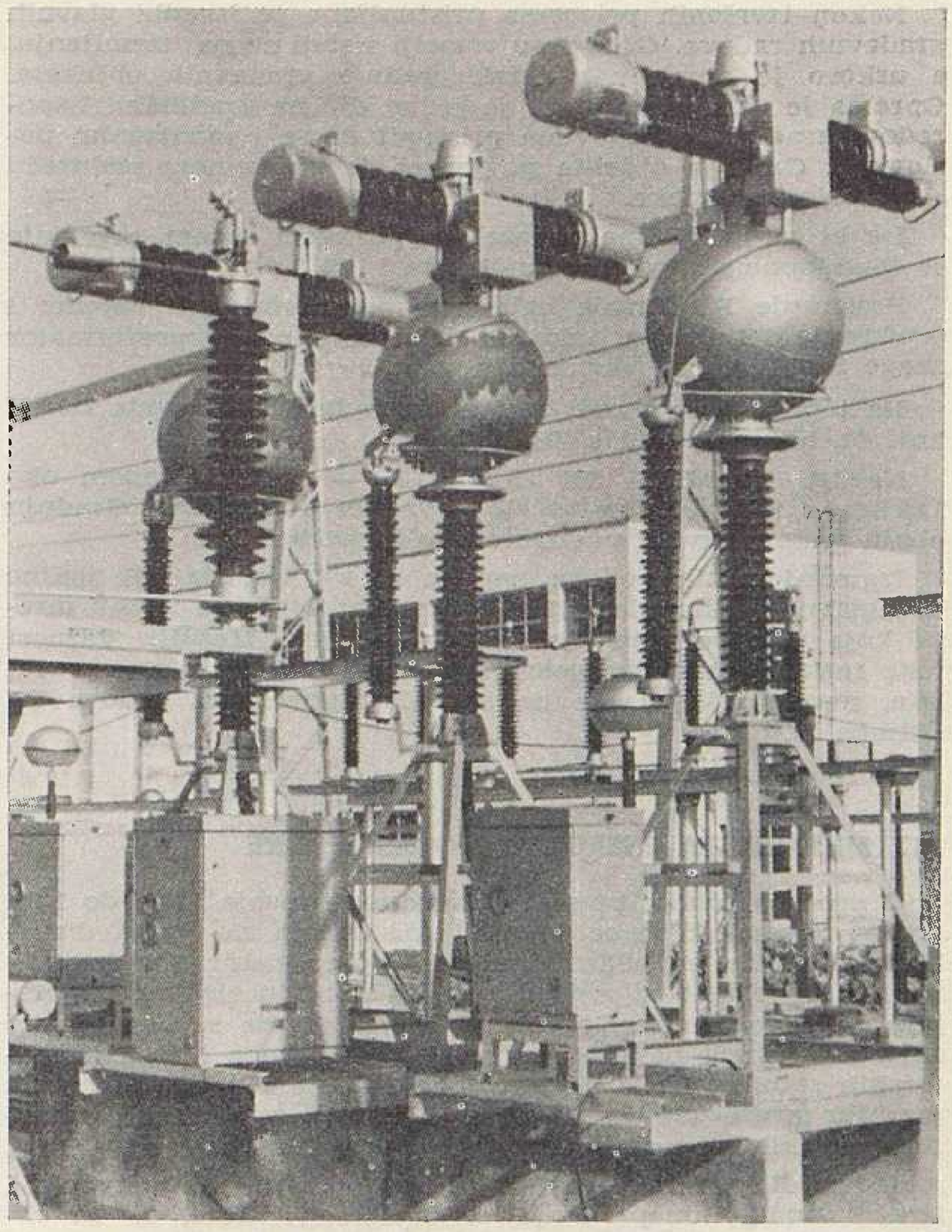
Planirano je da rad na toj dionici treba početi što prije u toku ove godine.

GRADNJA TS MELINE

TS 380/220/110 kV Meline predstavlja centralnu transformatorsku stanicu čvorišta 380 kV prstena na području poduzeća »Elektroprenos« Matulji.

TS Meline, snage 2 × 400 MVA, locirana je iznad Krasice i zauzima površinu od 12,5 ha, a u nju će ulaziti 3 dalekovoda 380 kV, 11 dalekovoda 220 kV i 11 dalekovoda 110 kV.

TS Meline prenosit će energiju iz elektrana riječke regije i Istre u prsten 380 kV »Nikola Tesla« i iz »prstena« prema potrošačima vezanim za to područje.



Novosagrađena TS 110/35 kV Krk

Pogled na gradilište TS 380/220 kV Meline

Nakon izvršenih priprema pristupljeno je izvedbi glavnih građevnih radova. Gotovi su temelji i radi se na uzemljenju, a uskoro je planiran početak gradnje građevnih objekata. Oprema je ugovorena i već je jedan dio na gradilištu. Usporedo s građevnim radovima pristupit će se i montažnim poslovima. Gradnja objekta povjerena je građevnom poduzeću »Primorje« iz Rijeke.

Da bi se TS Meline povezale u postojeći sistem, proširuje se (rasklopno postrojenje) u Brinju i TS 220/110 kV Pehlin.

Proširenje RP Brinje uglavnom je završeno, a također i proširenje TS Pehlin, tako da će uskoro novi transformator snage 150 MVA biti pušten u pogon.

Na tom području radi se i na izgradnji dalekovoda 220 kV koji će biti povezani s TS Meline.

Na DV 2 × 220 kV TE »Rijeka I« — Meline, dugom oko 12,2 km, s radovima se počelo u veljači ove godine. Gradnju obaju vodova izvodi poduzeće »Dalekovod«.

Izgradnjom tih vodova napona 220 kV buduća TS Meline kao glavna rasklopnica 220 kV povezivat će cijelu 220 kV mrežu koja pokriva područje »Elektroprenosa« Matulji. Važnost toga rasklopišta u energetskom sistemu Rijeke i Istre je velika, naročito što će se na tu točku povezivati i nova TE »Rijeka I«.

317 MILIJUNA ZA ENERGETSKE OBJEKTE LIKE

U srednjoročnom pmanu privrednog razvoja Like do 1980. godine investirat će se 317 milijuna dinara za razvoj distributivne mreže na području ličke regije. Planiranim investicijama raspolagat će poduzeće za distribuciju električne energije »Elektrolika« iz Gospića. Odlučeno je da se najveći dio sredstava utroši na gradnju novih dalekovoda i transformatorskih stanica. Iznos od 274 milijuna dinara predviđen je za gradnju mreže vodova 110, 35, 10 i 0,4 kV i za veći broj transformatorskih stanica.

Jedan dio sredstava uložit će se za daljnja istraživanja i izrade studija unapređenja elektrifikacije Like, te za rekonstrukciju postojećih elektropostrojenja i uređaja.

Zacrtani plan elektrifikacije Like počeo se već realizirati u 1976. godini, tako da su u toku radovi na gradnji: DV 35 kV Lički Osik — Udbina, dug oko 33,4 km. Vod se izvodi na čeličnorešetkastim pocinčanim stupovima, vodiči 95/15 mm² Al/Fe, zaštitno uže 35 mm² Fe, izolatori su porculanski domaće proizvodnje. Investicije za taj vod iznose oko 25 milijuna dinara.

Otpočela je i gradnja DV 35 kV Gračac — Srb, dugog oko 32 km, također na čelično-rešetkastim stupovima, vodiči 125/30 mm² i zaštitno uže 50 mm² Fe. Gradnju obaju dalekovoda i glavni dio isporuka opreme vrši zagrebačko poduzeće »Dalekovod«.

Nakon izgradnje tih dvaju 35 kV vodova konzum općina Udbina, Gračac i Srb raspolagat će kvalitetnim količinama električne energije, čime se stvaraju povoljni uvjeti za ubrzan razvoj tih danas nerazvijenih područja.

I. R.

RAZVOJ GRADNJE NAFTOVODA

Radovi prve dionice Jugoslavenskog naftovoda Omišalj (Krk) — Sisak, uspješno se odvijaju na trasi od obale prema Delnicama.

Na samom terminalu na Krku obavljeni su svi iskopi, a izgrađeni su i temelji za rezervoare. Do sredine ožujka po čitavoj trasi je raspoređeno više od dvije trećine potrebne količine cijevi.

Započeti su i glavni građevni radovi na terminalu u Sisku. Istovremeno se radi na pripremnim poslovima i za gradnju drugih terminala.

S domaćim i stranim proizvođačima investitor naftovoda zaključio je ugovore o isporuci razne opreme za terminale.

Građevni radovi na prvoj dionici naftovoda Omišalj — Sisak povjereni su domaćim građevnim poduzećima uz suradnju s Direkcijom za inžinjerske radove INE.

Nedavno su predstavnici Jugoslavenskog naftovoda s tvornicom šavnih cijevi iz Uroševca ugovorili isporuku spiralnih cijevi za potrebe gradnje naftovoda.

Radi se o isporuci 11 500 tona cijevi promjera 36, 28 i 26 cola te 6 500 tona zaštitnih cijevi.

Cijevi će biti isporučene početkom trećeg tromjesečja ove godine.

I. R.

USVOJENI INVESTICIJSKI PROGRAMI

Radnički savjet poduzeća »Elektroprivreda« prihvatio je investicijske programe za veći broj elektroenergetskih objekata:

— za DV 110 kV Zagreb i — Južni Zagreb II s raspletom vodova,

— za DV 110 kV Sisak — Glina, dug oko 26 km; u investi, ranju toga objekta sudjeluje »Elektroprenos« Zagreb i »Elektra« Sisak. Planiran je završetak radova do X/1977.

Odobrena je novelacija investicijskih programa i za: DV 110 kV Mraclin — TE-TO, DV 110 kV Zabok-Krapina-Straža, zatim TS 110/35 kV Nova Gradiška, TS 110/35 kV Virovitica — proširenje. Taj objekt će se graditi kao zajedničko ulaganje OOUR »Elektroprenosa« i »Elektre« Koprivnica. Predračunska vrijednost proširenja TS Virovitica iznosi oko 23 milijuna dinara, zatim TS 110/35 kV Karlovac — proširenje i TS 110/35 kV Zabok — proširenje.

Planom je predviđeno da navedeni objekti s odobrenim investicijskim programom budu završeni do kraja 1977. godine.

I. R.

ELEKTROPRIVREDA I UGLJENOKOPI ZAJEDNO

Članovi elektroprivrednih organizacija »Elektroprivreda« — Rijeka, »Elektroprenos« Matulji, »»Elektroprimorje« Rijeka, »Elektroistra« Pula i Istarski ugljenokopi »Raša« izjasnili su se o udruživanju u složnu organizaciju udruženog rada »Elektroprivreda«.

Povezivanje proizvođača električne energije i ugljena predstavlja privredni slijed ekonomske i samoupravne nužnosti.

Provedeno udruživanje odražava stvarnu potrebu da istarski ugljenokopi zajedički s elektroprivrednim organizacijama Rijeke i Istre — do sada najvećim, a u skoroj budućnosti isključivim potrošačem — rješavaju probleme i ekonomski položaj, te da zajednički ostvaruju razvojne planove.

Na području istarskih ugljenokopa vrše se sistematska istraživanja na utvrđivanju rezervnih količina ugljena. Dosadašnji rezultati pokazuju realnu mogućnost otvaranja novih jama Repende, Plomin i Tupljak u tom rudarskom bazenu. Otvaranjem novih jama stvaraju se povoljni ekonomični i tehnički uvjeti izgradnje TE Plomin II, koja bi cjelokupnu proizvodnju tog bazena upotrijebila za proizvodnju električne energije.

I. R.

IZGRADNJA 35 kV OBJEKATA

Posljednjih godina u poduzeću »Elektroprimorje« u Rijeci velika pažnja je posvećena investicijama u objekte napona 35 kV i višeg. Izgradnja tih objekata pretežno se financira iz sredstava zajma dobivenog od Republičke samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije, a sredstva se raspoređuju na razini Republike. Prvi ugovor o zajmu iz tih sredstava »Elektroprimorje« je potpisalo u listopadu 1974. godine na ukupni iznos od oko 73,81 milijuna dinara.

Odobreni zajam raspoređen je na godine:

1974. god.	27,88 milijuna dinara
1975. god.	24,96 milijuna dinara
1976. god.	20,97 milijuna dinara

Budući da je ugovor o zajmu potpisan u listopadu 1974. god. odobrena sredstva za tu godinu nisu mogla biti utrošena. Prema sporazumu neutrošena sredstva u tekućoj godini prenose se u iduću godinu. Iz tog dijela zajma uplaćeno je učešće za gradnju TS 110/35 kV Krk te su ishođene građevne dozvole i sklopljeni ugovori s izvođačima izgradnje TS 35/10 kV »Centar« — Rijeka i TS 35/10 kV Škurjinska Draga s odgovarajućim 35 kV priključcima.

Izgradnja tih objekata počela je u veljači 1975. godine.

Protekla 1976. godina zapravo je druga godina intenzivne izgradnje objekata predviđenih za financiranje iz sredstava spomenutog zajma.

IZGRAĐENI OBJEKTI

Do kraja 1976. godine završeni su i kolaudirani ovi objekti: TS 35/10 kV Škurinjska Draga s priključkom, TS 35/10 kV »Centar«—Rijeka s priključkom i dijelom 10 kV raspletom, zatim DV 35 kV Dunat — Baška, oko 13,2 km, izveden na čeličnorešetkastim pocinčanim stupovima i kabel 35 kV Osor, veza između otoka Cresa i Lošinja.

Ukupna vrijednost tih radova iznosi oko 36,5 milijuna dinara.

Osim tih objekata završeni su ili su pri završetku radovi i na ovim objektima: TS 35/10 kV Omišalj, DV 35 kV Delnice — Kupjak, DV 35 kV Katarina — Krimeja. Oba voda izvedena na čeličnorešetkastim pocinčanim stupovima, a građevne i montažne radove izvele su stručne ekipe »Dalekovoda.

Nadalje, izveden je djelomično 10 kV rasplet TS »Škurinjska Draga«, te 35 kV rasplet oko TS 110/35 kV Krk, koji je dijelom financiran iz vlastitih sredstava.

Vrijednost izvršenih radova na navedenim objektima iznosi oko 14 milijuna dinara. Za sve radove na 35 kV objektima do kraja 1976. godine investirano je oko 50,44 milijuna dinara. U ovom iznosu nisu obuhvaćena sredstva utrošene za pripreme gradnje ostalih planiranih objekata, čija će gradnja započeti u toku 1977. godine.

Izvršene su pripreme i pribavljena potrebna tehnička dokumentacija za ove objekte:

TS 110/35 kV Lovran, TS 35/10 kV Dramalj (priključak na DV 25 kV Crikvenica—Dramalj), TS 35/10 kV Kostrena, TS 35/10 kV Selce (priključak na DV 35 kV Crikvenica—Selce—Novi), te TS 35/10 kV Osor.

Plan predviđa i gradnju dispečerskog centra i tonfrekventne komande u Rijeci.

Treba napomenuti da su za svaki od navedenih objekata osim sredstava iz zajma potrebna i dodatna ulaganja koja će se pribaviti iz vlastitih izvora.

Rezultati postignuti u 1976. godini, kako po opsegu izvršenih radova, tako i po utrošenim sredstvima i izvršenim pripremama, pokazuju da je ta godina rekordna i vrlo uspješna u realizaciji plana izgradnje 35 kV objekata na području »Elektroprimorja«.

I. R.

NOVE HIDROELEKTRANE NA NERETVI

U poriječju Neretve, uz izgrađene hidroelektrane u Jablanici i na Rami, planirana je gradnja još dviju hidroelektrane: HE Salakovac i HE Grabovica.

Na HE Salakovac, instalirane snage 140 MW, locirana dvadesetak kilometara nizvodno na Neretvi, prošle godine su otpočeli glavni građevni radovi. Izvođač građevnih radova je poduzeće »Hidrogradnja« iz Sarajeva.

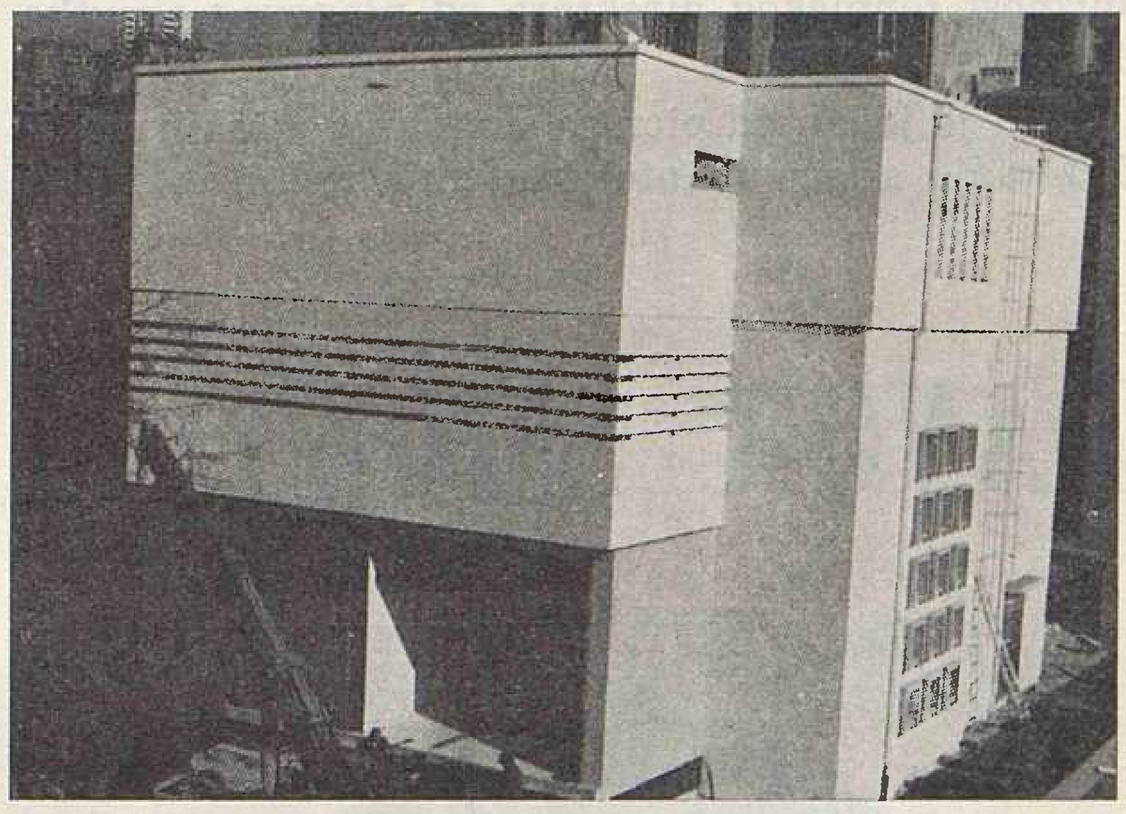
Za gradnju druge hidroelektrane, locirane u selu Grabovica na putu Jablanica — Mostar, investitor je potpisao ugovor s građevnim poduzećem »Konstruktor« iz Splita.

HE Grabovica raspolagat će dvama agregatima ukupne instalirane snage 128 MW i mogućom godišnjom proizvodnjom oko 345 GWh električne energije. Glavni zahvat na ovoj elektrani bit će gradnja 150 m duge i 60 m široke brane kojom će se pregraditi korito Neretve.

Budući da su obavljeni pripremni radovi, glavni građevni poslovi počet će u prvom polugodištu ove godine.

Programirano je da oba nova izvora električne energije na Neretvi budu završena potkraj 1980. godine. Kada budu obje hidroelektrane u pogonu, ostvarit će zajedno godišnju proizvodjnu od oko 930 GWh električne energije.

I. R.



10 kV rasklopnica TE »CENTAR« — RIJEKA

IN MEMORIAM

DAVOR SMOKVINA

U Opatiji je 11. travnja 1977. iznenada preminuo Davor Smokvina, dipl. ing., tehnički direktor poduzeća »Dalekovod«. Rođen je 8. ožujka 1911. u Rijeci. Školovao se u Zagrebu, gdje je diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu. Svoj radni vijek proveo je u elektroprivrednim organizacijama Hrvatske. U poduzeću »Dalekovod« obavljao je dužnost tehničkog direktora od njegovog osnutka, 1. travnja 1949.

Bio je jedan od pionira osnivanja »Dalekovoda« i ugradio sav svoj intelektualni i radni potencijal u razvoj i napredak poduzeća. Njegovom pomoći poduzeće se razvilo od skromnih početaka sa svega 120 radnika i s vrlo oskudnim sredstvima rada u veliko specijalizirano poduzeće s 2800 radnika, s nekoliko velikih radionica za izgradnju čeličenih konstrukcija i spojnog i ovjesnog materijala za dalekovode.

Uspjesi »Dalekovoda« na izgradnji visokonaponske dalekovodne mreže na cijelom području SR Hrvatske i dijelom na području drugih republika, ostvareni su zahvaljujući i njegovim uspješnim rukovođenjem, njegovom sposobnošću i smislom za organizaciju. Njegova aktivnost je posebno došla do izražaja kod gradnje prvih vodova napona 110 kV i 220 kV u SR Hrvatskoj. S posebnim žarom, voljom i radošću Davor Smokvina se uključio u izgradnju jugoslavenskog sustava dalekovodne mreže 380 kV. Ovom se zadatku posebno posvetio. Za njega nije postojalo radno vrijeme. U svako doba je svojim bogatim iskustvom pratio radove, savjetovao i usmjeravao poslove. Ekipe »Dalekovoda« su magistralne objekte 380 kV radile istovremeno na području SR Hrvatske, Slovenije i Srbije. Nije mu bilo suđeno da se zajedno sa suradnicima raduje završetku ovog značajnog elektroenergetskog pothvata.

Davor Smokvina je za nesebičan rad mnogo puta pohvaljen i nagrađen.

Za posebne zasluge u izgradnji i elektrifikaciji zemlje odlikovan je Ordenor rada II reda i Ordenom rada sa zlatnim vijencem. U ime kolektiva »Dalekovod« od preminulog druga Davora Smokvine oprostio se generalni direktor Rade Kliškić dirljivim govorom. U njemu je toplim riječima prikazan rad i lik Davora Smokvine.

U ime Izvršnog odbora »Dalekovoda« od svoga nezaboravnog druga oprostio se predsjednik odbora Kemal Razić, a u ime Mjesne zajednice »Sestre Baković« njezin predsjednik, Veljko Novak.

Govornici su istakli da je njegov život bio skroman i jednostavan. Volio je ljude i brinuo se za njih. Svoje bogato stručno znanje i iskustvo stalno je prenosio na mlađe. Svi koji su ga poznali, znali su da će u njemu naći druga, prijatelja i učitelja.

Brojni prijatelji i suradnici trajno će se sjećati Davora Smokvine kao ustrajnog borca u izgradnji elektroprivrede, kao sposobnog i pravednog rukovoditelja, i posebno kao pravog čovjeka.

GOD. 26 (1977) energija BROJ 7—8

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

METODE ZA ODREĐIVANJE OPTIMALNE RASPODJELE OPTEREĆENJA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU S PUMPNO-AKUMULACIJSKIM POSTROJENJEM

Goran Granić, Zagreb

U ovom članku je razrađena metoda za određivanje raspodjele opterećenja u elektroenergetskom sistemu s pumpno-akumulacijskim postrojenjem. Optimalna raspodjela opterećenja određena je iteracijskim traženjem minimuma funkcija cilja, koja osim funkcije troškova uključuje zadane uvjete pomoću Lagrangeovih multiplikatora.

DK 621.311.21.004:621.22

1. UVOD

Sve veća vršna opterećenja koja se javljaju u elektroenergetskom sistemu, pridonijela su da se u posljednje vrijeme nastoje iskoristiti prirodni uvjeti za izgradnju pumpno-akumulacijskih postrojenja. Takve elektrane mogu bitno utjecati na smanjenje razlike između maksimalnog i minimalnog opterećenja, koja se pojavljuju u dnevnom dijagramu opterećenja. Posljedica toga je izravnanje rada termoelektrana i uštede na troškovima za proizvodnju električne energije.

Kada se jedno pumpno-akumulacijsko postrojenje izgradi i pusti u pogon, postavlja se kao stalan problem njegovo optimalno korištenje. Problem se sastoji u tome da se za zadane vrijednosti opterećenja, unutar nekog vremenskog intervala (npr. jedan dan), odredi optimalni način raspodjele opterećenja između konvencionalnih elektrana i pumpno-akumulacijskih postrojenja. Naravno da u odabranoj kombinaciji opterećenja, odnosno raspodjeli opterećenja među elektranama, ovise i ukupni troškovi koji će biti potrebni za proizvodnju potrebne energije. Treba, dakle, odabrati takvu raspodjelu opterećenja na pojedine elektrane da se postigne minimum troškova.

Metoda opisana u ovom radu pripada grupi indirektnih metoda, jer se do konačnog rješenja dolazi iteracijskim putem. Broj iteracija ne može se predvidjeti i različit je od slučaja do slučaja. Osnova metode je funkcija cilja, koja osim funkcije troškova sadrži sva ograničenja i uvjete kojim je definiran jedan sistem. Ta ograničenja i uvjeti povezani su Lagrangeovim multiplikatorima u jednu funkcijsku vezu. Deriviranjem funkcije po svim veličinama koje utječu na troškove i traženjem ekstrema funkcije dolazi se do uvjeta koji moraju biti zadovoljeni da bi se postigla optimalna raspodjela opterećenja među elektranama.

2. RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU TERMOELEKTRANAMA

Problem raspodjele opterećenja u sistemu samih termoelektrana, koji se zasniva na istoj metodi, riješen je već prije (L 3). U ovom radu on je iznesen radi cjelovitosti prikaza. Raspodjela opterećenja u tako definiranom sistemu služi ujedno kao polazno stanje za usporedbu s raspodjelom opterećenja tih termoelektrana, kad su za zadovojenje istog konzuma angažirani i drugi tipovi elektrana.

2.1. Konzum

Metoda za određivanje optimalne raspodjele opterećenja polazi od pretpostavljenog dijagrama opterećenja za određeno vremensko razdoblje u budućnosti. To je najčešće jedan dan, ali se može promatrati i duži, odnosno kraći vremenski period. Vremensko razdoblje podijeli se na T vremenskih intervala. Broj i trajanje intervala odabire se na osnovi zahtjeva da se opterećenja unutar intervala mogu smatrati konstantnim. U ovisnosti o brzini promjena opterećenja vremenski interval će biti kraći ili duži. Za potrebe ovog rada uzeto je da vremenski interval traje jedan sat, a ukupno vremensko razdoblje 24 sata.

2.2. Karakteristika termoelektrana

Svaka termoelektrana definirana je dvjema karakteristikama:

— karakteristikom troškova D=f (S) (ovisnost troškova o angažiranoj snazi termoelektrana),

— karakteristikom diferencijalnog potroška δ=f (S) (ovisnost diferencijalnog potroška termoelektrana o njihovoj angažiranoj snazi).

Obje karakteristike mogu se definirati kao diskontinuirane ili kontinuirane funkcije. Diskontinuirane funkcije zadaju se putem tablice u kojoj za svaku snagu termoelektrana S postoji odgovarajuća vrijednost D i δ.

U ovom primjeru upotrijebljene su kontinuirane funkcije, i to za karakteristiku troškova funkcija trećeg reda, a za karakteristiku diferencijalnog potroška funkcija drugog reda (prva derivacija karakteristike troškova D). Opći oblik karakteristike troškova je

$$D = a_1 + a_2 S + a_3 S^2 + a_4 S^3 \qquad (1)$$

Vrijednosti parametara dani su u tablici 1.

Tablica 1.

PARAMETRI KARAKTERISTIKE TROŠKOVA			
Parametri	Termoelektrane		
	TE 1	TE 2	TE 3
a_1	0,73	0,32	1,27
a_2	2,2580	1,1414	3,4824
a_3	0,020371	0,044343	0,094441
a_4	0,0015556	0,0035445	0,0065321

2.3. Matematički model za određivanje optimalne raspodjele

Za zadovoljenje dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sistema imamo na raspolaganju N termoelektrana. Ako opterećenje n-te termoelektrane u intervalu t označimo sa S_{nt}, a potražnju u tom intervalu P_t, zadovoljenje konzuma moći ćemo definirati jednadžbom:

$$\sum_N S_{nt} - P_t = 0. \qquad (2)$$

Potrebno je odrediti takav raspored proizvodnje u termoelektranama da zbroj promjenljivih troškova u svim vremenskim intervalima bude minimalan, tj.

$$\sum_N \sum_T D_{nt}\, t_t \rightarrow \text{minimum} \qquad (3)$$

gdje su D_{nt} promjenljivi troškovi u jedinici vremena u n-toj termoelektrani u vremenskom intervalu t, Δt_t trajanje tog intervala.

Uvođenjem Lagrangeovih multiplikatora λ_t' može se definirati nova funkcija φ, koju nazivamo funkcijom cilja.

$$\varphi = \sum_N \sum_T D_{nt}\, \Delta t_t - \sum_T \lambda_t' \left(\sum_N S_{nt} - P_t' \right) \qquad (4)$$

Funkcija cilja φ, ovisnosti o opterećenju svih termoelektrana, u svim vremenskim intervalima, a ima toliko Lagrangeovih multiplikatora koliko i vremenskih intervala.

Nužan uvjet za postajanje ekstrema je

$$\frac{\partial \varphi}{\partial S_{nt}} = 0 \qquad (5)$$

za n = 1,2 . . . . N

t = 1,2 . . . . T.

Derivacijom po opterećenju n-te termoelektrane dolazi se do N · T uvjeta za određivanje raspodjele opterećenja među termoelektranama.

Opći oblik tih uvjeta glasi:

$$\frac{\partial \delta}{\partial S_{nt}} = \frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} \cdot \Delta t_t - \lambda'_t = 0. \qquad (6)$$

Ako Lagrangeov multiplikator λ'_t podijelimo s Δt_t dolazi se do relacije:

$$\lambda_t = \frac{\lambda'_t}{\Delta t_t}, \qquad (7)$$

odnosno

$$\frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} = \lambda_t. \qquad (8)$$

Lijeva strana izraza (8) predstavlja diferencijalni potrošak n-te termoelektrane u trenutku t. Kao veličina λ_t ima konstantnu vrijednost u određenom vremenskom intervalu, proizlazi da sve termoelektrane u tom istom vremenskom intervalu imaju isti diferencijalni potrošak.

$$\frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} = \frac{dD_{n-1t}}{dS_{n-1t}} = \cdots \frac{dD_{1t}}{dS_{1t}} = \lambda_t = \delta_t \qquad (9)$$

Optimalna raspodjela opterećenja među termoelektranama i intervalu t bit će postignuta ako sve angažirane termoelektrane budu radile s istim diferencijalnim potroškom δ_t.

2.4. Primjer optimalne raspodjele opterećenja među termoelektranama

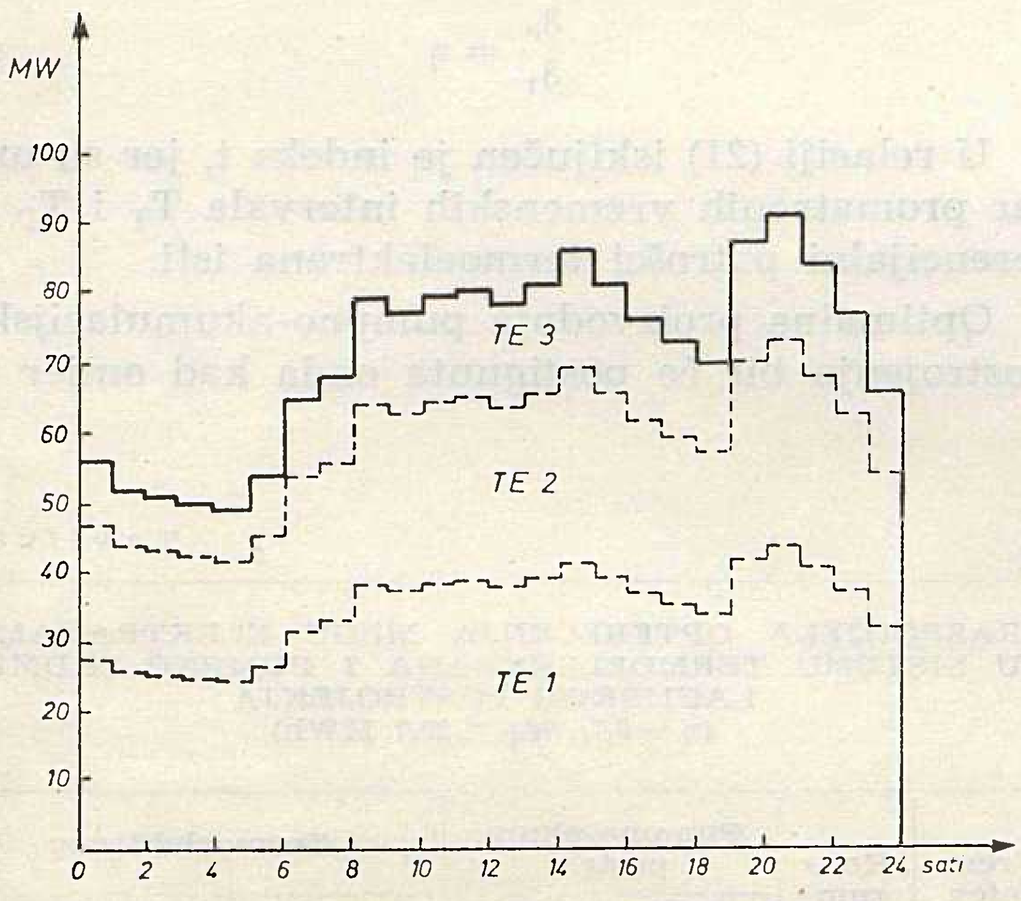
Iz matematičkog modela za određivanje optimalne raspodjele opterećenja među termoelektranama proizlazi da će optimum biti postignut onda kada sve termoelektrane koje su angažirane imaju isti diferencijalni potrošak.

Tablica 2. i sl. 1. pokazuju kakva je raspodjela opterećenja među termoelektranama za zadani konzum. Iz rezultata je vidljivo da veće opterećenje preuzimaju na sebe one termoelektrane koje imaju manji diferencijalni potrošak.

Tablica 2.

RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU TERMOELEKTRANAMA

Vrem. inter. h	Konzum MW	Termoelektrane		
		TE 1 MW	TE 2 MW	TE 3 MW
1	56,0	27,4	19,4	9,2
2	52,0	25,5	18,3	8,2
3	51,0	25,0	18,0	7,9
4	50,0	24,6	17,8	7,7
5	49,0	24,1	17,5	7,4
6	54,0	26,5	18,9	8,7
7	65,0	31,6	21,9	11,4
8	68,0	33,0	22,8	12,2
9	79,0	38,2	26,0	14,9
10	77,0	37,2	25,4	14,4
11	79,5	38,4	26,1	15,0
12	80,0	38,6	26,3	15,1
13	78,0	37,7	25,7	14,6
14	81,0	39,1	26,5	15,3
15	86,0	41,5	28,0	16,5
16	81,0	39,1	26,5	15,3
17	76,0	36,8	25,1	14,1
18	73,0	35,4	24,2	13,4
19	70,0	34,0	23,4	12,7
20	87,0	41,9	28,3	16,8
21	91,0	43,8	29,5	17,7
22	84,0	40,5	27,4	16,1
23	77,9	37,2	25,4	14,4
24	66,0	32,1	22,1	11,7



Sl. 1. Raspodjela opterećenja među termoelektranama

3. OPTIMALNA RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU ELEKTRANAMA U SISTEMU TERMOELEKTRANA I PUMPNO-AKUMULACIJSKOG POSTROJENJA S KONSTANTNIM STUPNJEM DJELOVANJA

Pumpno-akumulacijsko postrojenje je transformator energije. Njegova osnovna funkcija je da u periodu malih opterećenja akumulira energiju u vidu pumpanja vode na određenu visinu i da tu vodu upotrijebi u periodu velikih opterećenja. Time se postiže izravnanje rada termoelektrana, što donosi korist elektroenergetskom sistemu.

3.1. Matematički model

Za primjer u ovom poglavlju promatrat će se jedno pumpno-akumulacijsko postrojenje u kojem je omjer proizvedene i utrošene energije uvijek konstantan, bez obzira na opterećenje, odnosno bez obzira na to kojom se snagom pumpa voda ili proizvodi električna energija. Iz toga proizlazi da je jedini uvjet za rad jednog takvog postrojenja da proizvedena energija bude jednaka utrošnoj energiji za pumpanje pomnoženoj sa stupnjem djelovanja postrojenja (η).

$$\sum_{T_T} P_{Tt}\,\Delta t_t = \eta \sum_{T_P} P_{pt}\,\Delta t_t, \qquad (10)$$

P_{Tt} — opterećenje pumpno-akumulacijskog postrojenja u turbinskom pogonu,

P_{Pt} — opterećenje pumpno-akumulacijskog postrojenja u pumpnom pogonu,

T_T — broj vremenskih intervala u kojem je postrojenje u turbinskom pogonu,

T_P — broj vremenskih intervala u kojem je postrojenje u pumpnom pogonu.

Suma vremena T_T i T_P ne može biti veća od trajanja promatranog vremenskog razdoblja. U krajnjem slučaju ukupni vremenski period može biti podijeljen na dva dijela, što znači da se u svakom vremenskom intervalu ili pumpa ili radi u turbinskom pogonu.

Za zadovoljenje konzuma na raspolaganju je N termoelektrana i jedno pumpno-akumulacijsko postrojenje. Jednadžbe zadovoljenja konzuma glase:

$$\sum_{N} S_{nt} - (P_t - P_{Tt}) = 0 \qquad (11)$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$

$$\sum_{N} S_{nt} - (P_t + P_{Pt}) = 0 \qquad (12)$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_P$.

Stanovit broj vremenskih intervala neće biti obuhvaćen ovim jednadžbama, jer je $(T_T + T_P) \leq T$. Za te vremenske intervale vrijedi jednadžba zadovoljenja konzuma (2) i raspodjela opterećenja se vrši kao u sistemu samih termoelektrana.

U funkciju cilja, osim jednadžbi za troškove i za zadovoljenje konzuma, mora se uključiti i uvjet za rad pumpno-akumulacijskog postrojenja. To se postiže uvođenjem Lagrangeova multiplikatora μ_k. Funkcija φ ima oblik:

$$\varphi = \sum_{N}\sum_{T} D_{nt} \cdot \Delta t_t - \sum_{T_T} \lambda'_{Tt} \left[\sum_{N} S_{nt} - (P_t - P_{Tt})\right] -$$

$$- \sum_{N_P} \lambda'_{Pt} \left[\sum_{T} S_{nt} - (P_t + P_{Pt})\right] \mu_k \left(\sum_{T_T} P_{Tt}\,\Delta t_t - \eta \sum_{T_P} P_{Pt}\,\Delta t_t\right) \qquad (13)$$

Nužan uvjet za postojanje ekstrema jest taj da parcijalne derivacije funkcije cilja φ po svim promjenjivim veličinama S_{nt}, P_{Tt} i P_{Pt} budu jednake nuli.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial S_{nt}} = 0 \qquad (14a)$$

za n = 1, 2, . . . , N
t = 1, 2 . . . , T

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{Tt}} = 0 \qquad (14b)$$

za t = 1, 2, . . . , T_T

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{pt}} = 0 \qquad (14c)$$

za t = 1, 2, . . . , T_P

Opći oblik tih uvjeta glasi:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial S_{nt}} = \frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} \Delta t_t - \lambda'_{Tt} - \lambda'_{Pt} = 0 \qquad (15a)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{Tt}} = \lambda'_{Tt} - \mu_k \Delta t_t = 0 \qquad (15b)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{pt}} = \lambda'_{Pt} - \mu_k \eta \Delta t_t = 0 . \qquad (15c)$$

Ako postavimo da je:

$$\lambda_{TT} = \frac{\lambda'_{Tt}}{\Delta t_t} \qquad (16a)$$

$$\lambda_{Pt} = \frac{\lambda'_{Pt}}{\Delta t_t}, \qquad (16b)$$

dolazi se do izraza:

$$\frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} - \lambda_{Tt} - \lambda_{Pt} = 0 \qquad (17a)$$

$$\mu_k \cdot \eta - \lambda_{Pt} = 0 \qquad (17b)$$

$$\mu_k - \lambda_{Tt} = 0 \qquad (17c)$$

Ako se uzme u obzir da nema istovremenog turbinskog i pumpnog pogona pumpno-akumulacijskog postrojenja, izraz (17a) može se napisati u drugom obliku.

$$\frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} = \lambda'_{Tt} \qquad (18a)$$

za n = 1, 2, . . . , N
t = 1, 2, . . . , T_T

odnosno

$$\frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} = \lambda_{Pt} \qquad (18b)$$

za n = 1, 2, . . . , N
t = 1, 2, . . . , T_p

λ_{Tt} i λ_{Pt} su zapravo diferencijalni potrošci termoelektrana u pumpnom i turbinskom pogonu pumpno-akumulacijskog postrojenja, pa vrijedi da je:

$$\delta_{Tt} = \lambda_{Tt} \qquad (19a)$$

za t = 1, 2, . . . , T_T

$$\delta_{Pt} = \lambda_{Pt} \qquad (19b)$$

za t = 1, 2, . . . , T_P,

gdje je:

δ_{Tt} — diferencijalni potrošak termoelektrana u periodu turbinskog pogona pumpno-akumulacijskog postrojenja,

δ_{Pt} — diferencijalni potrošak termoelektrana u periodu pumpnog pogona pumpno-akumulacijskog postrojenja.

Relacije (15b) i (15c) mogu se napisati u drugom obliku:

$$\mu_k = \delta_{Tt} \qquad (20a)$$

za t = 1, 2, . . . , T_T

$$\mu_k = \frac{\delta_{Pt}}{\eta} \qquad (20b)$$

za t = 1, 2, . . . , T_P.

Kako je μ_k konstanta, proizlazi da će optimalna raspodjela opterećenja među termoelektranama biti takva da u svim vremenskim intervalima turbinskog režima rada termoelektrane imaju isti diferencijalni potrošak. Pumpno-akumulacijsko postrojenje je potpuno izravnalo rad termoelektrana. To se može protumačiti i obrnuto. Broj vremenskih intervala T_T bit će tako odabran da dođe do potpunog izravnavanja rada termoelektrana. Trajanje turbinskog pogona T_T nije nikad unaprijed određeno, nego ono proizlazi iz samih uvjeta za optimalnu raspodjelu opterećenja među termoelektranama.

Sve to vrijedi i za pumpni režim rada pumpno-akumulacijskog postrojenja.

Spajanjem izraza (20a) i (20b), a uzimajući u obzir (19a) i (19b) u jedan izraz dolazi se do uvjeta za optimalan rad odnosno, proizvodnju pumpno-akumulacijskog postrojenja.

$$\frac{\delta_P}{\delta_T} = \eta \qquad (21)$$

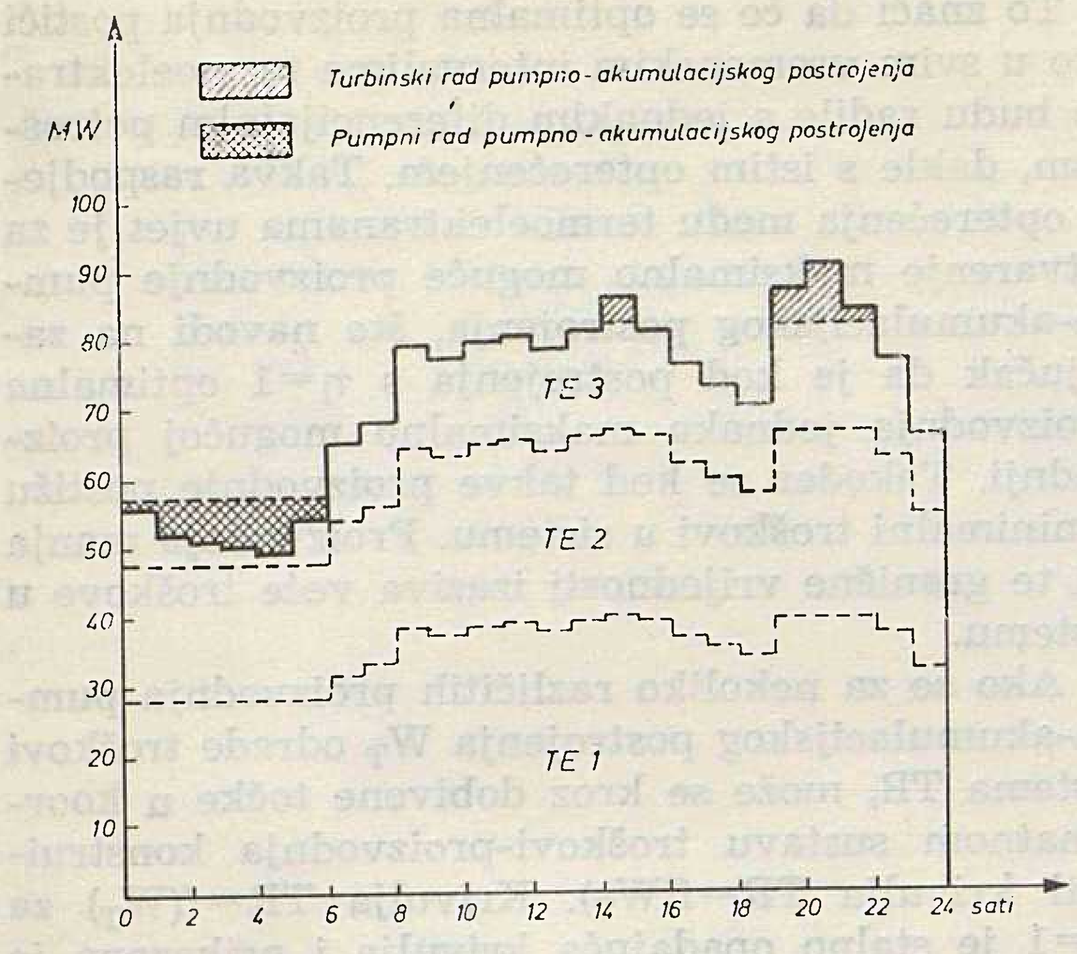
U relaciji (21) isključen je indeks t, jer su unutar promatranih vremenskih intervala T_T i T_P diferencijalni potrošci termoelektrana isti.

Optimalna proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja bit će postignuta onda kad omjer di-

Tablica 2.

RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU ELEKTRANAMA U SISTEMU TERMOELEKTRANA I PUMPNO-AKUMULACIJSKOG POSTROJENJA
(η = 0,7, W_T = 20,7 MWh)

Vrem. inter. h	Konzum MW	Pumpno-akum. postr.		Termoelektrane		
		Turb. rad MW	Pump. rad MW	TE 1 MW	TE 2 MW	TE 3 MW
1	56,0		0,9	27,8	19,7	9,4
2	52,0		4,9	27,8	19,7	9,4
3	51,0		5,9	27,8	19,7	9,4
4	50,0		6,9	27,8	19,7	9,4
5	49,0		7,9	27,8	19,7	9,4
6	54,0		2,9	27,8	19,7	9,4
7	65,0			31,6	21,9	11,4
8	68,0			33,0	22,8	12,2
9	79,0			38,2	22,8	14,9
10	77,0			37,2	25,4	14,4
11	79,5			38,4	26,1	15,0
12	80,0			38,6	26,3	15,1
13	78,0			37,7	25,7	14,6
14	81,0			39,1	26.5	15,3
15	86,0	4,2		39,5	26,8	15,5
16	81.0			39,1	26,5	15,3
17	76,0			36,8	25,1	14,1
18	73,0			35,4	24,2	13,4
19	70,0			34,0	23,4	12,7
20	87,0	5,2		39,5	20,8	15,5
21	91,0	9,2		39,5	26,8	15,5
22	84,0	2,2		39,5	26,8	15,5
23	77,0			37,2	25,4	14,4
24	66,0			32,1	22,2	11,7



Sl. 2. Primjer rasporeda opterećenja među termoelektranama kod proizvodnje pumpno-akumulacijskog postrojenja od 20,7 MWh (η=0,7)

ferencijalnog potroška termoelektrana u vremenskom intervalu T_P i diferencijalnog potroška termoelektrana u vremenskom intervalu T_T bude jednak ukupnom stupnju djelovanja postrojenja.

U tablici 3. na sl. 2. prikazana je raspodjela opterećenja među termoelektranama i pumpno-akumulacijskim postrojenjem za proizvodnju postrojenja od 20,7 MWh i stupnjem djelovanja η= 0,7.

3.2. Utjecaj stupnja djelovanja η na optimalnu i maksimalno moguću proizvodnju pumpno-akumulacijskog postrojenja

3.2.1. Definicija pojmova

Kod svakog pumpno-akumulacijskog postrojenja karakteristične su dvije vrijednosti moguće proizvodnje, koje su rezultat zadovoljenja postavljenih uvjeta za rad promatranog postrojenja. To su optimalna proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja i maksimalna moguća proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja.

Optimalna proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja. Optimalna proizvodnja se definira k o proizvodnja kod koje se u elektroenergetskom sistemu postignu minimalni troškovi. Ona je funkcija sistema (potrošnja, termoelektrane i stupanj djelovanja pumpno-akumulacijskog postrojenja) i ostvaruje se kad se zadovolje uvjeti dani relacijom (20a) i (20b), odnosno relacijom (21).

Maksimalno moguća proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja. Maksimalno moguća proizvodnja definira se kao granična proizvodnja koja se ostvaruje kod potpunog izravnanja rada termoelektrana i ima samo teorijsku vrijednost. Kad se izravnanje postigne, termoelektrane imaju isto opterećenje u svim vremenskim intervalima promatranog perioda.

$$\sum_N S_{n1} = \sum_N S_{n2} = \ldots = \sum_N S_{nT} \qquad (22)$$

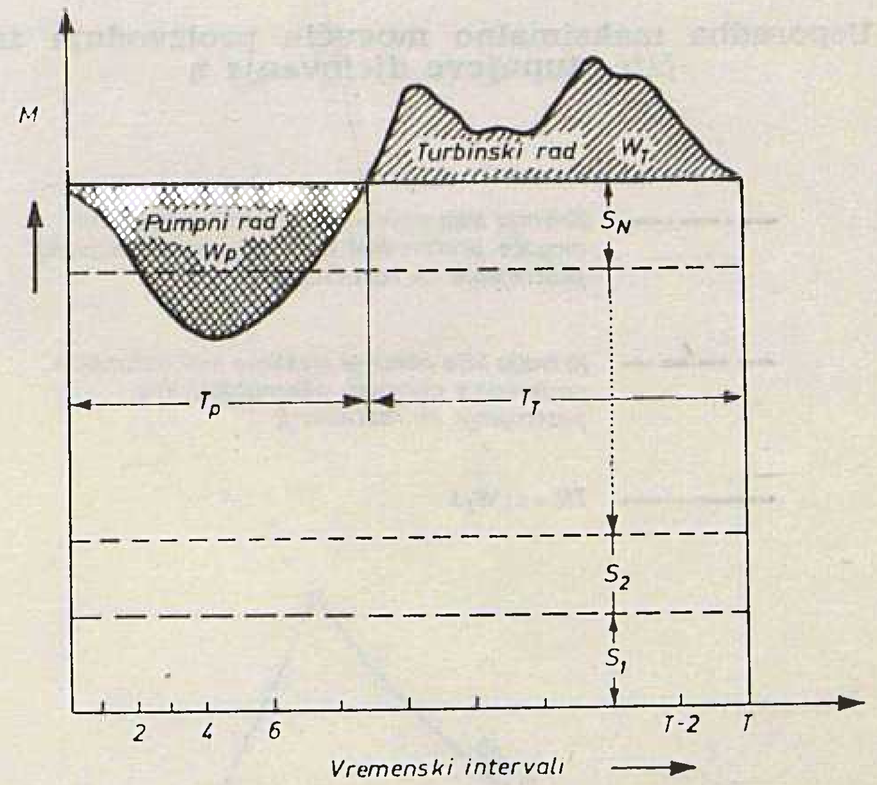
tj. dijagram opterećenja termoelektrana poprima pravokutni oblik. Opterećenja termoelektrana leže na pravcu paralelnom s apscisom koordinatnog sustava, u kojem je smješten dijagram opterećenja (vidi sl. 3). Taj pravac dijeli osnovni dijagram opterećenja na dva vremenska perioda:

— period pumpnog rada postrojenja T_P,
— period turbinskog pogona T_T.

Suma trajanja jednog i drugog vremenskog perioda jednaka je ukupnom vremenskom periodu T.

$$T_T + T_P = T \qquad (23)$$

Ako se dijagram opterećenja nacrta u određenom mjerilu, onda površina koju omeđuju koordinate osi i krivulja koja povezuje točke u dijagramu opterećenja predstavlja ukupnu potrošnju. Površina između pravca koji povezuje točke opterećenja termoelektrana i dijagrama opterećenja je, prema tome, utrošena energija za pumpanje W_p, a površina koja leži iznad pravca, a omeđena je krivuljom dijagrama opterećenja, proizvodnju pumpno-akumulacijskog postrojenja W_p (sl. 3).



Sl. 3. Maksimalno moguća proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja u promatranom elektroenergetskom sistemu

3.2.2. Pumpno-akumulacijsko postrojenje s $\eta = 1$

Pumpno-akumulacijsko postrojenje s η=1 jest teorijsko postrojenje, jer su zanemareni gubici koji se pojavljuju u pumpi, vodnoj turbini, motor-generatoru, dovodu i cjevovodu. To znači da je energija koja se utroši za pumpanje, jednaka energiji koja se dobije u turbinskom pogonu postrojenja.

$$\sum_{T_T} P_{Tt} \cdot \Delta t_t = \sum_{T_P} P_{Pt} \cdot \Delta T_t \qquad (24)$$

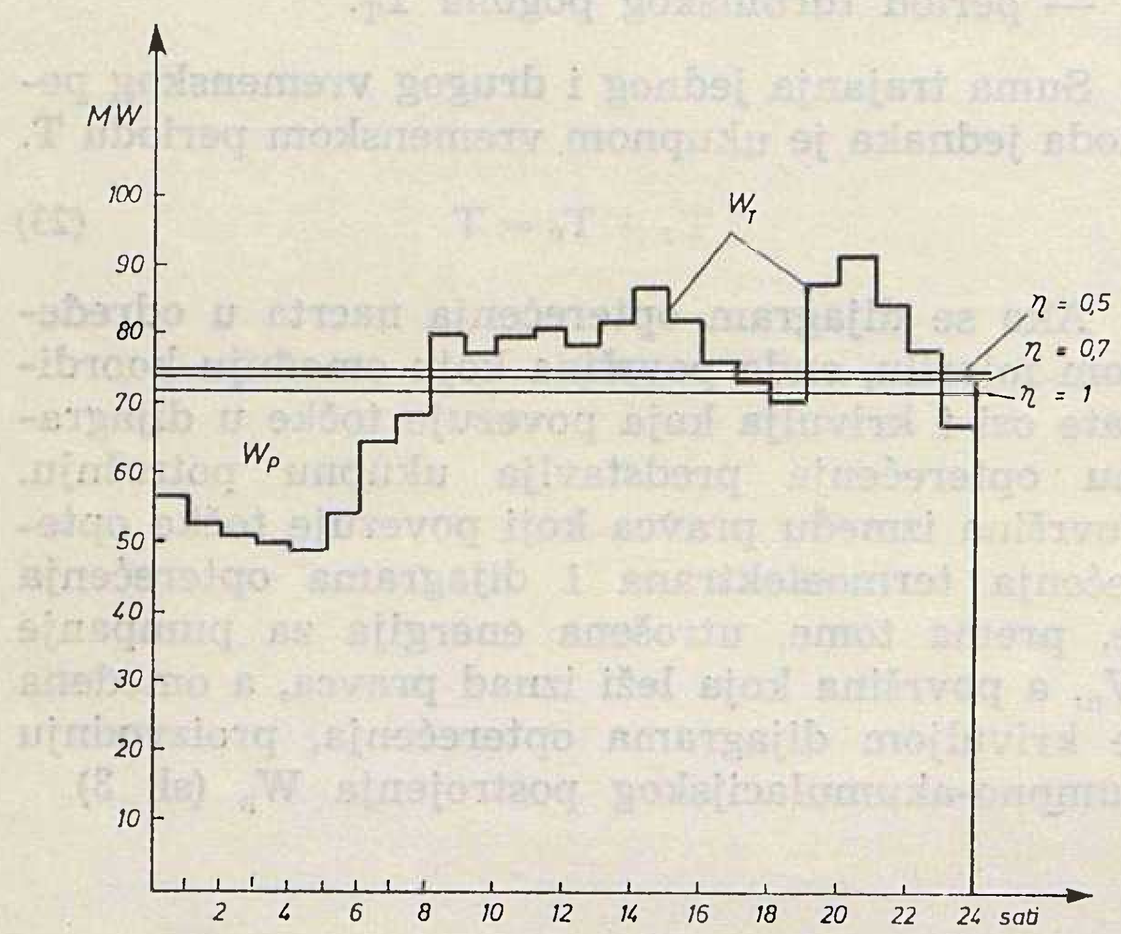
Kako je postrojenje s $\eta=1$ teorijsko postrojenje, ostvarena proizvodnja je ujedno i maksimalna proizvodnja koja se uopće može pojaviti u promatranom elektroenergetskom sistemu.

Ako se izrazu za optimalnu proizvodnju pumpno-akumulacijskog postrojenja umjesto η uvrsti njegova vrijednost, dobit će se relacija

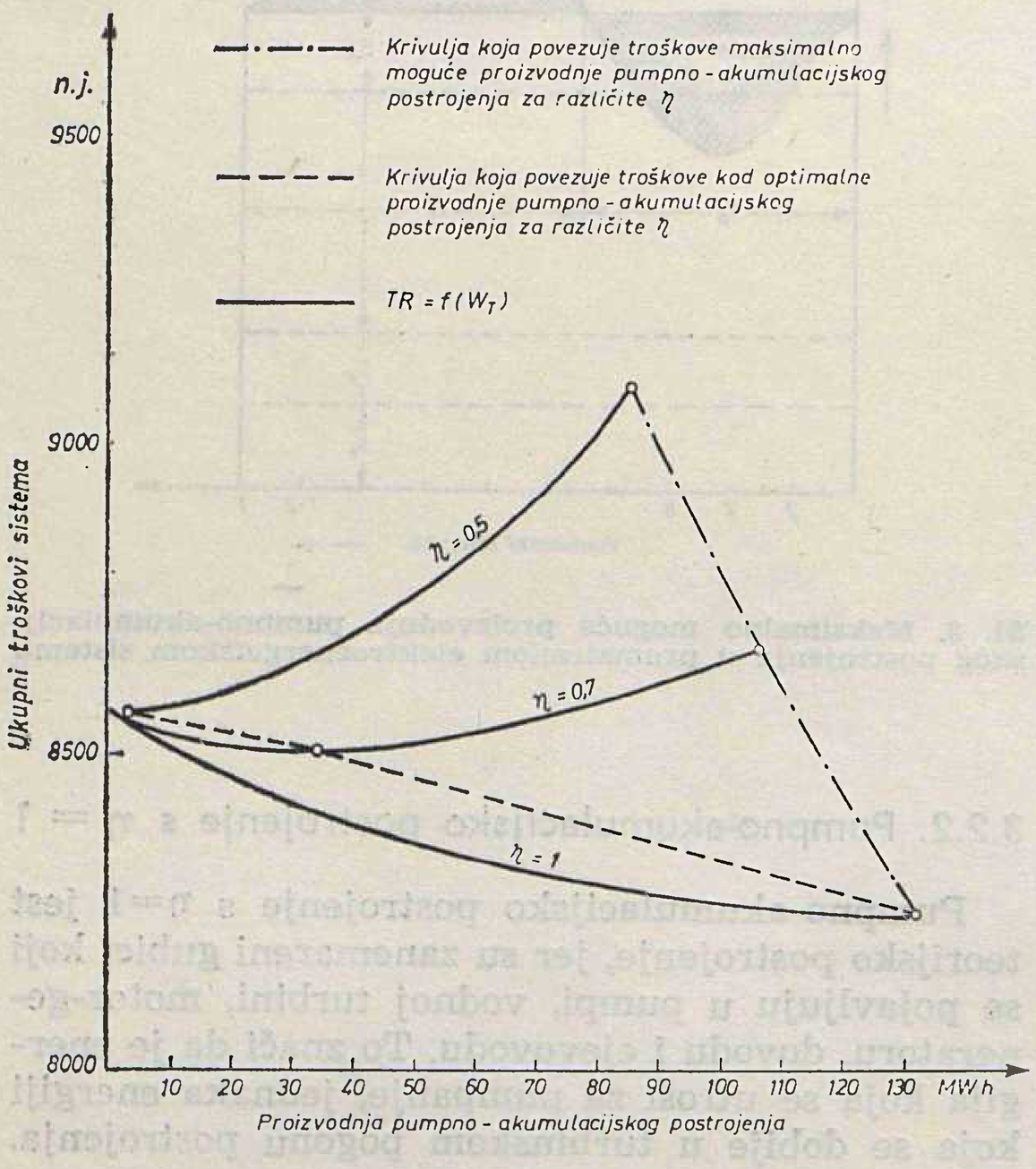
$$\frac{\delta_P}{\delta_T} = 1, \tag{25}$$

odnosno

$$\delta_P = \delta_T. \tag{26}$$



Sl. 4. Usporedba maksimalno mogućih proizvodnja za različite stupnjeve djelovanja η



Sl. 5. Ukupni troškovi sistema u ovisnosti o proizvodnji pumpno-akumulacijskog postrojenja za različite stupnjeve djelovanja.

To znači da će se optimalna proizvodnja postići ako u svim vremenskim intervalima termoelektrane budu radile s jednakim diferencijalnim potroškom, dakle s istim opterećenjem. Takva raspodjela opterećenja među termoelektranama uvjet je za ostvarenje maksimalno moguće proizvodnje pumno-akumulacijskog postrojenja, što navodi na zaključak da je kod postrojenja s $\eta=1$ optimalna proizvodnja jednaka maksimalno mogućoj proizvodnji. Također se kod takve proizvodnje postižu i minimalni troškovi u sistemu. Proizvodnja manja od te granične vrijednosti izaziva veće troškove u sistemu.

Ako se za nekoliko različitih proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja W_T odrede troškovi sistema TR, može se kroz dobivene točke u koordinatnom sustavu troškovi-proizvodnja konstruirati krivulja $TR=f(W_T)$. Krivulja $TR=f(W_T)$ za $\eta=1$ je stalno opadajuća krivulja i prikazana je na sl. 5.

3.2.3. Pumpno-akumulacijsko postrojenje s $\eta<1$

Za svako postrojenje koje ima $\eta > 1$ mora se utrošiti više energije za pumpanje nego što se može proizvesti koristeći se tom vodom u turbinskom pogonu. Što je η manji, to su gubici veći, pa vrijedi općeniti izraz:

za

$$\eta_1 > \eta_2 > \eta_3 \tag{27a}$$

$$(\sum_N S_n)_1 < [\sum_N S_n)_2 < (\sum_N S_n)_3. \tag{27b}$$

Isto tako se može napisati i za vrijednosti maksimalno moguće proizvodnje pumpno-akumulacijskog postrojenja.

za:

$$\eta_1 > \eta_2 > \eta_3 \tag{28a}$$

$$W_{Tmax1} > W_{Tmax2} > W_{Tmax3}, \tag{28b}$$

Da je to točno, potvrđuje usporedba površina, koje predstavljaju proizvodnju pumpno-akumulacijskog postrojenja, za različite η-te, (sl. 4).

Optimalna proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja za $\eta<1$ ovisi o termoelektranama, odnosno troškovima koji se postižu u sistemu. Iz uvjeta za optimalni rad postrojenja, izraz (21), može se zaključiti da će vrijednost proizvodnje biti manja što je η manji. U općem obliku to glasi:

$$\eta_1 > \eta_2 > \eta_3 \tag{29a}$$

$$W_{op1} > W_{op2} > W_{op3} \tag{29b}$$

Kako se kod maksimalno moguće proizvodnje treba u potpunosti izravnati rad termoelektrana uvjet (22), a kod optimalne proizvodnje uvjet dan relacijom (21), proizlazi da će za svaki η manji od jedan optimalna proizvodnja biti manja od maksimalno moguće. Što je η manji, to će i razlika proizvodnja biti veća.

Prema tome, funkcija $TR=f(W_T)$ nije opadajuća funkcija, kao kod $\eta=1$, nego funkcija koja ima jedan ekstrem, i to minimum. Na sl. 5 prikazane su

funkcije $TR=f(W_T)$ za $\eta=0{,}7$ i $\eta=0{,}5$. Ekstrem funkcije je sve manje različit što je η manji. Također se može zaključiti da postoji za određeni elektroenergetski sistem granična vrijednost stupnja djelovanja, kod kojeg je

$$W_T = 0. \qquad (30)$$

Bilo koje postrojenje koje ima $\eta \leq \eta_g$ nema nikakve opravdanosti da se uključi u raspodjelu opterećenja.

3.3. "δ—W" dijagram

Konstantna vrijednost omjera energije utrošene za pumpanje i ostvarene proizvodnje omogućuje za zadani sistem (konzum, termoelektrana) konstrukciju dijagrama u kojemu bi se mogle pregledno pratiti promjene koje u sistem unosi angaziranje pumpno-akumulacijskog postrojenja s različitim stupnjevima djelovanja. Postavljanjem u funkcijsku vezu proizvodnju, odnosno utrošenu energiju za pumpanje pumpno-akumulacijskog postrojenja s diferencijalnim potroškom termoelektrana, dolazi se do »δ - W« dijagrama.

3.3.1. Ovisnost δ o W

Diferencijalni je potrošak termoelektrana δ_T, u određenom vremenskom intervalu t funkcija opterećenja ΣS_{nt}, pa ako se smanji potrebna snaga termoelektrana zbog rada pumpno-akumulacijskog postrojenja, smanjit će se i vrijednost diferencijalnog potroška termoelektrana δ_T. To se naravno odnosi na turbinski pogon postrojenja. Obrnuto je kod pumpnog pogona. Utrošenu energiju za pumpanje moraju nadoknaditi termoelektrane povećanjem proizvodnje. Posljedica povećanja proizvodnje termoelektrana jest povećanje snage, a prema tome i diferencijalnog potroška δ_P.

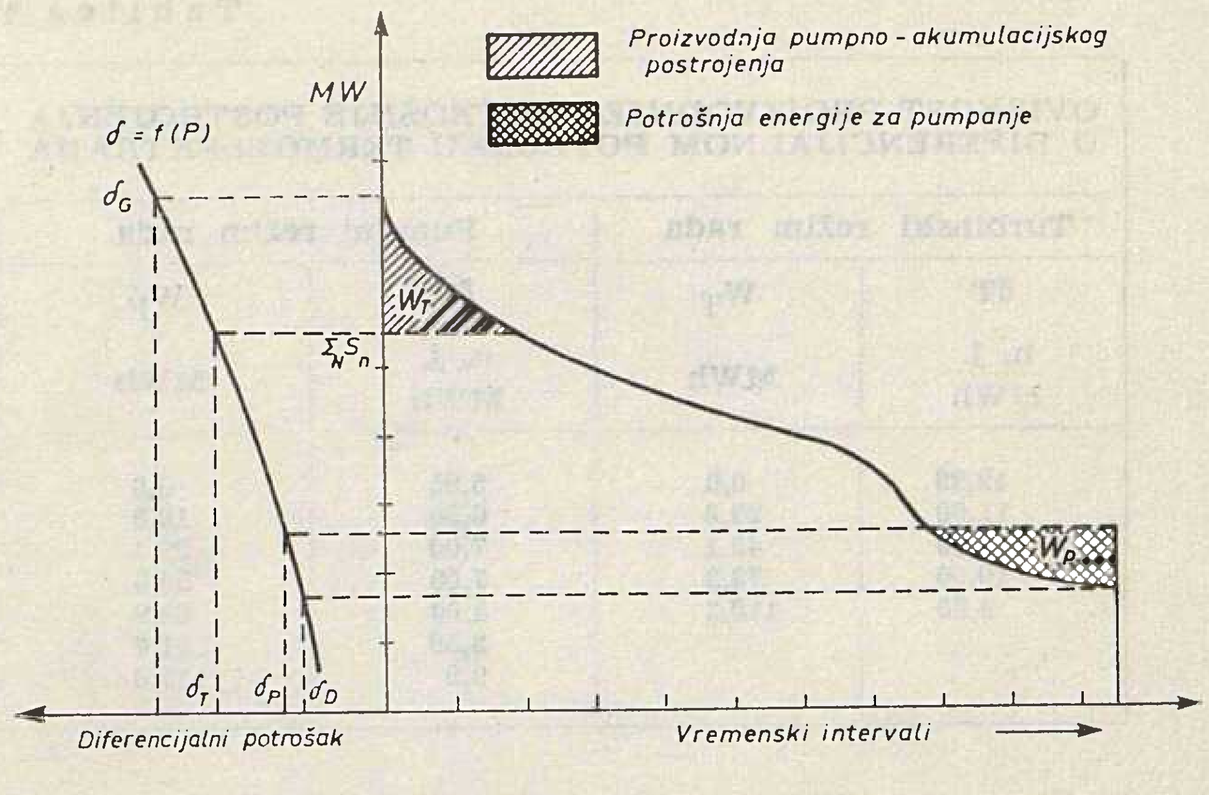
Određivanje ovisnosti proizvodnje i potrošnje pumpno-akumulacijskog postrojenja o diferencijalnom potrošku termoelektrana prikazano je na sl. 6. U koordinatni sustav postavljena je s desne strane krivulja trajanja opterećenja, a s lijeve strane sumarna krivulja diferencijalnog potroška.

Kako u krivulji trajanja opterećenja termoelektrana postoje dvije granične vrijednosti opterećenja, između kojih se nalaze sva druga opterećenja (maximum i minimum), tako i na sumarnoj krivulji diferencijalnog potroška egzistiraju dvije granice.

δ_G — diferencijalni potrošak termoelektrana kod maksimalnog opterećenja u krivulji trajanja,

δ_D — diferencijalni potrošak termoelektrana kod minimalnog opterećenja u krivulji trajanja.

Svakoj proizvodnji pumpno-akumulacijskog postrojenja W_T odgovara opterećenje termoelektrana



Sl. 6. Određivanje ovisnosti proizvodnje odnosno potrošnje pumpno-akumulacijskog postrojenja o diferencijalnom potrošku termoelektrana

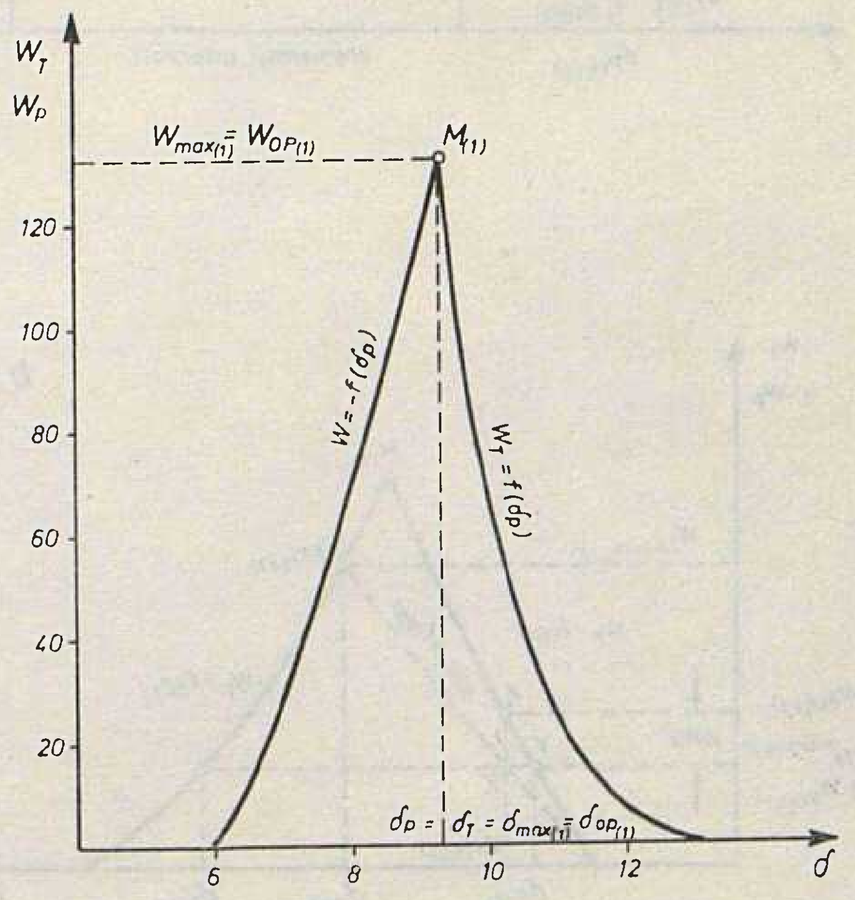
ΣS_n, odnosno diferencijalni potrošak δ_T, sl. 6. Ako se na takav način odredi nekoliko točaka, može se konstruirati krivulja $W_T=f(\delta_T)$. Što se uzme više točaka, to će i konstrukcija krivulje biti bolja.

Na isti način se može odrediti krivulja ovisnosti potrošnje o diferencijalnom potrošku termoelektrana $W_P=f(\delta_P)$.

3.3.2. Dijagram "δ—W" za $\eta=1$

Opisanim konstrukcionim zahvatom mogu se za pumpno-akumulacijsko postrojenje s $\eta=1$ nacrtati krivulje ovisnosti proizvodnje, odnosno potrošnje o diferencijalnom potrošku termoelektrana (sl. 7.). Koordinate točaka prema kojima su konstruirane krivulje dane su u tablici 4.

Krivulja $W_{T(\eta=1)}=f(\delta_T)$ je silazna krivulja i vrijednost proizvodnje opada s povećanjem vrijednosti diferencijalnog potroška termoelektrana. Su-



Sl. 7. Dijagram 'δ — W' za pumpno-akumulacijsko postrojenje s $\eta = 1$

Tablica 4.

OVISNOST PROIZVODNJE I POTROŠNJE POSTROJENJA O DIFERENCIJALNOM POTROŠKU TERMOELEKTRANA

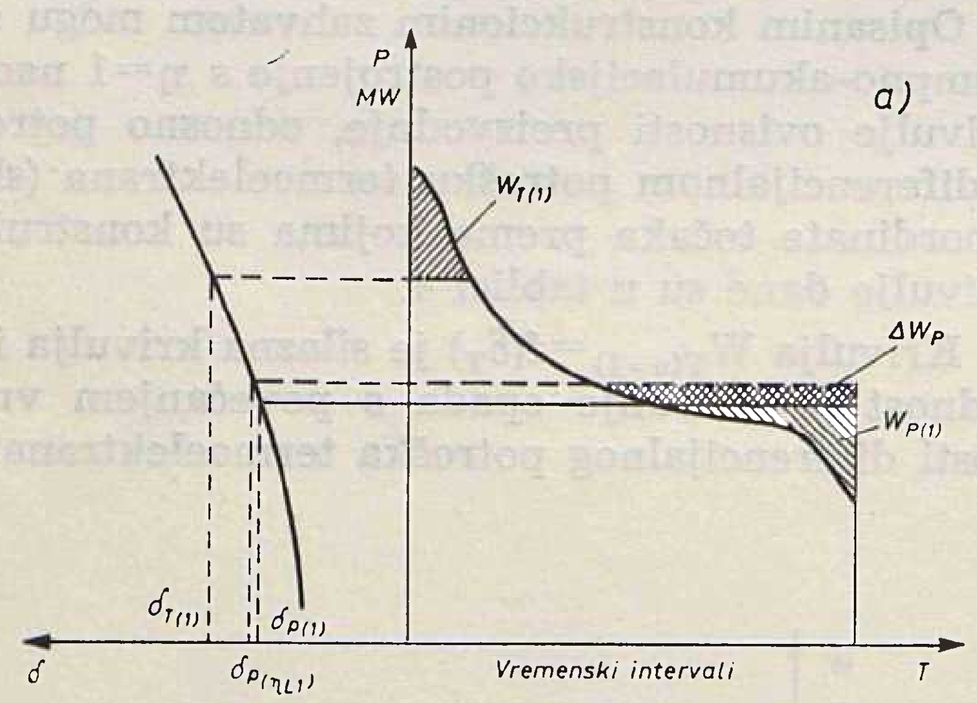
Turbinski režim rada		Pumpni režim rada	
δT n. j./MWh	W_T MWh	δP n. j./MWh	W_P MWh
12,99	0,0	5,95	0,0
11,00	23,8	6,50	10,9
10,50	43,1	7,00	29,4
10,00	73,2	7,50	50,0
9,50	110,3	8,00	69,9
		8,50	91,6
		9,0	117,8

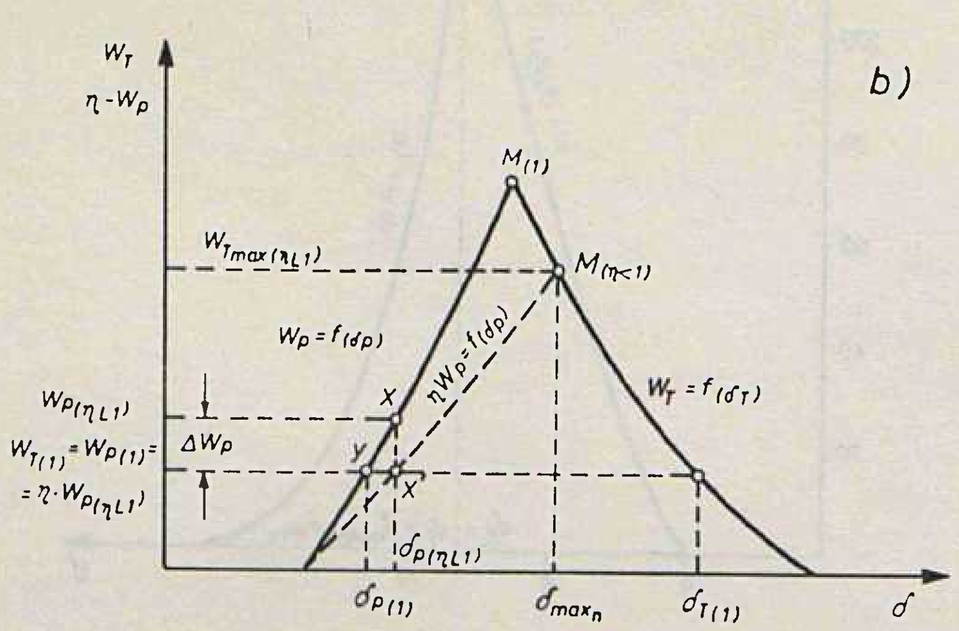
protno od toga, krivulja $W_P = f(\delta_P)$ je uzlazna krivulja i vrijednost potrošnje raste s porastom diferencijalnog potroška (sl. 7). Iz tog proizlazi da će krivulje $W_T = f(\delta_T)$ i $W_P = f(\delta_P)$ imati sjecište u jednoj točki i u njoj vrijedi:

$$\delta_T = \delta_P = \delta_{max\,(1)} \tag{31a}$$

$$W_T = W_P = W_{max\,(1)}. \tag{31b}$$

To su ujedno i uvjeti za optimalnu i maksimalno moguću proizvodnju pumpno-akumulacijskog postrojenja, pa su, prema tome, koordinate točke sjecišta krivulja maksimalno moguća i optimalna proizvodnja, odnosno diferencijalni potrošak termoelektrana, kod kojeg se ostvaruje ta proizvodnja. Također, krivulje predstavljaju granice unutar kojih će se odvijati sve promjene koje su rezultat utjecaja stupnja djelovanja pumpno- akumulacijskog postrojenja, kako će biti pokazano.





Sl. 8. Konstrukcija krivulja $W_p = f(\delta_p)$ za $\eta < 1$

3.3.3. Konstrukcija dijagrama "$\delta - W$" za $\eta < 1$

Ako postrojenje radi bez gubitaka ($\eta = 1$) proizvedena energija jednaka je utrošenoj energiji za ostvarenje te proizvodnje. Nekoj proizvodnji $W_{T(1)}$ odgovara diferencijalni potrošak $\delta_{T(1)}$ (sl. 8a). Isto tako, odgovarajućoj potrošnji $W_{P(1)} = W_{T(1)}$ pripada diferencijalni potrošak termoelektrana $\delta_{P(1)}$. Gubici koji se pojavljuju za istu proizvodnju $W_{T(1)}$ utrošit će još dodatnu energiju ΔW_P. Iznos ΔW_P jednak je iznosu gubitka. Ukupno utrošena energija $W_{P(\eta<1)}$) jednaka je sumi energije $W_{P(1)}$ i gubitaka ΔW_P.

$$W_{P(\eta<1)} = W_{P(1)} + \Delta W_P \tag{32}$$

S povećanjem utrošene energije povećala se i vrijednost diferencijalnog potroška termoelektrana od $\delta_{P(1)}$ na $\delta_{P(\eta<1)}$ (sl. 8a).

Vrijednost $W_{P(\eta<1)}$ i $\delta_{P(\eta<1)}$ su koordinate točke X koja leži na krivulji $W_P = f(\delta_P)$ u dijagramu »δ - W« (sl. 8b). Razlika ordinata točke za X i Y predstavlja gubitke ΔW_P i zadovoljava izraz (32). Kako kod uvjeta za rad pumpno-akumulacijskog postrojenja vrijedi da je:

$$W_T = \eta\, W_P, \tag{33}$$

potrebno je odrediti točku u dijagramu »δ - W« čija bi ordinata zadovoljila traženi uvjet. Ta točka leži na sjecištu pravaca, od kojih je jedan paralelan s apscisom, a prolazi kroz točku Y, kojoj je ordinata W_T, dok je drugi paralelan s ordinatom i prolazi kroz točku X.

Na isti način može se odrediti još nekoliko točaka i konstruirati krivulja $\eta W_P = f(\delta_P)$. Koordinate točaka $M_{(\eta<1)}$ sjecišta krivulja $\eta\, W_P = f(\delta_P)$ i $W_T = f(\delta_T)$ jesu:

— $W_{Tmax(\eta<1)}$ maksimalno moguća proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja s $\eta < 1$,

— δ_{max} diferencijalni potrošak termoelektrana kod kojeg je nastupilo potpuno izravnanje rada termoelektrana u promatranom periodu T.

Slijedeći korak je da se konstrukcijskim zahvatom odredi optimalna proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja uz zadovoljenje danih uvjeta. Pomakom krivulje $\eta\, W_P = f(\delta_P)$ udesno i krivulje $W_T = f(\delta_T)$ ulijevo može se doći do vrijednosti optimalne proizvodnje $W_{Top(\eta<1)}$ i diferencijalnih potrošaka $\delta_{T(\eta<1)}$ i $\delta_{P(\eta<1)}$ kod kojih se ta proizvodnja ostvaruje (sl. 9).

U točki sjecišta pomaknute krivulje $(\eta W_P)' = f(\delta_P)$ s krivuljom $W_T = f(\delta_T)$ mora biti zadovoljena relacija:

$$\delta_{T(\eta<1)} = \frac{\delta_{P(\eta<1)}}{\eta}. \qquad (34)$$

Zadovoljenje izraza (34) postiže se na taj način da se krivulja $\eta W_P = f(\delta_P)$ pomakne udesno tako da svaka točka krivulje zadrži istu vrijednost ordinate, a apscisa se korigira recipročnom vrijednošću stupnja djelovanja postrojenja. Dakle, točka Z koja ima koordinate $\eta W_{P(\eta<1)}$ i $\delta_{P(\eta<1)}$ premješta se u točku Z' s koordinatama $\eta W_{P(\eta<1)}$ $\delta_{P(\eta<1)}/\eta$ (sl. 9a).

Slično tome pomiče se krivulja $W_T = f(\delta_T)$ ulijevo ali s tom razlikom što se diferencijalni potrošak termoelektrana $\delta_{T(\eta<1)}$ korigira sa stupnjem djelovanja postrojenja (sl. 9b).

Točke sjecišta osnovnih i pomaknutih krivulja Ó i Ő (sl. 10) leže na istom pravcu paralelnom s apscisom, što znači da je u tim točkama zadovoljen uvjet za rad pumpno-akumulacijskog postrojenja (izraz 33), i vrijedi da je:

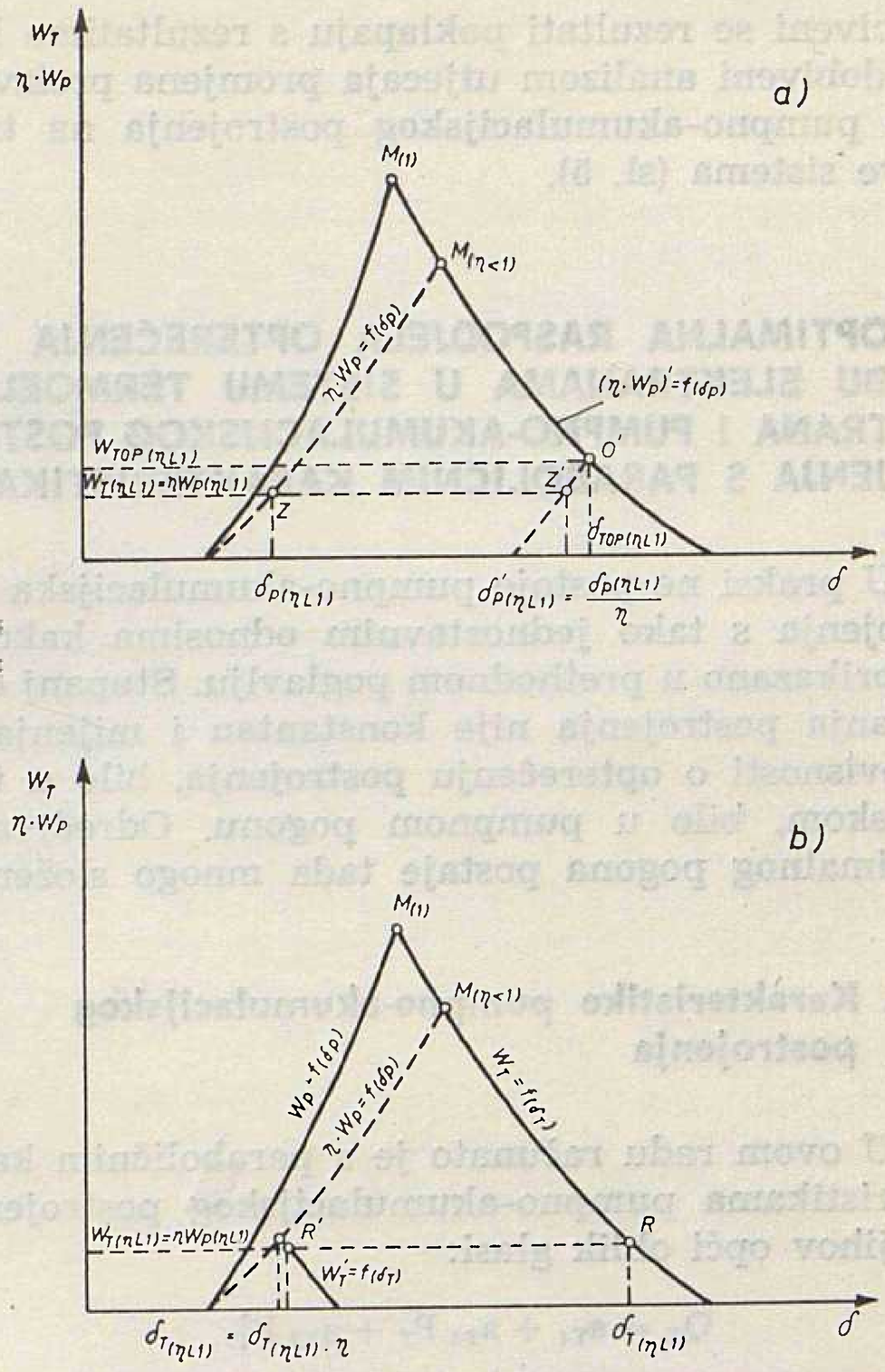
$$W_{Top(\eta<1)} = \eta W_{Pop(\eta<1)}. \qquad (35)$$

Kako su se pomaknute krivulje konstruirale tako da je u svakoj njihovoj točki bio zadovoljen uvjet za optimalan rad postrojenja, omjer apscisa točaka Ó i Ő jednak je stupnju djelovanja postrojenja, odnosno može se napisati da je:

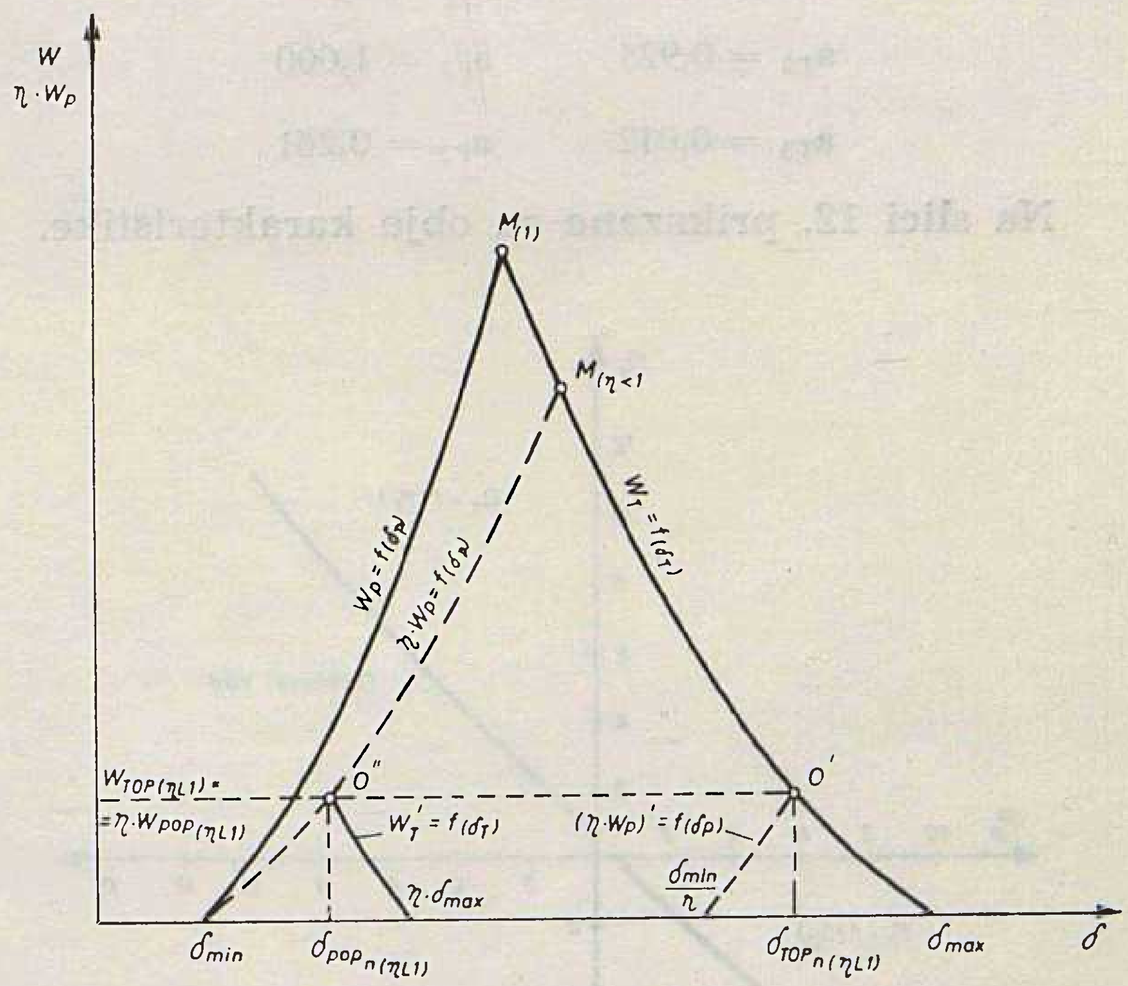
$$\delta_{Topn(\eta<1)} = \frac{\delta_{Popn(\eta<1)}}{\eta}. \qquad (36)$$

Na sl. 10. prikazan je dijagram 'δ - W' za pumpno-akumulacijsko postrojenje s $\eta<1$.

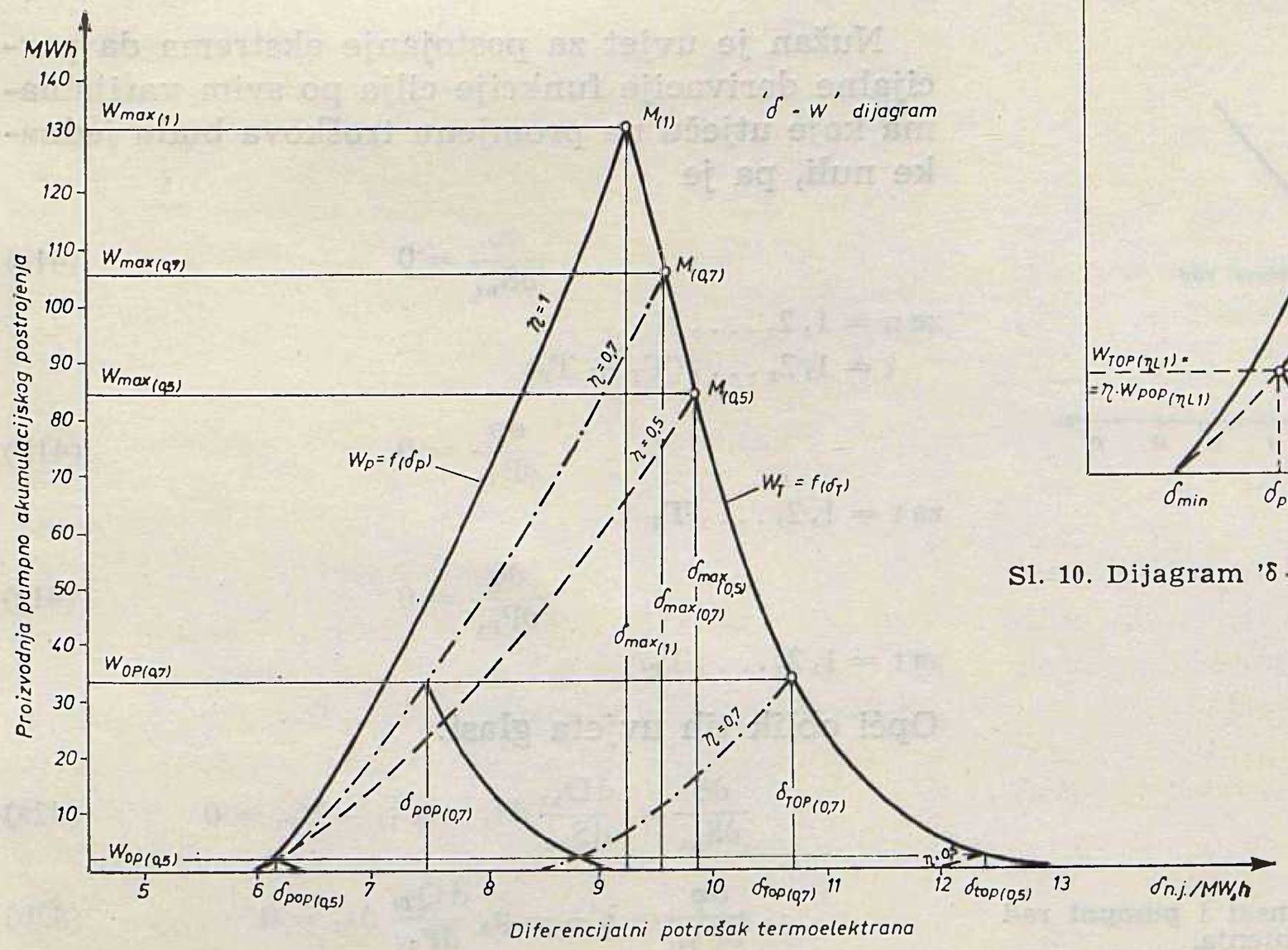
U ovom radu za primjer su uzeta pumpno-akumulacijska postrojenja s $\eta=0{,}5$, 0,7 i 1. Njihov zajednički 'δ - W' dijagram nacrtan je na sl. 11.



Sl. 9. Konstrukcija krivulja $(\eta W_P)' = f(\delta_P)$ i $W'_T = f(\delta_T)$



Sl. 10. Dijagram 'δ — W' za pumpno-akumulacijsko postrojenje s $\eta < 1$



Sl. 11. Diferencijalni potrošak termoelektrana

Dobiveni se rezultati poklapaju s rezultatima koji su dobiveni analizom utjecaja promjena proizvodnje pumpno-akumulacijskog postrojenja na troškove sistema (sl. 5).

4. OPTIMALNA RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU ELEKTRANAMA U SISTEMU TERMOELEKTRANA I PUMPNO-AKUMULACIJSKOG POSTROJENJA S PARABOLIČNIM KARAKTERISTIKAMA

U praksi ne postoje pumpno-akumulacijska postrojenja s tako jednostavnim odnosima kako je to prikazano u prethodnom poglavlju. Stupanj djelovanja postrojenja nije konstantan i mijenja se u ovisnosti o opterećenju postrojenja, bilo u turbinskom, bilo u pumpnom pogonu. Određivanje optimalnog pogona postaje tada mnogo složenije.

4.1. Karakteristike pumpno-akumulacijskog postrojenja

U ovom radu računato je s paraboličnim karakteristikama pumpno-akumulacijskog postrojenja, i njihov opći oblik glasi:

$$Q_T = a_{T1} + a_{T2} P_T + a_{T3} P_T^2, \qquad (37)$$

$$P_P = a_{P1} + a_{P2} Q_P + a_{P3} Q_P^2.$$

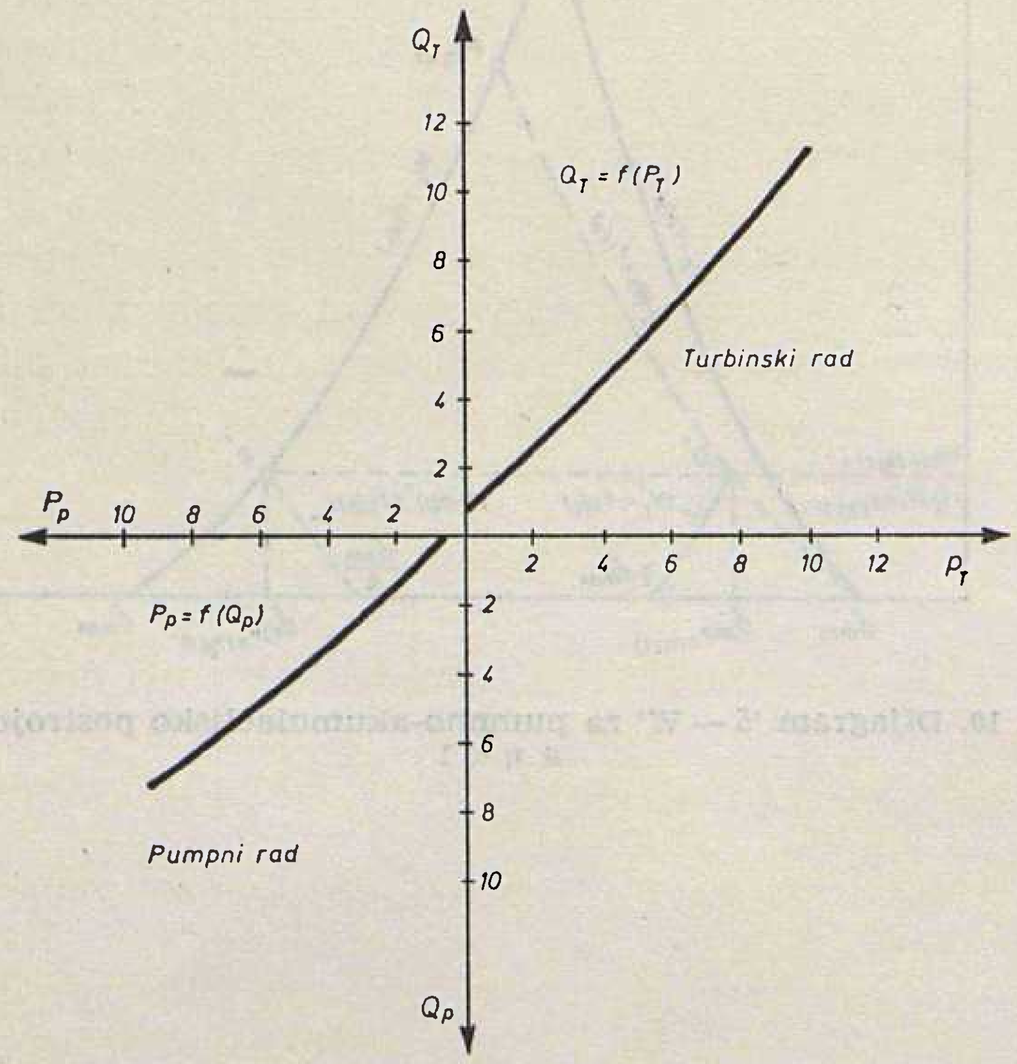
Parametri krivulje koji su upotrijebljeni u primjeru iznose:

$$a_{T1} = 0{,}800 \qquad a_{P1} = 0{,}600$$

$$a_{T2} = 0{,}925 \qquad a_{P2} = 1{,}000$$

$$a_{T3} = 0{,}012 \qquad a_{P3} = 0{,}261$$

Na slici 12. prikazane su obje karakteristike.



Sl. 12. Ovisnost snage o protoku za turbinski i pumpni rad pumpno-akumulacijskog postrojenja.

4.2. Matematički model

Kod određivanja optimalnog rada pumpno-akumulacijskog postrojenja polazi se od pretostavke da se u toku promatranog vremena u razdoblju velikih opterećenja iskoristi toliko vode koliko se za vrijeme malih opterećenja napumpa. Iz toga proizlazi uvjet za rad pumpno-akumulacijskog postrojenja.

$$\sum_{T_T} Q_{Tt} \Delta t_t - \sum_{T_P} Q_{Pt} \Delta t_t = 0. \qquad (38)$$

Unutar vremenskog perioda T_T, tj. kad postrojenje ne radi kao turbina, opterećenje se termoelektrana smanjuje. Obrnuto je u vremenu T_P. Sada postrojenje radi kao potrošač i povećava potrebnu snagu termoelektrana za zadovoljenje konzuma. Zbog toga je za zadovoljenje konzuma potrebno napisati dvije jednadžbe:

$$\sum_{N} S_{nT} - (P_t - P_{Tt}) = 0, \qquad (39a)$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$,

$$\sum_{N} S_{nt} - (P_t + P_{Pt}) = 0. \qquad (39b)$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_P$.

Svi oni intervali koji nisu obuhvaćeni tim jednadžbama, a kojih ima $T_0 = T - (T_T + T_P)$, ne utječu na određivanje optimalne raspodjele opterećenja u vremenskim intervalima T_T i T_P. U njima se raspodjela opterećenja određuje kao da je sistem samih termoelektrana.

Funkcija cilja φ formira se na isti način kao u (13), samo s razlikom u zadnjem članu i glasi:

$$\varphi = \sum_{N} \sum_{T} D_{nt} \Delta t_t - \sum_{T_T} \lambda'_{Tt} \left[\sum_{N} S_{nt} - (P_t - P_{Tt})\right] - \sum_{T_P} \lambda'_{Pt} \left[\sum S_{nt} - (P_t + P_{Pt})\right] + \mu_k \left(\sum_{T_T} Q_{Tt} \Delta t_t - \sum_{T_P} Q_{Pt} \cdot \Delta t_t\right). \qquad (40)$$

Nužan je uvjet za postojanje ekstrema da parcijalne derivacije funkcije cilja po svim varijablama koje utječu na promjenu troškova budu jednake nuli, pa je

$$\frac{\partial \varphi}{\partial S_{nt}} = 0 \qquad (41a)$$

za $n = 1, 2, \ldots, N$
$t = 1, 2, \ldots, (T_T + T_P)$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{Tt}} = 0 \qquad (41b)$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{Pt}} = 0 \qquad (41c)$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_P$.

Opći oblik tih uvjeta glasi:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial S_{nt}} = \frac{dD_{nt}}{dS_{nt}} \Delta t_t - \lambda'_{Tt} - \lambda'_{Pt} = 0 \qquad (42a)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{Tt}} = \lambda'_{Tt} - \mu_k \frac{dQ_{Tt}}{dP_{Tt}} \Delta t_t = 0 \qquad (42b)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial P_{Pt}} = \lambda'_{Pt} - \mu_k \frac{d\,Q_{Pt}}{dP_{Pt}} \Delta t_t = 0. \qquad (42c)$$

Ako se postavi da je:

$$\lambda_{Tt} = \frac{\lambda'_{Tt}}{\Delta t_t} \qquad (43a)$$

$$\lambda_{Pt} = \frac{\lambda'_{Pt}}{\Delta t_t}, \qquad (43b)$$

relacija (42a) se može napisati u drugom obliku. Posebno treba promatrati vremenski interval T_T, a zasebno T_P, jer postrojenje ne može istovremeno raditi u pumpnom i turbinskom pogonu.

$$\frac{d\,D_{nt}}{dS_{nt}} = \lambda_{Tt} \qquad (44a)$$

za $t = 1,2, \ldots, T_P$

$$\frac{d\,D_{nt}}{dS_{nt}} = \lambda_{Pt} \qquad (44b)$$

za $t = 1,2, \ldots, T_P$

Budući da su λ_{Tt} i λ_{Pt} konstante za svaki promatrani interval, raspodjela opterećenja među termoelektranama mora biti takva da se zadovolji taj uvjet. To je moguće samo onda kad sve termoelektrane imaju isti diferencijalni potrošak. Umjesto λ_{Tt} i λ_{Pt} može se pisati:

$$\delta_{Tt} = \lambda_{Tt}, \qquad (45a)$$

$$\delta_{Pt} = \lambda_{Pt}. \qquad (45b)$$

Ako se izrazi (42b) i (42c) podijele s Δt_t i u njih uvrsti (45a) i (45b), dobivaju se ove relacije:

$$\mu_k = \frac{\delta_{Tt}}{\frac{d\,Q_{Tt}}{dP_{Pt}}} \qquad (46a)$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$,

$$\mu_k = \frac{\delta_{Pt}}{\frac{d\,Q_{Pt}}{dP_{Pt}}} \qquad (46b)$$

za $= 1, 2, \ldots, T_P$.

Lagrangeov multiplikator μ_k je konstanta koja ovisi o promatranom pumpno-akumulacijskom postrojenju. Desne strane relacija (46a) i (46b) moraju u svim vremenskim intervalima biti međusobno jednake, te se raspodjela opterećenja između termoelektrana i pumpno-akumulacijskog postrojenja mora tako izvršiti da se to postigne. To ujedno predstavlja i uvjet za optimalan rad postrojenja.

4.3. Određivanje optimalnog rada pumpno-akumulacijskog postrojenja

Rezultati analize u prethodnom poglavlju, gdje se je optimirao rad pumpno-akumulacijskog postrojenja s konstantnim odnosom proizvodnje i potrošnje, pokazali su da je za određeno postrojenje samo jedna proizvodnja optimalna. Kako je u ovom poglavlju uvjet za rad pumpno-akumulacijskog postrojenja izražen protokom, može se kazati da će samo jedan volumen vode biti optimalan.

Trajanje pogona ne može se unaprijed predvidjeti, jer ovisi kako u pumpnom, tako i u turbinskom pogonu, o volumenu vode koja se koristi i rasporedu korištenja.

Uvođenje paraboličkih karakteristika pumpno-akumulacijskog postrojenja zahtijeva istovremeno optimiranje triju veličina, koje su u međusobnoj ovisnosti, a to su:

- broj intervala u kojima će raditi pumpno-akumulacijsko postrojenje bilo u pumpnom (T_P), bilo u turbinskom pogonu (T_T),
- raspored korištenja u promatranim intervalima,
- volumen vode (količina vode) koja se mora u periodu malih opterećenja napumpati, a u periodu velikih opterećenja potrošiti.

Dok se prve dvije veličine mogu zasebno promatrati u turbinskom a zasebno u pumpnom pogonu, jer jedan pogon nema nikakvog utjecaja na drugi (ne radi se o istodobnosti pojava), treća veličina se mora promatrati istodobno za oba pogona. Optimalni volumen bit će postignut kad se μ_k izjednači u periodu T_T i T_P.

4.3.1. Određivanje optimalnog rada pumpno-akumulacijskog postrojenja u turbinskom pogonu

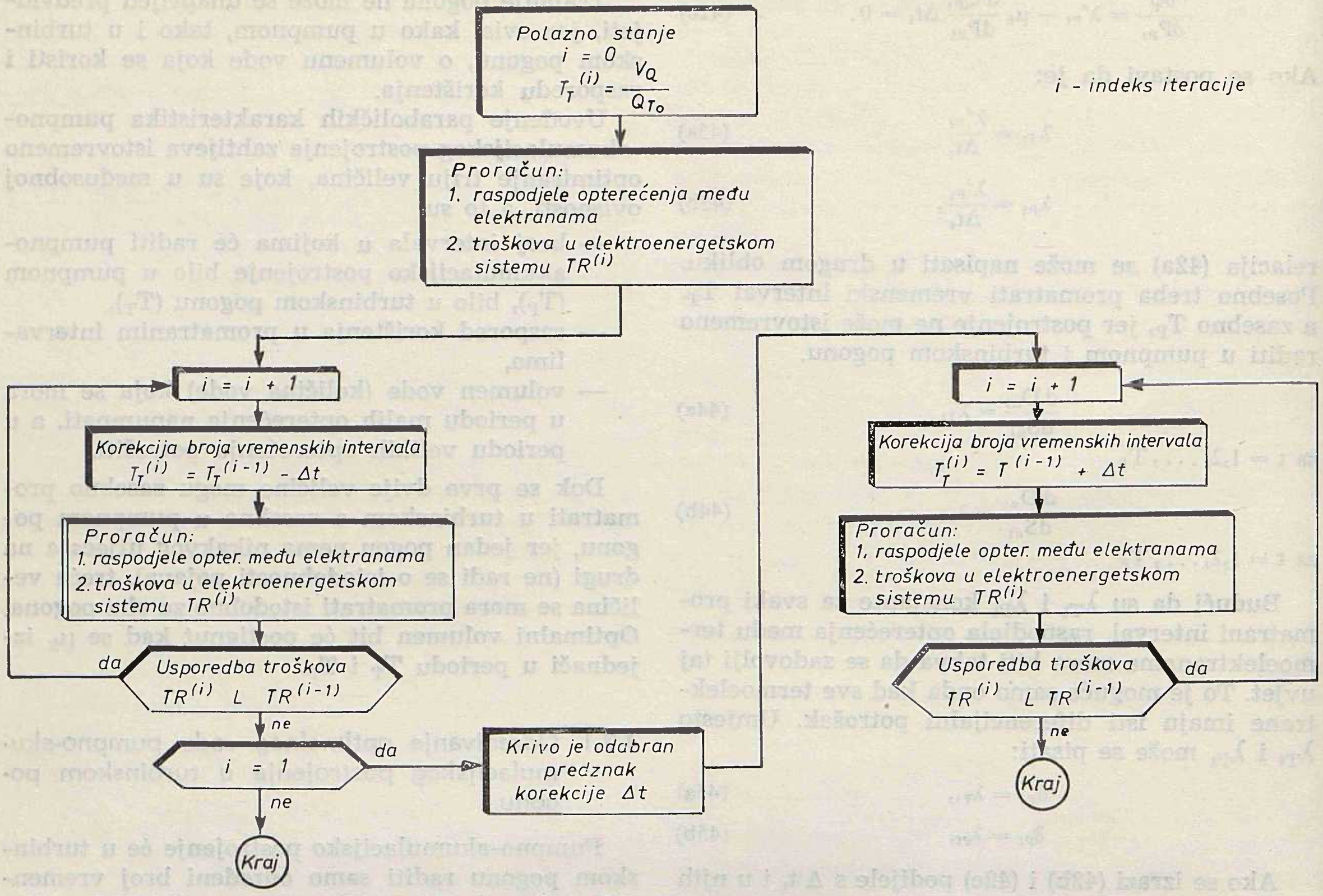
Pumpno-akumulacijsko postrojenje će u turbinskom pogonu raditi samo određeni broj vremenskih intervala T_T, već prema tome koliki je volumen vode na raspolaganju ili koliko se vode napumpalo u periodu malih opterećenja. Raspored korištenja vode, koji ovisi o opterećenju termoelektrana i karakteristikama postrojenja, te broj vremenskih intervala su nepoznanice i njih je potrebno odrediti.

Određivanje optimalnog broja vremenskih intervala. Rješenje jednadžbi tipa (46a), koje nije moguće napisati u eksplicitnom obliku, ne može se naći nikakvom direktnom metodom, te će zbog toga biti potrebno primijeniti iteracijski postupak. Da bi se započeo iteracijski postupak, potrebno je odabrati bilo kakav broj vremenskih intervala, ali uz uvjet da bude zadovoljena relacija (38). Pogodno je da se odabere protok Q_{T0}, kod kojega postrojenje postiže najbolje iskorištenje. Iz odnosa volumena i protoka Q_{T0} može se odrediti početni broj vremenskih intervala $T_T^{(0)}$:

$$T_T^{(0)} = \frac{V_Q}{Q_{T0}}, \qquad (47)$$

gdje je: V_Q volumen vode, za koji se traži optimalan rad pumpno-akumulacijskog postrojenja. Indeks »0« karakterizira početno stanje u iteracijskom načinu računanja.

S tako određenim početnim brojem vremenskih intervala odredi se raspored korištenja vode i troškovi $TR^{(0)}$ koji se postižu uz takav rad. Slijedeći korak je da se korigira broj vremenskih intervala $T_T^{(0)}$ za jedinicu korekcije Δt (npr. 1 sat). Korekcija može imati pozitivan ili negativan predznak.



Sl. 13. Određivanje optimalnog broja vremenskih intervala

Svejedno je što će se prije odabrati. Za krajnji rezultat nije ni važno na koji se način vrši korekcija početnog broja vremenskih intervala.

Ako se odabere korekcija s negativnim predznakom, broj vremenskih intervala $T_T^{(1)}$ u drugom iteracijskom koraku iznosit će:

$$T_T^{(1)} = T_T^{(0)} - \Delta t. \tag{48}$$

Ponovnim određivanjem rasporeda korištenja vode i troškova sistema $TR^{(1)}$ dolazi se do troškova koji pokazuju da li se u korigiranju vremena $T_T^{(0)}$ pošlo u pravom pravcu. Usporedbom troškova $TR^{(0)}$ i $TR^{(1)}$ donosi se odluka za slijedeći iteracijski korak. Sniženje troškova nakon korekture vremena $T_T^{(0)}$ zahtijeva ponovnu korekturu, i sve tako do trenutka kada troškovi sistema za iteraciju za koju je provedena korektura postanu veći od troškova prethodne iteracije. To se može napisati u obliku:

$$TR^{(i)} > TR^{(i-1)}. \tag{49}$$

Ako su troškovi sistema narasli već nakon prvog iteracijskog koraka, mora se promijeniti predznak korekcijske konstante, jer je pravac korekcije pogrešno odabran. Na isti način se, ali sad u drugm pravcu, ponavlja opisani postupak sve dok se troškovi sistema smanjuju (blok dijagram — slika 13).

Broj vremenskih intervala, za koji su postignuti minimalni troškovi u sistemu, jest optimalni broj.

Određivanje optimalnog rasporeda korištenja vode. Polazno stanje za određivanje optimalnog rasporeda korištenja vode uzima se u svim vremenskim intervalima isto. Protok koji odgovara početnom rasporedu određuje se iz volumena vode V_Q i broja vremenskih intervala T_T.

$$Q_{Tt}^{(0)} = \frac{V_Q}{T_T} \tag{50}$$

i vrijedi:

$$Q_{T1}^{(0)} = Q_{T2}^{(0)} = \ldots = Q_{TT_T}^{(0)}. \tag{51}$$

Na konačni rezultat, međutim ne utječe pretpostavljeni početni raspored protoka unutar vremenskih intervala, i zato je odabran onaj koji se najlakše određuje i koji je najlogičnije odrediti s obzirom na iskoristivost pumpno-akumulacijskog postrojenja.

Za pretpostavljeni protok $Q_{Tt}^{(0)}$ potrebno je odrediti pripadajuću snagu, a to se može iz izraza za karakteristike pumpno-akumulacijskog postrojenja.

$$Q_{Tt} = a_{T1} + a_{T2} P_{Tt} + a_{T3} P_{Tt}^2. \tag{52}$$

Jedno od rješenja te funkcije jest tražena vrijednost snage.

$$P_{Tt}^{(0)} = \frac{-a_{T2} + \sqrt{a_{T2}^2 - 4a_{T3}(a_{T1} - Q_{Tt}^{(0)})}}{2a_{T3}} \tag{53}$$

Kako je u svim vremenskim intervalima isti protok (51), proizlazi da će početne snage također u svim vremenskim intervalima biti iste. Stoga vrijedi da je

$$P_{T1}^{(0)} = P_{T2}^{(0)} = \ldots = P_{TT1}^{(0)}. \tag{54}$$

Uključivanjem u rad pumpno-akumulacijskog postrojenja korigira se konzum termoelektrana za vrijednost angažirane snage postrojenja.

$$P_t^{(0)} = P_t - P_{tt}^{(0)}. \tag{55}$$

Ako se poznaje sumarna krivulja, može se odrediti diferencijalni potrošak termoelektrana, a uz poznate karakteristike termoelektrana i optimalna raspodjela opterećenja u svakom vremenskom intervalu.

$$\delta_t^{(0)} = a_{s1} + a_{s2} P_t^{(0)} + a_{s3} P_t^{(0)2}, \tag{56}$$

gdje su a_{s1}, a_{s2} i a_{s3} parametri sumarne krivulje diferencijalnog potroška.

Za određivanje faktora μ_k potrebno je poznavati i derivaciju funkcije $Q_T = f(P_T)$ po snazi $T_{Tt}^{(0)}$, koja glasi:

$$\left(\frac{dQ_T}{dP_T}\right)_t^{(0)} = a_{T2} + 2a_{T3} P_{Tt}^{(0)}. \tag{57}$$

Isto kao i snaga i protok, tako i derivacija funkcije $Q_T = f(P_T)$ ima u svim vremenskim intervalima istu vrijednost, pa vrijedi:

$$\left(\frac{dQ_T}{dP_T}\right)_1^{(0)} = \left(\frac{dQ_T}{dP_T}\right)_2^{(0)} = \ldots = \left(\frac{dQ_T}{dP_T}\right)_{T_T} \tag{58}$$

Nakon što su izračunate sve potrebne vrijednosti, može se odrediti i faktor $\mu k_t^{(0)}$.

$$\mu_{kt}^{(0)} = \frac{\delta_t}{\left(\frac{dQ_T}{dP_T}\right)_t} \tag{59}$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$

Budući da je vrijednost diferencijalnog potroška termoelektrana u svim vremenskim intervalima različita, što proizlazi iz različitog opterećenja za svaki vremenski interval, a derivacija funkcije $Q_T = f(P_T)$ u svim intervalima jednaka, to će i faktor $\mu_{kt}^{(0)}$ u svakom vremenskom intervalu imati različitu vrijednost. Kako je uvjet za optimalnu raspodjelu opterećenja jednakost faktora $\mu_{tk}^{(0)}$ u svim vremenskim intervalima, potrebno je provesti korekturu protoka, tako da se u slijedećem iteracijskom koraku razlike između vrijednosti $\mu_{kt}^{(0)}$ smanjuju. Mjera za korekturu protoka je, prema tome, odstupanje od srednje vrijednosti faktora $\mu_{kt}^{(0)}$ u svim vremenskim intervalima. Ako su određene vrijednosti faktora μ_{kt} za sve vremenske intervale, srednja vrijednost se određuje iz relacije:

$$\mu_{ksr}^{(0)} = \frac{1}{T_T} \sum_{T_T} \frac{\delta_t}{\left(\frac{dQ_T}{dP_T}\right)_t^{(0)}} \tag{60}$$

Odstupanja od srednje vrijednosti μ_{ksr} u svakom su vremenskom intervalu različita, jer je i μ_{kt} različit

$$\Delta \mu_{kt}^{(0)} = \mu_{ksr}^{(0)} - \mu_{kt}^{(0)} \tag{61}$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$.

Razlika $\Delta \mu_{kt}^{(0)}$ se ne upotrebljava kao korekcijska veličina, već u kombinaciji s korekcijskim faktorom F koji je zajednički za sve vremenske intervale. Razlog je uvođenju takvog korekcijskog faktora da se ubrza iteracijski postupak, tj. da se sa što manje iteracija dođe do konačnog rezultata. Pogrešno odabran korekcijski faktor F može imati i suprotno djelovanje, pa se stoga njegovu izboru mora pridati posebna pozornost.

Izraz za korekciju protoka glasi:

$$Q_{Tt}^{(1)} = Q_{Tt}^{(0)} - \Delta \mu_{kt}^{(1)} F^{(0)} \tag{62}$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$

Korektura protoka mora biti takva da korigirani protoci daju opet onaj volumen s kojim se je startalo u proračunu $V_Q^{(0)}$, odnosno prema kojemu je određen početni raspored protoka.

$$\sum_{T_T} Q_{Tt}^{(1)} \Delta t_t = \sum_{T_T} Q_{Tt}^{(0)} \Delta t_t - \sum_{T_T} \Delta \mu_{kt}^{(0)} \cdot F^{(0)} \tag{63}$$

Da bi se zadovoljio uvjet da je

$$V_Q^{(1)} = V_Q^{(0)}, \tag{64}$$

mora biti

$$\sum_{T_T} \Delta \mu_{kt}^{(0)} \cdot F^{(0)} = 0. \tag{65}$$

Korekcijski faktor F je konstanta i može se isključiti iz izraza (65) jer je

$$\sum_{T_T} \Delta \mu_{kt}^{(0)} = 0. \tag{66}$$

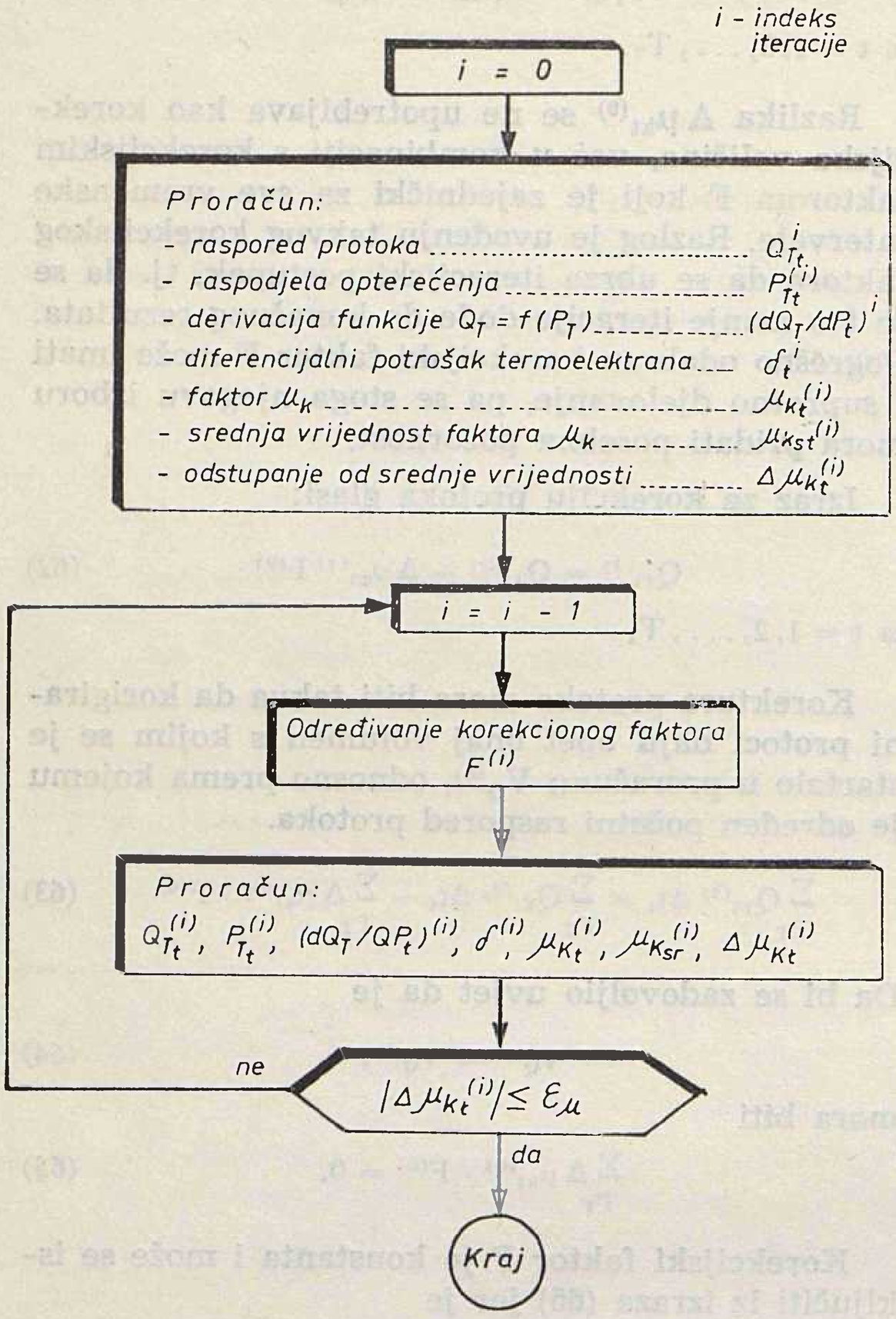
Ova relacija je zadovoljena jer suma odstupanja $\Delta\mu_{kt}$ od srednje vrijednosti mora biti jednaka nuli. To proizlazi iz samog izraza za određivanje srednje vrijednosti faktora μ_{ksr}.

S tako određenim protocima (izraz 62) ponovno se određuje snaga (53) i dalje ponavlja cijeli tok proračuna kao u prvom iteracijskom koraku (blok-dijagram: sl. 14). Proračun će biti prekinut onda kada se postigne da odstupanja $\Delta\mu_{kt}$ oko srednje vrijednosti faktora μ_{ksr} bude zanemarivo malo, odnosno manja od neke unaprijed dogovorene tolerancije. Tada se može smatrati da se zadovoljio uvjet (46a) za optimalnu raspodjelu opterećenja i da je faktor μ_k u svim vremenskim intevalima jednak.

$$(\Delta \mu_{kt}) \leq \varepsilon_\mu \tag{67}$$

za $t = 1, 2, \ldots, T_T$, gdje je ε_μ naprijed odgovorena tolerancija.

Određivanje korekcijskog faktora F — Broj iteracija ovisi o odabranoj vrijednosti korekcijskog faktora F. Da se to ne bi prepustilo slučaju, u ovom je radu razvijen matematički model određivanja korekcijskog faktora iz poznatih veličina. Tako odabrani faktor F umnogome smanjuje broj iteracija.



Sl. 14. Određivanje optimalnog rasporeda korištenja vode

Nakon prvog iteracijskog koraka poznate su veličine: $Q_{Tt}^{(0)}$, $P_{Tt}^{(0)}$, $\mu_{ksr}^{(0)}$, a od prije karakteristike diferencijalnog potroška i karakteristike samog pumpno-akumulacijskog postrojenja. Iz svih tih podataka i uz pretpostavku da će u drugom iteracijskom koraku faktor $\mu_k^{(1)}$ imati vrijednost μ_{ksr}, može se izračunati korekcijski faktor $F^{(0)}$.

Za primjer može se pokazati koliko ovakav način proračuna skraćuje tok proračuna. Kao polazne veličine uzete su volumen vode V_Q i pretpostavljeni protok Q_{T0}, kod koga je iskorištenost postrojenja najbolja.

$$V_Q = 50,0 \text{ j. v.}$$

$$Q_{T0} = 10,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

U prvom koraku su određene veličine:

$$T_T = 6 \text{ h}$$

$$Q_T = 9,166 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_T = 8,177 \text{ MW}$$

$$\frac{d\,Q_T}{d\,P_T} = 1,121 \text{ m}^3/\text{s/MW}$$

koje su u svim vremenskim intervalima jednake. Promjenljive varijable, tj. one koje imaju različite

Tablica 5.

RASPORED DIFERENCIJALNIH POTROŠAKA TERMOELEKTRANA, FAKTORA $\mu_{kt}^{(0)}$ I ODSTUPANJA $\Delta\mu_{kt}^{(0)}$ OD SREDNJE VRIJEDNOSTI ZA PROMATRANI VREMENSKI PERIOD

Vremenski interval h	$\delta_t^{(0)}$ n. j./MWh	$\mu_{kt}^{(0)}$	$\Delta\mu_{kt}^{(0)}$
1	11,341	10,115	0,994
2	10,582	9,437	0,316
3	10,397	9,272	0,151
4	10,033	8,948	— 0,172
5	9,503	8,476	— 0,645
6	9,503	8,476	— 0,645

vrijednosti u pojedinim vremenskim intervalima nalaze se u tablici 5.

Srednja vrijednost faktora $\mu_{kst}^{(0)}$, koja je ujedno i vrijednost koju želimo postići u drugom iterativnom koraku, iznosi:

$$\mu_{ksr}^{(0)} = 9,121.$$

Nakon određivanja korekcijskog faktora ponavlja se cijeli proračun, ali se sada za polazno stanje uzimaju vrijednosti izračunate u prvom iteracijskom koraku. Rezultati su dani u tabl. 6. i 7. Srednja vrijednost faktora $\mu_{ksr}^{(1)}$ u drugom iteracijskom koraku iznosi:

$$\mu_{ksr}^{(1)} = 9,122.$$

Rezultati pokazuju kako je ovaj način određivanja korekcijskog faktora F efikasan. U samo dva koraka postignuta su minimalna odstupanja od srednje vrijednosti. Naravno da se u svakom slučaju neće moći tako brzo doći do traženog rezultata, već će se morati napraviti i veći broj iteracija.

Tablica 6.

RASPORED PROTOKA, SNAGE I DERIVACIJE $Q_T = f(P_T)$ ZA PROMATRANI VREMENSKI PERIOD

Vremenski interval h	Q_{Tt} m³/s	P_{Tt} MW	$\frac{dQ_T}{dP_T}$
1	12,302	10,895	1,186
2	10,165	9,059	1,142
3	9,645	8,603	1,131
4	8,622	7,689	1,109
5	7,143	6,326	1,076
6	7,143	6,326	1,076

Tablica 7.

RASPORED DIFERENCIJALNIH POTROŠAKA TERMOELEKTRANA, FAKTORA $\mu_{kt}^{(1)}$ I ODSTUPANJA $\Delta\mu_{kt}^{(1)}$ OD SREDNJE VRIJEDNOSTI $\mu_{ksr}^{(1)}$ ZA PROMATRANI VREMENSKI PERIOD

Vremenski interval h	$\delta_t^{(1)}$ n. j./MWh	$\mu_{kt}^{(1)}$	$\Delta\mu_{kt}^{(1)}$
1	10,822	9,121	— 0,0019
2	10,418	9,119	— 0,0031
3	10,319	9,120	— 0,0026
4	10,121	9,122	— 0,0008
5	9,828	9,127	— 0,0043
6	9,828	9,127	— 0,0043

4.3.2. Određivanje optimalnog rada pumpno-akumulacijskog postrojenja u pumpnom pogonu

Određivanje optimalnog pumpnog pogona u biti se ne razlikuje od određivanja optimalnog turbinskog pogona. Cijeli tok proračuna ostaje isti. Razlika je jedino u tome što angažiranje postrojenja u pumpnom pogonu zahtijeva dodatnu energiju iz termoelektrana i što se cijeli pogon odvija prema karakteristikama pumpnog pogona.

4.3.3. Određivanje optimalnog volumena

Optimalna proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja u direktnoj je vezi s volumenom vode koji je utrošen za ostvarenje te proizvodnje. Kako je samo jedna proizvodnja optimalna, to će i samo jedan volumen vode biti optimalan. To znači da će potreban volumen vode za ostvarivanje optimalne proizvodnje odrediti sam elektromagnetski sistem, bez obzira na to koliki akumulacijski bazen stoji na raspolaganju.

I ovdje je, kao i u svim slučajevima gdje se provodi iteracijski postupak, potrebno definirati polazno stanje. Ono je jednako maksimalnom volumenu akumulacijskog bazena koji stoji na raspolaganju. Može se postaviti da je:

$$V_Q^{(0)} = V_{Qmax}, \tag{68}$$

gdje je VQ_{max} korisni volumen pumpno-akumulacijskog postrojenja za koji se traži optimalni rad.

Tako odabranim početnim stanjem definiran je i pravac za slijedeće iteracijske korake. Optimalni volumen može biti samo manji ili u krajnjem slučaju jednak maksimalnom volumenu V_{Qmax}.

Za volumen $V_Q^{(0)}$ odredi se raspodjela opterećenja i troškova u sistemu koji su posljedica takve raspodjele $TR^{(0)}$.

Slijedeći korak je da se smanji volumen $V_Q^{(0)}$ za iznos $\Delta V_Q^{(0)}$.

$$V_Q^{(1)} = V_Q^{(0)} - \Delta V_Q^{(0)}, \tag{69}$$

gdje je $\Delta V_Q^{(0)}$ unaprijed odabrana korekcija volumena.

Promjena volumena utjecat će i na raspodjelu opterećenja među elektranama, odnosno troškova sistema $T_R^{(1)}$.

Izračunati troškovi za dva različita volumena mogu se usporediti, jer su oni jedini pokazatelj utjecaja promjene volumena na raspodjelu opterećenja među elektranama. Ako je zadovoljeno da je:

$$TR^{(1)} < TR^{(0)}, \tag{70}$$

nastavlja se cijeli tok proračuna sve do i-te iteracije kad troškovi ostvareni u tom iteracijskom koraku postanu veći od troškova iz prethodnog koraka.

$$TR^{(1)} > TR^{(i-1)}. \tag{71}$$

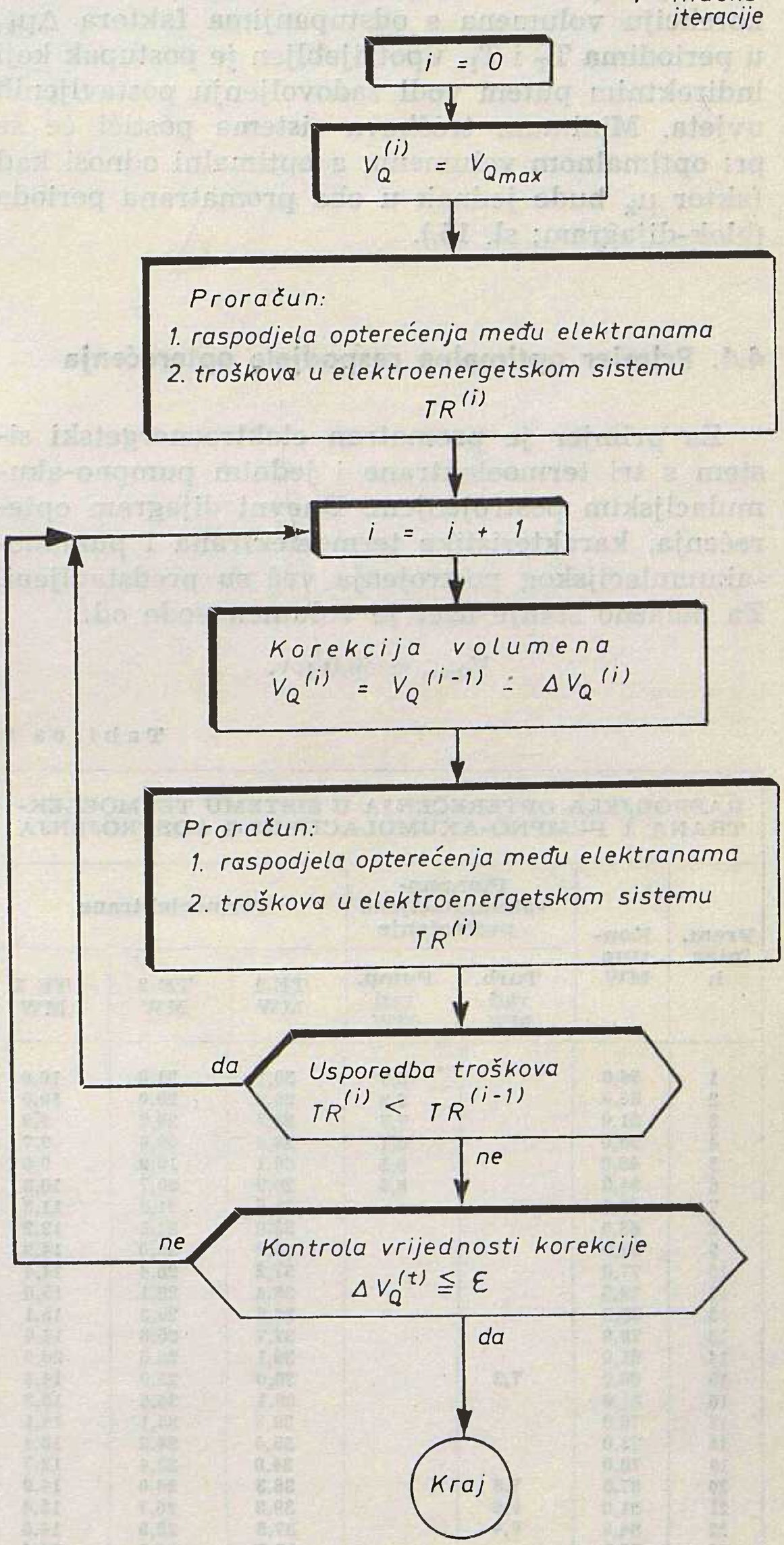
To još ne znači da je završen proračun. Potrebno je smanjiti korekciju $\Delta V_Q^{(0)}$ i ponoviti proračun. Polazno stanje novog iteracijskog ciklusa postaće volumen kod čije je raspodjele opterećenja postignut minimum troškova (iteracija i-1).

$$\Delta V_Q^{(1)} = \frac{\Delta V_Q(0)}{2} \tag{72}$$

Drugi iteracijski ciklus ponavlja se sve do trenutka kad se zadovolji nejednadžba (71)), tj. kad troškovi u nekom iteracijskom koraku postanu veći od onih koji su mu prethodili. Ponovno se smanji korekcija ΔV_Q (72), definira polazno stanje i ponovi cijeli tok proračuna.

Proračun će biti prekinut onda kad korekcija ΔV_Q postane manja od neke unaprijed odabrane tolerancije.

$$\Delta V_Q \leq \varepsilon_{VQ}. \tag{73}$$



Sl. 15. Određivanje optimalnog volumena

Može se dogoditi da već u prvom iteracijskom koraku troškovi sistema postanu veći od polaznih troškova. Jedan od razloga može biti pogrešno odabrana korekcija ΔV_Q. U tom slučaju potrebno je smanjivati korekciju sve do trenutka kada troškovi postanu manji od onih s kojima ih uspoređujemo, a zatim nastaviti proračun na opisani način.

Krajnost je da se postigne zadovoljenje uvjeta (73) a da i dalje troškovi budu veći od polaznih. To se objašnjava time da je optimalni volumen veći od onog koji je na raspolaganju.

$$V_{Qop} < V_{Qmax}. \qquad (74)$$

Uvjet za optimalni rad pumpno-akumulacijskog postrojenja dan je relacijama (46a) i (46b). Kako je nemoguće istovremeno optimirati rad postrojenja u pumpnom i turbinskom režimu rada i vršiti korekciju volumena s odstupanjima faktora $\Delta\mu_{kt}$ u periodima T_T i T_P, upotrijebljen je postupak koji indirektnim putem vodi zadovoljenju postavljenih uvjeta. Minimum troškova sistema postići će se pri optimalnom volumenu, a optimalni odnosi kad faktor μ_k bude jednak u oba promatrana perioda (blok-dijagram; sl. 15.).

4.4. Primjer optimalne raspodjele opterećenja

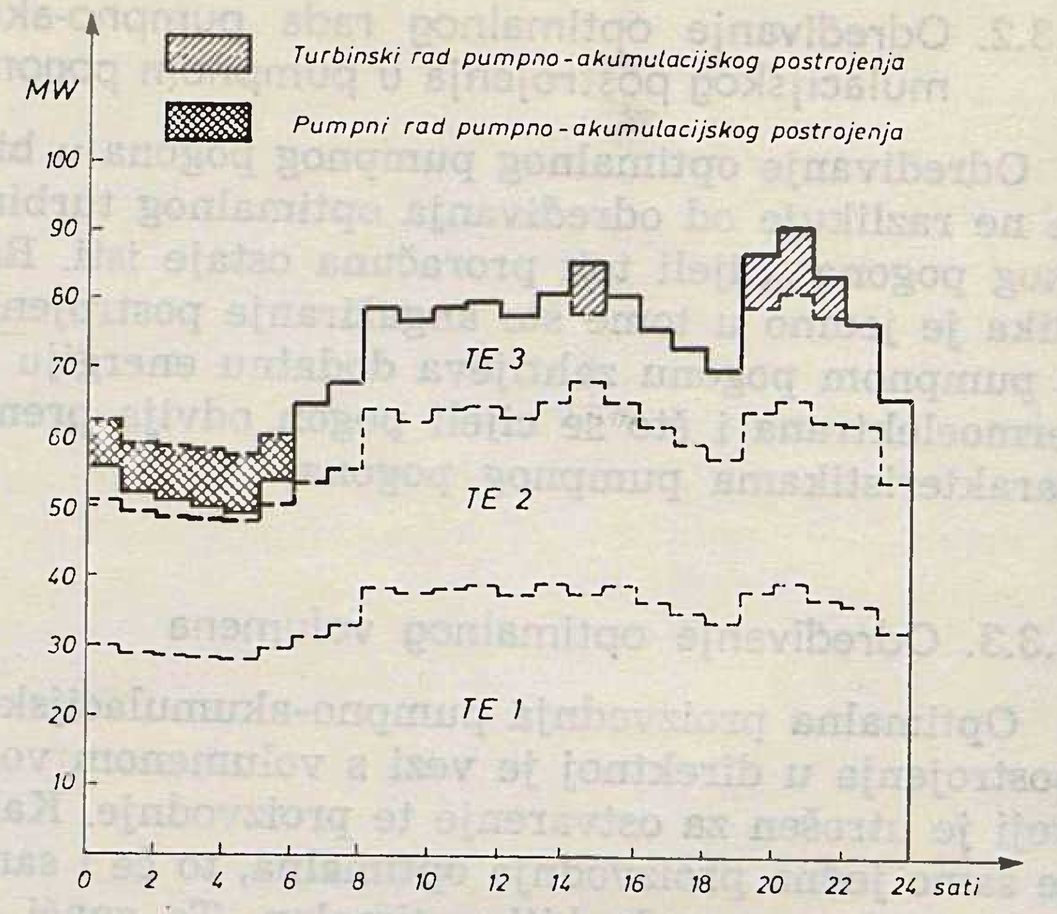
Za primjer je promatran elektroenergetski sistem s tri termoelektrane i jednim pumpno-akumulacijskim postrojenjem. Dnevni dijagram opterećenja, karakteristike termoelektrana i pumpno-akumulacijskog postrojenja već su predstavljeni. Za polazno stanje uzet je volumen vode od:

$$V_{Qmax} = 50{,}0 \text{ j. v.}$$

Tablica 8.

RASPODJELA OPTEREĆENJA U SISTEMU TERMOELEKTRANA I PUMPNO-AKUMULACIJSKOG POSTROJENJA

Vrem. inter. h	Konzum MW	Pumpno-akumulacijsko postrojenje		Termoelektrane		
		Turb. rad MW	Pump. rad MW	TE 1 MW	TE 2 MW	TE 3 MW
1	56,0		5,7	30,1	21,0	10,6
2	52,0		7,3	29,0	29.0	10,0
3	51.0		7,7	28,7	20,2	9,9
4	50,0		8,1	28,4	20,0	9,7
5	49,0		8,5	28,1	19,9	9,6
6	54,0		6,5	29,5	20,7	10,3
7	65,0			31,6	21,9	11,3
8	68,0			33,0	22,8	12,2
9	89,0			38.2	26,0	14,9
10	77,0			37,2	25,4	14,4
11	79,5			38,4	26,1	15,0
12	80,0			38,6	26,3	15,1
13	78,0			37,7	25,8	14,6
14	81,0			39,1	26,6	26,6
15	86,0	7,3		38,0	25,9	14,8
16	81,0			39,1	26,6	15,3
17	76,0			36,8	25,1	14,1
18	73,0			35,4	24,2	13,4
19	70,0			34,0	23,4	12,7
20	87,0	7,8		38.3	26,0	14,9
21	91,0	9,6		39,3	26,7	15,4
22	84,0	6,4		37,5	25,5	14,5
23	77,0			37,2	25,4	14,4
24	66,0			32,1	22,2	11,7



Sl. 16. Primjer raspodjele opterećenja među termoelektranama pri optimalnom radu pumpno-akumulacijskog postrojenja

Nakon provedenog proračuna minimum troškova postignut je kod volumena od:

$$V_{Qop} = 35{,}0 \text{ j. v.}$$

Raspodjela opterećenja među elektranama dana je u tablici 8. i sl. 16.

Zanimljivo je napraviti usporedbu raspodjele opterećenja među elektranama sistema u slijedeća dva slučaja: kada pumpno-akumulacijsko postrojenje ima konstantan stupanj djelovanja i kada to postrojenje ima paraboličke karakteristike. U slučaju kad je konstantan, postiže se potpuno izravnanje rada termoelektrana u vrijeme kad radi pumpno-akumulacijsko postrojenje. To je zato jer u ovom slučaju potrošak vode nije ovisan o načinu rada postrojenja, nego samo o proizvedenoj energiji, odnosno kod pumpanja se istom energijom napumpa ista količina vode bez obzira na način rada. U drugom slučaju, kad pumpno-akumulacijsko postrojenje ima paraboličku karakteristiku, ne postiže se izravnanje rada termoelektrana. Razlog je tome činjenica da se u ovom drugom slučaju više imaju na umu stvarne karakteristike postrojenja, pa dakle i njegovo bolje iskorištavanje. U toku proračuna zbog zahtjeva da troškovi budu minimalni — broj vremenskih intervala i opterećenja u pojedinim intervalima podešava se tako da se izbjegavaju ona opterećenja kod kojih stupanj djelovanja postrojenja ima malu vrijednost.

5. ZAKLJUČAK

Analiza provedena u ovom radu, a koja se odnosi na optimizaciju rada odnosno proizvodnje pumpno-akumulacijskog postrojenja, pokazala je slijedeće:

a) da optimalna proizvodnja pumpno-akumulacijskog postrojenja ovisi o obliku dnevnog dija-

grama opterećenja i ,o karakteristikama termoelektrana koje su angažirane za zadovoljenje konzuma;

b) da su u slučaju kad se promatra pumpno-akumulacijsko postrojenje s konstantnim stupnjem djelovanja, optimalna i maksimalno moguća proizvodnja funkcije stupnja djelovanja i za jedan definirani sistem manje što je η manji;

c) da je za postrojenje s konstantnim η optimalno potpuno izravnanje rada termoelektrana, jer način rada pumpno-akumulacijskog postrojenja nema nikakvog utjecaja na vrijednost ostvarene proizvodnje, odnosno utrošene energije;

d) da se kod pumpno-akumulacijskog postrojenja s paraboličnim karakteristikama ne postiže potpuno izravnanje rada termoelektrana, jer se vodi briga o iskorištenju samog postrojenja.

Ova analiza provedena je za idealni elektroenergetski sistem, bez gubitaka i bez ograničenja snage angažiranih elektrana, jer je osnovna ideja bila da se pokažu energetski odnosi unutar sistema, koji bi se narušili spomenutim ograničenjima. Svakako je u daljem radu potrebno primijeniti metodu na konkretni sistem i uzeti u obzir sve osobitosti koje takav sistem sadrži.

LITERATURA

1. Požar, H.: Snaga i energija u elektroenergetskom sistemu, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd, 1966.
2. Požar, H.: Ekonomična raspodjela opterećenja u elektroenergetskom sistemu, Školska knjiga, Zagreb, 1953.
3. Požar, H., Keglević, J., Bodlović, P.: Metoda za određivanje opterećenja među elektranama u elektroenergetskom sistemu hidroelektrana i termoelektrana, Elektrotehnika 1969, st. 213 . . .
4. Požar, H., B. Udovičić, G. Granić: Metoda za određivanje optimalnog pogona pumpno-akumulacijskih postrojenja i njihov utjecaj na elektroenergetski sistem, Savjetovanje o hidroelektranama u Splitu, 1974.
5. Požar, H., Granić, G.: Utjecaj karakteristika elektroenergetskih sistema na pogon i potrebnu izgradnju pumpno-akumulacijskih postrojenja, CIGRA, Budva, 1975.
6. Granić, G.: Utjecaj pumpno-akumulacijskog postrojenja na raspodjelu opterećenja u elektroenergetskom sistemu, Magistarski rad, Zagreb, 1976.

Naslov pisca:

Mr Goran G r a n i ć, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu

ELEKTROPRIVREDA
ZAGREB

PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU, PRIJENOS I KUPOPRODAJU ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE

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

RAČUNANJE TOKOVA SNAGA I NAPONA NA PREMALOM ELEKTRONIČKOM RAČUNALU

Marija Ožegović, Split

U članku su uspoređena tri rješenja problema prevelikog elektroenergetskog sistema s obzirom na tehničke mogućnosti računanja tokova snaga i napona. Posebno je razrađeno rastavljanje sistema na dijelove (dijakoptika) i ukazano na složenost ovog algoritma.

DK 621.3.01:681.13

UVOD

Račun tokova snaga i napona jedan je od osnovnih računa u analizi energetskih mreža. Prije pojave elektroničkih računala tokovi snaga i naponi određivali su se na mrežnim analizatorima, koji nisu mogli pratiti brz porast elektroenergetskog sistema. Zato je redovito bilo potrebno parcijalno modeliranje mreže, što je donosilo i odgovarajuće netočnosti.

Danas se opet suočavamo s istim problemom, s tom razlikom što je u pitanju ograničeni kapacitet elektroničkog računala. Potrebno vrijeme računanja i potrebna veličina memorije računala raste progresivno s veličinom mreže. Iako raspolažemo velikim računskim sistemima, nalazimo se često u situaciji da programom ne možemo obuhvatiti cijeli elektroenergetski sistem, te nismo siguni da li su naponske prilike po iznosu i po kutu prihvatljive u neobuhvaćenom dijelu mreže.

1. PREBACIVANJE TERETA

U ovoj metodi, koju nazivamo i ekvivalentiranje, smanjujemo sistem transfiguracijom nakon što smo prebacivanjem tereta od aktivnih čvorova načinili pasivne. Redukcija pasivne mreže je matematički egzaktan postupak, a isto tako i prebacivanje struja. Prebacivanje snaga dovodi do pogreške zbog zanemarenja gubitaka do kojih stvarno dolazi u reduciranom dijelu mreže.

Neka mreža ima N čvorova. S 1 do L označit ćemo čvorove na koje ćemo raspodijeliti snage čvorova L+1 do M. Ostali čvorovi M+1 do N ne ulaze u igru. Čvorove L+1 do M nazvat ćemo E čvorovima. Sa $\bar{S}_{L+1}$ do $\bar{S}_M$ označit ćemo snage koje želimo prebaciti u čvorove 1 do L. Te snage na kraju moramo pribrojiti zatečenim snagama u čvorovima 1 do L.

Snaga S_1 čvora 1 jednaka je sumi snaga koje su prebačene iz svih čvorova $\bar{S}_{L+1}$ do $\bar{S}_M$ u čvor 1, a isto vrijedi i za ostale snage S_2, S_3, ... $\bar{S}_L$. To možemo izraziti na slijedeći način:

$$\bar{S}_1 = \bar{f}_{1,L+1}\,\bar{S}_{L+1} + \bar{f}_{1,L+2}\,\bar{S}_{L+2} + \ldots + \bar{f}_{1,M}\,\bar{S}_M \qquad (1a)$$

$$\bar{S}_2 = \bar{f}_{2,L+1}\,\bar{S}_{L+1} + \bar{f}_{2,L+2}\,\bar{S}_{L+2} + \ldots + \bar{f}_{2,M}\,\bar{S}_M \qquad (b)$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\bar{S}_L = \bar{f}_{L,L+1}\,\bar{S}_{L+1} + \bar{f}_{L,L+2}\,\bar{S}_{L+2} + \ldots + \bar{f}_{L,M}\,\bar{S}_M \qquad (L)$$

Suma svih prebačenih snaga iz jednog čvora mora biti jednaka ukupnoj snazi toga čvora. Npr. za čvor L+i:

$$\bar{f}_{1,L+i}\,\bar{S}_{L+i} + \bar{f}_{2,L+i}\,\bar{S}_{L+i} + \ldots + \bar{f}_{L,L+i} = \bar{S}_{L+i} \qquad (2)$$

ili

$$\sum_{j=1}^{L} \bar{f}_{j,L+i} = 1 \qquad i = 1,2,\ldots(M-L) \qquad (3)$$

Faktore $\bar{f}_{i,L+i}$ nazvat ćemo distribucionim faktorima.

Jednadžbu (1) možemo pisati u matričnom obliku:

$$\begin{bmatrix} \bar{S}_1 \\ \bar{S}_2 \\ \cdot\cdot \\ \bar{S}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{f}_{1,L+1} & \bar{f}_{1,L+2} & \cdots & \bar{f}_{1,M} \\ \bar{f}_{2,L+1} & \bar{f}_{2,L+2} & \cdot\cdot & \bar{f}_{2,M} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdot\cdot & \cdot\cdot \\ \bar{f}_{L,L+1} & \bar{f}_{L,L+2} & \cdots & \bar{f}_{L,M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{S}_{L+1} \\ \bar{S}_{L+2} \\ \cdots\cdot \\ \bar{S}_M \end{bmatrix} \qquad (4)$$

ili

$$[\bar{S}_L] = [\bar{f}_D][\bar{S}_E] \qquad (5)$$

Matrica $(\bar{f}_D)$ ima L redaka i E=M-L stupaca, a nazivamo je matricom distribucijskih faktora.

Nakon prebacivanja snaga iz čvorova L+1 do M u čvorove 1 do L čvorovi L+1 do M postaju pasivni. Transfiguracijom pasivne mreže rješavamo se čvorova L+1 do M.

Matricu $[\bar{f}_D]$ možemo odrediti egzaktno samo ako su opterećenja čvorova definirana strujama mjesto snagama, a to je nemoguće, jer naponi čvorova nisu poznati.

Na sl. 1.a pokazan je sistem kojemu jedan dio treba ekvivalentirati. Sistem razdvojimo u čvorovima 1 do L na dio A koji ostaje i na dio B koji se ekvivalentira. Snage čvorova 1 do L originalnog sistema neka ostanu u sistemu A. Oba sistema sadrže čvorove 1 do L međusobno vezane vodovima bez impedancije (sl. 1.b).

U slijedećem koraku presijecimo veze 1 do L. Struje grana sada postaju struje čvora i za podsistem B moraju dobiti negativan predznak (sl. 1.c).

Jednadžbe dijela B prije premještanja struja glase:

$$\left|\begin{array}{c} -\bar{I}'_L \\ \hline \bar{I}_E \end{array}\right| = \left|\begin{array}{c|c} \bar{Y}_{LL} & \bar{Y}_{LE} \\ \hline \bar{Y}_{EL} & \bar{Y}_{EE} \end{array}\right| \left|\begin{array}{c} \bar{V}_L \\ \hline \bar{V}_E^I \end{array}\right| \qquad (6)$$

i nakon premještanja struja:

$$\left|\begin{array}{c} -\bar{I}'_L + \bar{I}_L \\ \hline 0 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{c|c} \bar{Y}_{LL} & \bar{Y}_{LE} \\ \hline \bar{Y}_{EL} & \bar{Y}_{EE} \end{array}\right| \left|\begin{array}{c} \bar{V}_L \\ \hline \bar{V}_E^{II} \end{array}\right| \qquad (7)$$

Ispišemo 4 jednadžbe:

$$[-\bar{I}'_L] = [\bar{Y}_{LL}][\bar{V}_L] + [\bar{Y}_{LE}][\bar{V}_E^I] \qquad (8a)$$

$$[\bar{I}_E] = [\bar{Y}_{EL}][\bar{V}_L] + [\bar{Y}_{EE}][\bar{V}_E^I] \qquad (8b)$$

$$[-\bar{I}'_L] + [\bar{I}_L] = [\bar{Y}_{LL}][\bar{V}_L] + [\bar{Y}_{LE}][\bar{V}_E^{II}] \qquad (8c)$$

$$[0] = [\bar{Y}_{EL}][\bar{V}_L] + [\bar{Y}_{EE}][\bar{V}_E^{II}] \qquad (8d)$$

Iz jednadžbi (8b) i (8d) dobijemo:

$$[\bar{V}_E^I] = [\bar{Y}_{EE}]^{-1}[\bar{I}_E] - [\bar{Y}_{EE}]^{-1}[\bar{Y}_{EL}][\bar{V}_L] \qquad (8e)$$

$$[\bar{V}_E^{II}] = [\bar{Y}_{EE}] - 1[\bar{Y}_{EL}][\bar{V}_L] \qquad (8f)$$

što uvršteno u (8a) i (8c) daje:

$$[-\bar{I}'_L] - [\bar{Y}_{LL}][\bar{V}_L] + [\bar{Y}_{LE}][\bar{Y}_{EE}] - 1[\bar{I}_E] - [\bar{Y}_{LE}][\bar{Y}_{EE}] - 1[\bar{Y}_{EL}][\bar{V}_L] \qquad (8g)$$

$$[-\bar{I}'_L] + [\bar{I}_L] = [\bar{Y}_{LL}][\bar{V}_L] - [\bar{Y}_{LE}][\bar{Y}_{EE}]^{-1}[\bar{Y}_{EL}][\bar{V}_L] \qquad (8h)$$

Sada (8g) uvrstimo u (8h) i dobijemo:

$$[\bar{I}_L] = -[\bar{Y}_{LE}][\bar{Y}_{EE}]^{-1}[\bar{I}_E] \qquad (9)$$

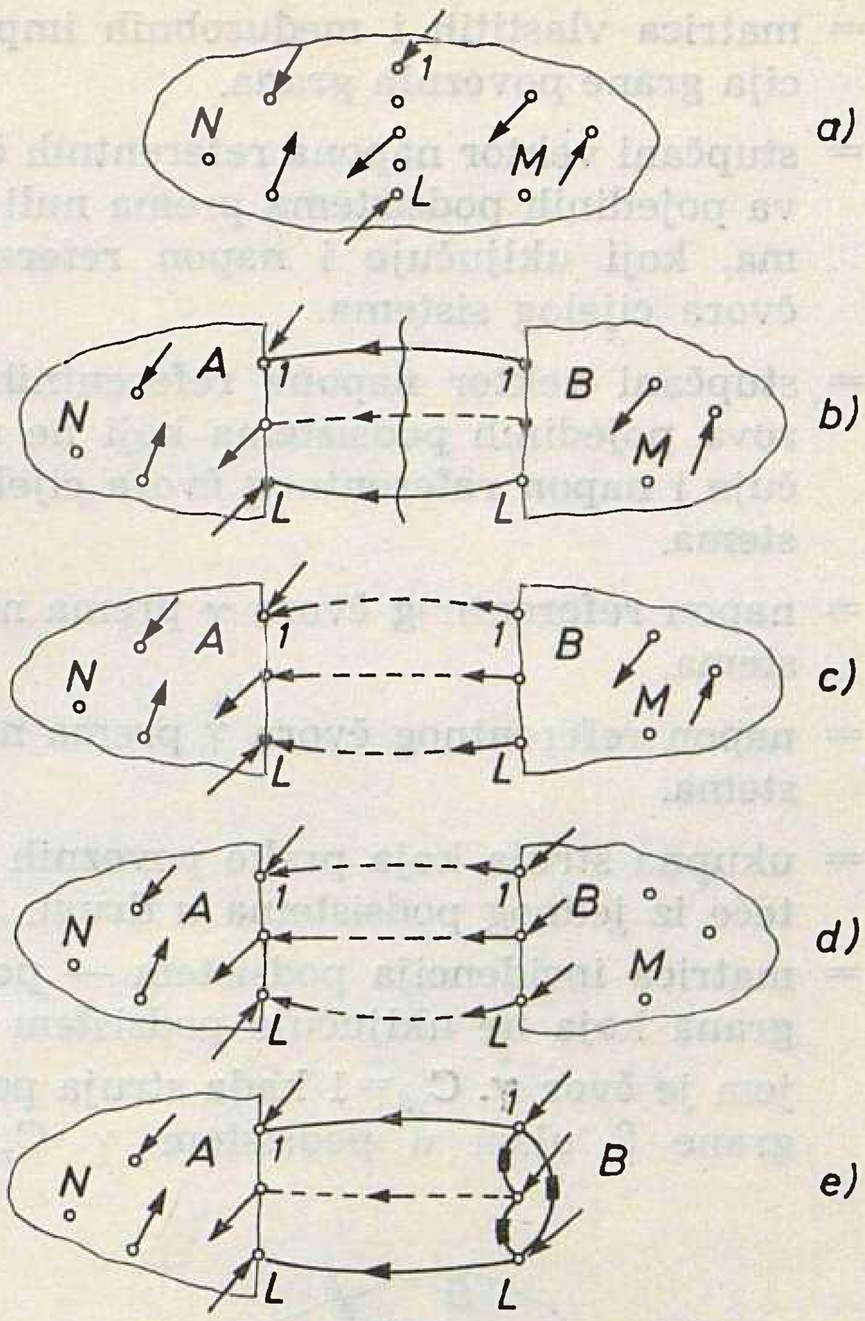
Prijeđimo sa struja na snage:

$$[\bar{S}_L] = -[\bar{Y}_{LE}][\bar{Y}_{EE}]^{-1}[\bar{S}_E] \qquad (10)$$

Usporedimo (10) sa (5). Vidimo da je:

$$[\bar{f}_D] = -[\bar{Y}_{LE}][\bar{Y}_{EE}]^{-1} \qquad (11)$$

Snage čvorova L+1 do M (sl. 1.c) izazivaju tokove snaga u mreži B, zbog kojih nastaju određeni gubici. Premještanjem tih snaga u čvorove 1 do L (sl. 1.d i e) gubici će imati novu vrijednost, što dovodi do stanovite neminovne greške u postupku.



Sl. 1.

2. DIJAKOPTIKA

Primjena dijakoptike jedan je od načina da se provede račun tokova snaga i napona na premalom računalu. U ovoj metodi sistem se podijeli na nekoliko djelova, podsistema. U računu se koriste matrice vlastitih i međusobnih impedancija, odnosno admitancija čvora podsistema, što smanjuje potrebnu memoriju računala i skraćuje vrijeme računanja.

Neka svaki podsistem ima svoj referentni čvor. Cijeli sistem numeriramo tako da izostavimo referentne čvorove. Označit ćemo:

$\bar{V}_\alpha$ = napon čvora prema referentnom čvoru podsistema u kojem se čvor nalazi.

$\bar{I}_\alpha$ = struja čvora.

$\bar{E}_\alpha$ = napon čvora α prema nuli sistema.

$\bar{v}_\beta$ = napon grane koja povezuje dva podsistema.

$\bar{i}_\beta$ = struja grane koja povezuje dva podsistema.

$\hat{\gamma}$ = referentni čvor podsistema koji je ujedno i referentni čvor cijelog sistema.

γ = referentni čvor podsistema koji nije ujedno i referentni čvor cijelog sistema.

$[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]$ = blok matrica sistema sastavljena od matrica vlastitih i međusobnih impedancija čvora podsistema.

$[C_{\alpha\beta}]$ = matrica incidencija čvor — povezna grana. $C_{\alpha\beta}=1$ kada struja povezne grane β ulazi u čvor α. $C_{\alpha\beta}=-1$ kada struja povezne grane β izlazi iz čvora α. $C_{\alpha\beta}=0$ kada čvor α nije incidentan sa poveznom granom β.

$[C_{\beta\alpha}]$ = $[C_{\alpha\beta}]^t$.

$[\bar{z}_{\beta\beta}]$ = matrica vlastitih i međusobnih impedancija grane poveznih grana.

$[\bar{E}^{\hat{}}_{\gamma}]$ = stupčani vektor napona referentnih čvorova pojedinih podsistema prema nuli sistema, koji uključuje i napon referentnog čvora cijelog sistema.

$[\bar{E}_{\gamma}]$ = stupčani vektor napona referentnih čvorova pojedinih podsistema koji ne uključuje i napon referentnog čvora cijelog sistema.

$\bar{E}_{\gamma}$ = napon referentnog čvora γ prema nuli sistema.

$\bar{E}^{\hat{}}_{\gamma}$ = napon referentnog čvora $\hat{\gamma}$ prema nuli sistema.

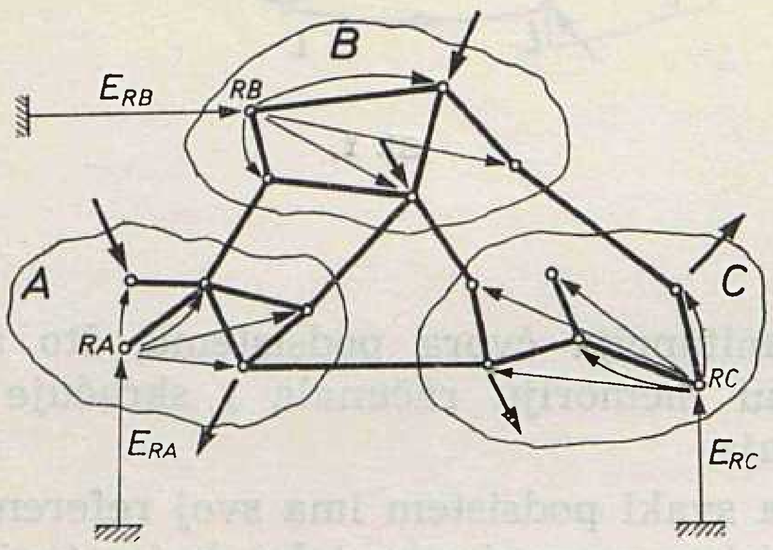
$\bar{I}_{\gamma}$ = ukupna struja koja preko poveznih grana teče iz jednog podsistema u drugi.

$[C_{\gamma\beta}]$ = matrica incidencija podsistem — povezna grana koja ne uključuje podsistem u kojem je čvor $\hat{\gamma}$. $C_{\gamma\beta}=1$ kada struja povezne grane β ulazi u podsistem γ. $C_{\gamma\beta}=-1$ kada struja povezne grane izlazi iz podsistema $\gamma \cdot C_{\gamma\beta}=0$ kada podsistem nije incidentan sa granom β.

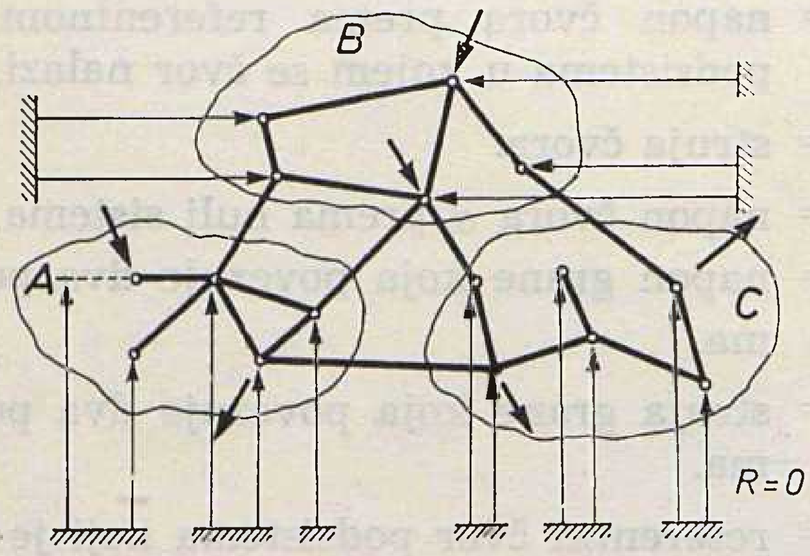
$[C_{\beta\gamma}]$ = $[C_{\beta\gamma}]^t$.

$[\hat{C}_{\beta\gamma}]$ = matrica incidencija podsistem — povezna grana koja uključuje podsistem u kojemu je čvor $\hat{\gamma}$.

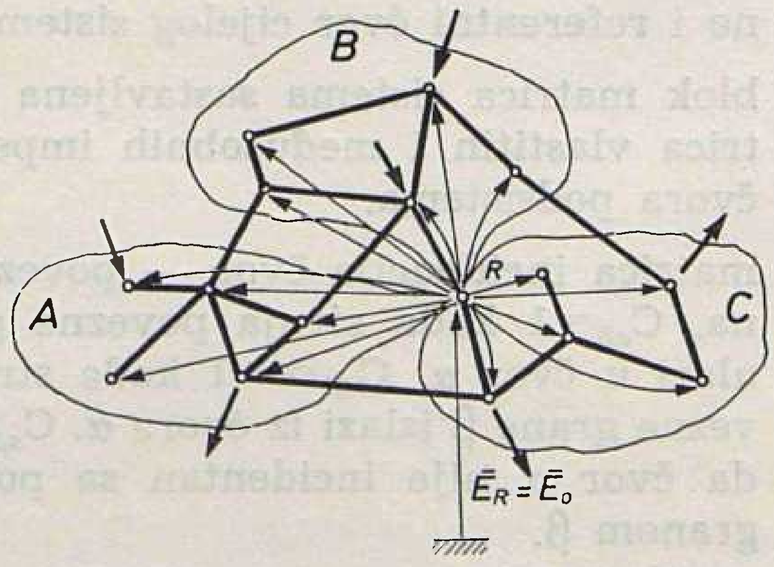
$[C_{\beta\hat{\gamma}}]$ = stupčani vektor incidencija povezne grane — podsistem $\hat{\gamma}$.



Sl. 2.a



Sl. 2.b



Sl. 2.c

Na sl. 2. pokazan je primjer sistema koji je podijeljen na tri podsistema: A, B i C.

Za sistem podijeljen na podsisteme možemo prema sl. 2.a napisati 4 matrične jednadžbe:

$$[\bar{V}_{\alpha}] = [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]([\bar{I}_{\alpha}] + [C_{\alpha\beta}][\bar{i}_{\beta}]) \tag{12}$$

$$[\bar{C}_{\beta\alpha}][\bar{V}_{\alpha}] + [\bar{z}_{\beta\beta}][\bar{i}_{\beta}] + [\hat{C}_{\beta\gamma}][\hat{E}_{\gamma}] = [0] \tag{13}$$

$$[C_{\gamma\beta}][\bar{i}_{\beta}] = [\bar{I}_{\gamma}] \tag{14}$$

$$[\bar{E}_{\alpha}] = [\bar{V}_{\alpha}] + [\bar{E}_{\gamma}] \tag{15}$$

Matrična jednadžba (12) opisuje svaki podsistem posebno. Za svaki podsistem dana je veza između napona čvora i struje čvora preko matrice impedancija čvora. Napisano je onoliko jednadžbi koliko sistem ima čvorova izuzevši referentne čvorove.

Matrična jednadžba (13) opisuje vezu među podsistemima i nulom sistema preko petlji u kojima se nalazi po jedna povezna grana. Napisano je onoliko jednadžbi koliko ima poveznih grana.

Matrična jednadžba (14) opisuje tokove struja koje iz jednog sistema teku u drugi sistem. Napisano je onoliko jednadžbi koliko ima podsistema manje jedan.

Matrična jednadžba (15) opisuje računanje stvarnih napona, tj. napona prema nuli sistema kao zbroja napona čvora i napona referentnog čvora dotičnog podsistema.

Uvrstimo jednadžbu (12) u (13) i uvedimo da je:

$$[\bar{Y}'_{\beta\beta}] = ([C_{\beta\alpha}][\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][C_{\alpha\beta}] + [\bar{Z}_{\beta\beta}])^{-1} \tag{16}$$

pa ćemo dobiti

$$[\bar{i}_{\beta}] = -[\bar{Y}'_{\beta\beta}]([\hat{C}_{\beta\gamma}][\hat{\bar{E}}_{\gamma}] + [\bar{C}_{\beta\alpha}][\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][\bar{I}_{\alpha}]) \tag{17}$$

Ovu jednadžbu uvrsti u (14)

$$-[C_{\gamma\beta}][\bar{Y}'_{\beta\beta}]([\hat{C}_{\beta\gamma}][\hat{\bar{E}}_{\gamma}] + [C_{\beta\alpha}][\bar{Z}'_{\gamma\alpha}][\bar{I}_{\alpha}]) = [\bar{I}_{\gamma}]$$

Kako je

$$[\hat{C}_{\gamma\beta}][\hat{\bar{E}}_{\gamma}] = [C_{\beta\hat{\gamma}}]\bar{E}^{\hat{}}_{\gamma} + [C_{\beta\gamma}][\bar{E}_{\gamma}]$$

to gornja jednadžba prelazi u:

$$[C_{\gamma\beta}][\bar{Y}'_{\beta\beta}][C_{\beta\hat{\gamma}}]\bar{E}^{\hat{}}_{\gamma} + [C_{\gamma\beta}][\bar{Y}'_{\beta\beta}][C_{\beta\gamma}][\bar{E}_{\gamma}] +$$

$$+ [C_{\gamma\beta}][\bar{Y}'_{\beta\beta}][C_{\beta\alpha}][\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][\bar{I}_{\alpha}] = [0] \tag{18}$$

Uvedimo da je:

$$[\bar{Z}_{\gamma\gamma}]^{-1} = [C_{\gamma\beta}]\,[\bar{Y}'_{\beta\beta}]\,[C_{\beta\gamma}] \tag{19}$$

i uvrstimo u (18). Nakon sređivanja bit će:

$$[\bar{E}_\gamma] = -[\bar{Z}_{\gamma\gamma}]\,[\bar{I}_\gamma] + [C_{\gamma\beta}]\,[\bar{Y}'_{\beta\beta}]\,[C_{\beta\hat{\gamma}}]\,\bar{E}_{\hat{\gamma}} + \\ + [C_{\gamma\beta}]\,[\bar{Y}'_{\beta\beta}]\,C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[\bar{I}_\alpha] \tag{20}$$

Sada imamo sve elemente za proračun redom: $[\bar{I}_\beta]$, $[\bar{V}_\alpha]$ i na kraju $[\bar{E}_\alpha]$.

Postupak je sličan kada je referentni čvor nula sistema (sl. 2.b). Jednadžbe (14) i (15) nisu potrebne, a jednadžbe (12) i (13) prelaze u:

$$[\bar{E}_\alpha] = [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,([\bar{I}_\alpha] + [C_{\alpha\beta}]\,[\bar{i}_\beta]) \tag{21}$$

$$[C_{\beta\alpha}]\,[\bar{E}_\alpha] + [\bar{z}_{\beta\beta}]\,[\bar{i}_\beta] + [0] \tag{22}$$

Matrična jednadžba (21) opisuje svaki podsistem posebno. Za svaki podsistem dana je veza između napona čvora i struje čvora preko matrice impedancija čvora. Napisano je onoliko jednadžbi koliko sistem ima čvorova.

Druga matrična jednadžba opisuje petlje koje se zatvaraju kroz nulu sistema, podsisteme i povezne grane. Ima onoliko jednadžbi koliko ima poveznih grana.

Uvrstimo jednadžbu (21) u (22):

$$[C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[\bar{I}_\alpha] + [C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[C_{\alpha\beta}]\,[\bar{i}_\beta]\,[\bar{Z}_{\beta\beta}]\,[\bar{i}_\beta] = [0]$$

$$[C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[\bar{I}_\alpha] + ([C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[C_{\alpha\beta}] + [\bar{z}_{\beta\beta}])\,[\bar{i}_\beta] = [0]$$

Uvedimo:

$$[\bar{Z}'_{\beta\beta}] = ([C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[C_{\alpha\beta}] + [\bar{z}_{\beta\beta}]) \tag{23}$$

$$[\bar{Z}'_{\beta\beta}]^{-1} = [\bar{Y}'_\beta] \tag{24}$$

pa jednadžbu (22) možemo pisati:

$$[C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[\bar{I}_\alpha] + [\bar{Z}'_{\beta\beta}]\,[\bar{i}_\beta] = [0] \tag{24}$$

i odavle:

$$[\bar{i}_\beta] = -[\bar{Y}'_{\beta\beta}]\,[C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[\bar{I}_\alpha] \tag{25}$$

Sada imamo sve elemente za proračun redom vektora $[\bar{I}_\beta]$ i zatim vektora $[\bar{E}_\alpha]$.

Interesantno je još razmotriti slučaj kada referentni čvor nije nula sistema, ali je zajednički čvor svim podsistemima (sl. 2.c). Tada je:

$$\bar{E}^A_\gamma = \bar{E}^B_\gamma = \ldots = \bar{E}_{\hat{\gamma}} = \bar{E}_0 \tag{26}$$

$$[\hat{C}_{\beta\gamma}]\,[\hat{\bar{E}}_\gamma] = [0] \tag{27}$$

pa jednadžbe (12), 13), (14) i (15) prelaze u

$$[\bar{V}_\alpha] = [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,([\bar{I}_\alpha] + [C_{\alpha\beta}]\,[\bar{i}_\beta]) \tag{28}$$

$$[C_{\alpha\beta}]\,[\bar{V}_\alpha] + [\bar{z}_{\beta\beta}]\,[\bar{i}] = [0] \tag{29}$$

$$[\bar{E}_\alpha] = [\bar{V}_\alpha] + [\bar{E}_0] \tag{30}$$

Matrična jednadžba (28) opisuje svaki podsistem posebno. Za svaki podsistem dana je veza između napona čvora i struje čvora preko matrice impedancije čvora. Napisano je onoliko jednadžbi koliko sistem ima čvorova izuzevši referentni čvor.

Matrična jednadžba (29) opisuje vezu među podsistemima preko petlji u kojima se nalazi po jedna povezna grana. Svaka petlja prolazi referentnim čvorom.

Matrična jednadžba (30) opisuje računanje stvarnih napona, tj. napone prema nuli sistema.

Uvrstimo jednadžbu (28) u (29) i koristimo se relacijom (16). Dobit ćemo:

$$[\bar{i}_\beta] = -[\bar{Y}'_{\beta\beta}]\,[C_{\beta\alpha}]\,[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]\,[\bar{I}_\alpha] \tag{31}$$

Sada imamo sve elemente za proračun redom

$$[\bar{i}_\beta],\ [\bar{V}_\alpha] \text{ i } [\bar{E}_\alpha].$$

Matrica $[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]$ je dijagonalna blok-matrica. Računanje te matrice je brže što je više podsistema, jer se tada u dijagonali nalazi veći broj matrica malih dimenzija. Kvalitativno ovu tvrdnju možemo pokazati na sl. 3.

Krivulja a daje ovisnost vremena računanja o veličini matrice. Računanje matrice podsistema počinje uvijek iz početka iako se numeracija čvorova nastavlja, pa se u tom momentu prelazi na krivulje b, c, itd. Pravac n predstavlja vrijeme računanja matrice $[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]$ za slučaj kada bi svaki pojedini čvor bio podsistem za sebe.

Vremenu za računanje matrice $[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]$, tj. t'_α treba dodati vrijeme za računanje matrice $[\bar{Y}'_{\beta\beta}]$ i množenje matrica prema izrazu (25). To vrijeme označimo s t'_β. Cijeli postupak se isplati ako je

$$t_\alpha > t'_\alpha + t'_\beta, \tag{32}$$

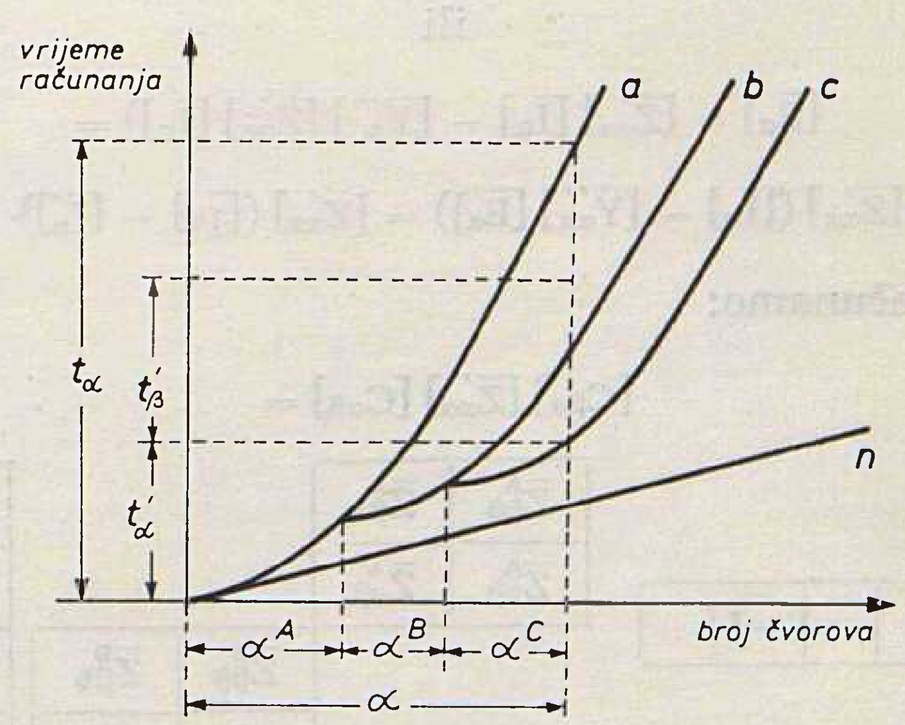
vrijeme za računanje matrice nepodijeljenog sistema $[\bar{Z}_{\alpha\alpha}]$ veće od računanja matrice $[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]$ i ostalog računanja što ga donosi dijakoptika. U računanju izraza (25) važna je i strategija množenja matrica.

Relacija (21) koristi matricu $[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]$. Možemo napisati algoritam koji koristi matricu $[\bar{Y}'_{\alpha\alpha}]$ tj. dijagonalnu blok-matricu vlastitih i međusobnih admitancija čvora.

Pomnožimo jednadžbu (21) s $[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]^{-1}$ i jednadžbu (22) s $[\bar{z}_{\beta\beta}]^{-1}$. Kako je:

$$[\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]^{-1} = [\bar{Y}'_{\alpha\alpha}] \tag{33}$$

$$[\bar{z}_{\beta\beta}]^{-1} = [\bar{y}_{\beta\beta}] \tag{34}$$



Sl. 3.

slijedi da je:

$$[\bar{i}_\beta] = -[\bar{Y}_{\beta\beta}][C_{\beta\alpha}][\bar{E}_\alpha] \tag{35}$$

$$[\bar{I}_\alpha] = [\bar{Y}'_{\alpha\alpha}][\bar{E}_\alpha] - [C_{\alpha\beta}][\bar{i}_\beta] \tag{36}$$

Uvrstimo izraz (35) u izraz (36):

$$[\bar{I}_\alpha] = ([C_{\alpha\beta}][\bar{Y}_{\beta\beta}][C_{\beta\alpha}] + [\bar{Y}'_{\alpha\alpha}])[\bar{E}_\alpha] \tag{37}$$

Također možemo napisati algoritam koji koristi matricu $[\bar{Y}'_{\alpha\alpha}]$, tj. dijagonalnu blok matricu vlastitih i međusobnih admitancija čvora, kada referentni čvor mreže nije nula sistema, ali je zajednički svim podsistemima. Koristimo se relacijom (33) i (34). Slijedi da je:

$$[\bar{I}_\alpha] = [\bar{Y}'_{\alpha\alpha}][\bar{V}_\alpha] - [C_{\alpha\beta}][\bar{i}_\beta] \tag{38}$$

$$[\bar{i}_\beta] = -[\bar{z}_{\beta\beta}]^{-1}[C_{\beta\alpha}][\bar{V}_\alpha] \tag{39}$$

Cijeli prethodni račun izveden je pod pretpostavkom da su poznate struje, što u praksi nije slučaj. Poznate su snage, sistem jednadžbi (12) do (15), (21) i (22), odnosno (28) do (30) je nelinearan i treba ga riješiti nekim iterativnim postupkom. To ćemo pokazati na primjeru podjele sistema na dva podsistema.

Sistem podijeljen na dva podsistema

Sistem podijelimo na dva podsistema A i B. Numerirajmo cijelu mrežu tako da najprije dođu čvorovi podsistema A s kojima su incidentne povezne grane β, a zatim ostali čvorovi podsistema A. Slijede čvorovi podsistema B incidentni s poveznim granama β, a onda ostali. Povezne grane orijentiramo od podsistema B prema podsistemu A. Matrica incidencija grana — čvor imat će slijedeći oblik:

$$[C_{\beta\alpha}] = \begin{array}{c} \\ \beta \end{array} \begin{array}{c|c|c|c} \beta & a & \beta & b \\ \hline J & & -J & \end{array} \tag{40}$$

Ako izraz (25) uvrstimo u (21), dobit ćemo:

$$[\bar{E}_\alpha] = [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]([\bar{I}_\alpha] - [C_{\alpha\beta}][\bar{Y}'_{\beta\beta}][C_{\beta\alpha}][\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][\bar{I}_\alpha]) \tag{41}$$

ili

$$[\bar{E}_\alpha] = [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][\bar{I}_\alpha] - [\bar{Y}''_{\alpha\alpha}][\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][\bar{I}_\alpha]) =$$

$$= [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]([\bar{I}_\alpha] - [\bar{Y}''_{\alpha\alpha}][\bar{E}'_\alpha]) = [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}]([\bar{I}_\alpha] - [\bar{I}'_\alpha]) \tag{42}$$

Računamo:

$$[C_{\beta\alpha}][\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][C_{\alpha\beta}] =$$

$$= \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & & \\ \hline & & & \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \bar{Z}^A_{\beta\beta} & \bar{Z}^A_{\beta a} \\ \hline \bar{Z}^A_{a\beta} & \bar{Z}^A_{aa} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \bar{Z}^B_{\beta\beta} & \bar{Z}^B_{\beta b} \\ \hline \bar{Z}^B_{b\beta} & \bar{Z}^B_{bb} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline J \\ \hline \\ \hline -J \\ \hline \\ \hline \end{array} =$$

$$= \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & & \\ \hline & & & \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \bar{Z}^A_{\beta\beta} & \bar{Z}^A_{\beta a} \\ \hline \bar{Z}^A_{a\beta} & \bar{Z}^A_{aa} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \bar{Z}^B_{\beta\beta} & \bar{Z}^B_{\beta b} \\ \hline \bar{Z}^B_{b\beta} & \bar{Z}^B_{bb} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline J \\ \hline \\ \hline -J \\ \hline \\ \hline \end{array} =$$

$$= \begin{array}{|c|} \hline \bar{Z}^A_{\beta\beta} - \bar{Z}^B_{\beta\beta} \\ \hline \end{array} \tag{43}$$

$$[\bar{Y}'_{\beta\beta}] = ([\bar{Z}^A_{\beta\beta}] - [\bar{Z}^B_{\beta\beta}] - [\bar{z}_{\beta\beta})]^{-1} =$$

$$= \begin{array}{|c|} \hline \bar{Z}^A_{\beta\beta} - \bar{Z}^B_{\beta\beta} + \bar{z}_{\beta\beta} \\ \hline \end{array}^{-1} \tag{44}$$

$$[\bar{Y}''_{\alpha\alpha}] = [C_{\alpha\beta}][\bar{Y}'_{\beta\beta}][C_{\beta\alpha}] =$$

$$= \begin{array}{|c|} \hline J \\ \hline \\ \hline -J \\ \hline \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \bar{Y}'_{\beta\beta} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline J & & -J & \\ \hline \end{array} =$$

$$= \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \bar{Y}'_{\beta\beta} & & -\bar{Y}'_{\beta\beta} & \\ \hline & & & \\ \hline -\bar{Y}'_{\beta\beta} & & \bar{Y}'_{\beta\beta} & \\ \hline & & & \\ \hline \end{array} \tag{45}$$

$$[\bar{E}'_\alpha] = [\bar{Z}'_{\alpha\alpha}][\bar{I}_\alpha] = \begin{array}{|c|} \hline \bar{Z}^A_{\beta\beta}\,\bar{I}^A_\beta + \bar{Z}^A_{\beta a}\,\bar{I}^A_a \\ \hline \bar{Z}^A_{a\beta}\,\bar{I}^A_\beta + \bar{Z}^A_{aa}\,\bar{I}^A_a \\ \hline \bar{Z}^B_{\beta\beta}\,\bar{I}^B_\beta + \bar{Z}^B_{\beta b}\,\bar{I}^B_b \\ \hline \bar{Z}^B_{b\beta}\,\bar{I}^B_\beta + \bar{Z}^B_{bb}\,\bar{I}^B_b \\ \hline \end{array} \tag{46}$$

$$[\bar{I}'_\alpha] = [\bar{Y}''_{\alpha\alpha}][\bar{E}'_\alpha] = \begin{array}{|c|} \hline \bar{Y}'_{\beta\beta}(\bar{Z}^A_{\beta\alpha}\,\bar{I}^A_\alpha + \bar{Z}^B_{\beta\alpha}\,\bar{I}^B_\alpha) \\ \hline \\ \hline -\bar{Y}'_{\beta\beta}(\bar{Z}^A_{\beta\alpha}\,\bar{I}^A_\alpha - \bar{Z}^B_{\beta\alpha}\,\bar{I}^B_x) \\ \hline \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \bar{I}'_\beta \\ \hline \\ \hline -\bar{I}'_\beta \\ \hline \\ \hline \end{array} \tag{47}$$

Sada možemo izračunati:

$$\begin{array}{|c|} \hline \bar{I}_\alpha - \bar{I}'_\alpha \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \bar{I}^A_\beta \\ \hline \bar{I}^A_a \\ \hline \bar{I}^B_\beta \\ \hline \bar{I}^B_b \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \bar{I}'_\beta \\ \hline \\ \hline -\bar{I}'_\beta \\ \hline \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \bar{I}^A_\beta - \bar{I}'_\beta \\ \hline \bar{I}^A_a \\ \hline \bar{I}^B_\beta + \bar{I}'_\beta \\ \hline \bar{I}^B_b \\ \hline \end{array} \tag{48}$$

Jednadžbe (42) možemo napisati:

$$[\bar{E}^A_\beta] = [\bar{Z}^A_{\beta\beta}]([\bar{I}^A_\beta] - [\bar{I}'_\beta]) + [\bar{Z}^A_{\beta a}][\bar{I}^A_a] \tag{49a}$$

$$[\bar{E}^A_a] = [\bar{Z}^A_{a\beta}]([\bar{I}^A_\beta] - [\bar{I}'_\beta]) + [\bar{Z}^A_{aa}][\bar{I}^A_a] \tag{b}$$

$$[\bar{E}^B_\beta] = [\bar{Z}^B_{\beta\beta}]([\bar{I}^B_\beta] + [\bar{I}'_\beta]) + [\bar{Z}^B_{\beta b}][\bar{I}^B_b] \tag{c}$$

$$[\bar{E}^B_a] = [\bar{Z}^B_{b\beta}]([\bar{I}^B_\beta] + [\bar{I}'_\beta]) + [\bar{Z}^B_{bb}][\bar{I}^B_b] \tag{d}$$

Prelazimo sa struja na snage. Struje na desnoj strani jednadžbi (49a), (b,) (c) i (d) izrazit ćemo snagama i naponima.

Pri tome je:

$$[\bar{I}'_\beta] = [\bar{Y}'_{\beta\beta}]\left([\bar{Z}^A_{\beta\alpha}]\left[\frac{P^A_\alpha - j\,Q^A_\alpha}{\bar{E}^{A\star}_\alpha}\right] - [\bar{Z}^B_{\beta\alpha}]\left[\frac{P^B_\alpha - j\,Q^B_\alpha}{\bar{E}^{B\star}_\alpha}\right]\right) \quad (50)$$

$$[\bar{I}^A_\beta] = \left[\frac{P^A_\beta - j\,Q^A_\beta}{\bar{E}^{A\star}_\beta}\right] \quad (51a)$$

$$[\bar{I}^A_a] = \left[\frac{P^A_a - j\,Q^A_a}{\bar{E}^{A\star}_a}\right] \quad (b)$$

$$[\bar{I}^B_\beta] = \left[\frac{P^B_\beta - j\,Q^B_\beta}{\bar{E}^{B\star}_\beta}\right] \quad (c)$$

$$[\bar{I}^B_b] = \left[\frac{P^B_b - j\,Q^B_b}{\bar{E}^{B\star}_b}\right] \quad (d)$$

Za čvor regulacione elektrane poznat je napon, a nije poznata snaga. Struju čvora regulacione elektrane računamo kao sumu struja kroz grane incidentne s ovim čvorom. Struje grana dobiju se iz razlike čvrstog napona regulacione elektrane i napona $(k-1)$-ve iteracije na drugom kraju grane.

Problem uključenja u račun čvrstog napona regulacione elektrane ne postoji ako referentni čvor nije nula sistema. U tom slučaju: treba uključiti u struje čvora još i struje poprečnih grana, jer te grane nisu obuhvaćene matricom vlastitih i međusobnih impedancija mreže.

Slijedi neki postupak za rješavanje nelinearnih jednadžbi iterativnim putem.

Istražit ćemo sada primjenu relacije (37) na sistem podijeljen na dva dijela, odnosno podsistema A i B. Opet ćemo podsisteme numerirati kao u prethodnom slučaju. Zato je:

$$\begin{vmatrix} J \\ \hline -J \\ \hline \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{Y}_{\beta\beta} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} J \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -J \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{Y}_{\beta\beta} & & -\bar{Y}_{\beta\beta} & \\ \hline & & & \\ \hline -\bar{Y}_{\beta\beta} & & -\bar{Y}_{\beta\beta} & \\ \hline & & & \end{vmatrix} \quad (52)$$

što uvršteno u (37) daje:

$$\begin{vmatrix} \bar{I}^A_\beta \\ \hline \bar{I}^A_a \\ \hline \bar{I}^B_\beta \\ \hline \bar{I}^B_b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{Y}_{\beta\beta} & & -\bar{Y}_{\beta\beta} & \\ \hline & & & \\ \hline -\bar{Y}_{\beta\beta} & & \bar{Y}_{\beta\beta} & \\ \hline & & & \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{E}^A_\beta \\ \hline \bar{E}^A_a \\ \hline \bar{E}^B_\beta \\ \hline \bar{E}^B_b \end{vmatrix} +$$

$$+ \left|\begin{array}{c|c} \bar{Y}^A_{\beta\beta} & \bar{Y}^A_{\beta a} \\ \hline \bar{Y}^A_{a\beta} & \bar{Y}^A_{aa} \end{array}\right| \left|\begin{array}{c|c} \bar{Y}^B_{\beta\beta} & \bar{Y}^B_{\beta b} \\ \hline \bar{Y}^B_{b\beta} & \bar{Y}^B_{bb} \end{array}\right| \left|\begin{array}{c} \bar{E}^A_\beta \\ \hline \bar{E}^A_a \\ \hline \bar{E}^B_\beta \\ \hline \bar{E}^B_b \end{array}\right| \quad (53)$$

Iz matrične jednadžbe (53) možemo ispisati ove matrične jednadžbe:

$$[\bar{I}^A_\beta] = [\bar{Y}^A_{\beta\beta}][\bar{E}^A_\beta] + [\bar{Y}_{\beta a}][\bar{E}^A_a] + [\bar{y}_{\beta\beta}][\bar{E}^A_\beta - \bar{E}^B_\beta] \quad (54a)$$

$$[\bar{I}^A_a] = [\bar{Y}^A_{a\beta}][\bar{E}^A_\beta] + [\bar{Y}^A_{aa}][\bar{E}^A_a] \quad (b)$$

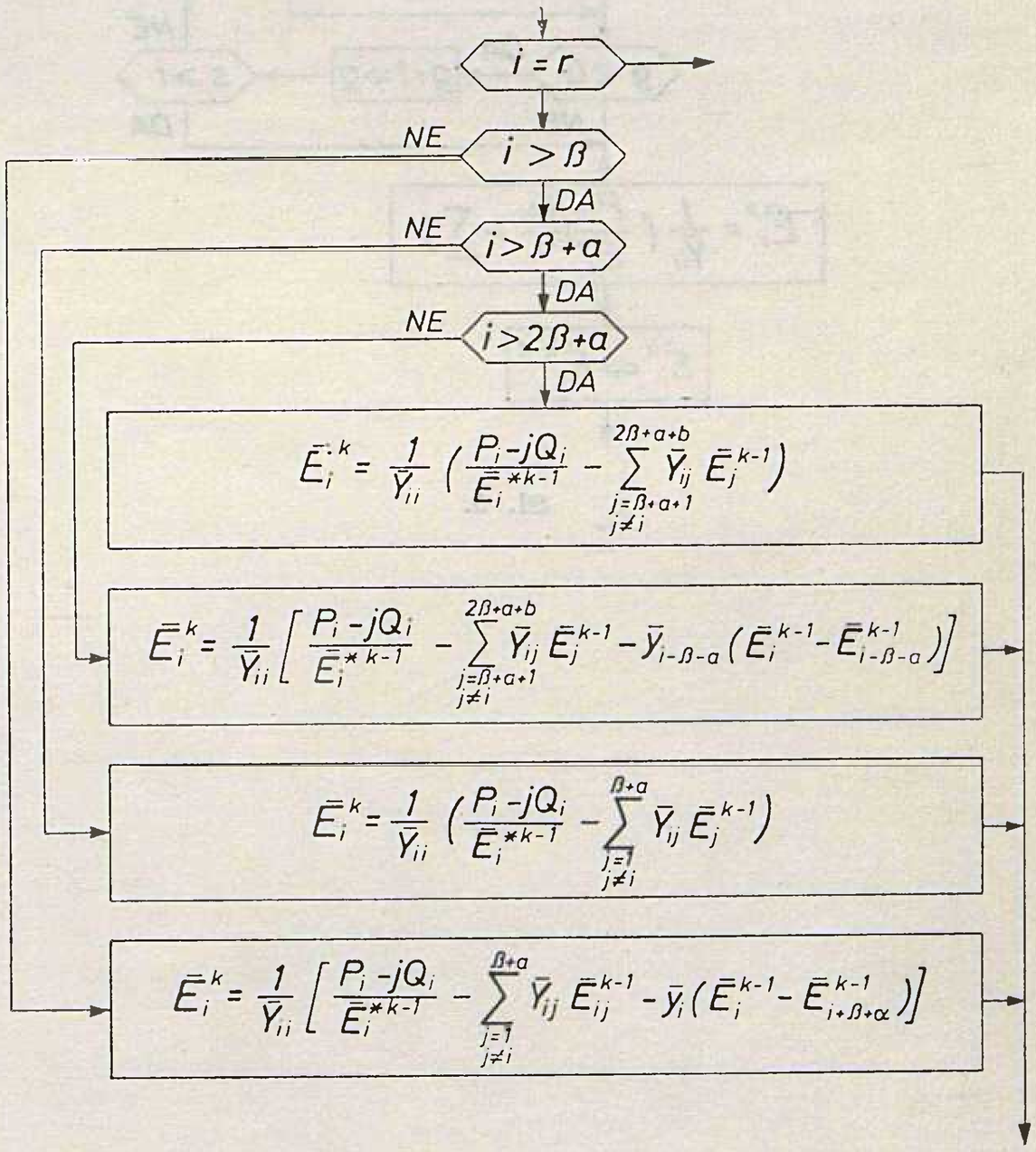
$$[\bar{I}^B_\beta] = [\bar{Y}^B_{\beta\beta}][\bar{E}^B_\beta] + [\bar{Y}^B_{\beta b}][\bar{E}^B_b] + [\bar{y}_{\beta\beta}][\bar{E}^B_\beta - \bar{E}^B_\beta] \quad (c)$$

$$[\bar{I}^B_b] = [\bar{Y}^B_{bb}][\bar{E}^B_\beta] + [\bar{Y}^B_{bb}][\bar{E}^B_b] \quad (d)$$

Matrične jednadžbe (54a), (b), (c) i (d) opisuju sistem podijeljen na dva dijela. Dovoljno je poznavati matricu vlastitih i međusobnih admitancija svakog sistema posebno i admitancije poveznih grana.

Složenost algoritma je cijena za smanjenje potrebnog vremena i prostora za matrice. Na što je više podsistema sistem podijeljen, to je algoritam složeniji.

Na sl. 4. pokazan je izvadak iz dijagrama toka kod podjele sistema na samo dva dijela prema relacijama (54a), (b), (c) i (d). Primijenjena je Gaussova iterativna metoda koja koristi matricu vlastitih i međusobnih admitancija čvora uz referentni čvor nula sistema. Napominjemo da je to najprimitivniji algoritam i da složenost programa raste progresivno s dodatnim zahtjevima.



Sl. 4.

3. ALGORITAM BEZ PRETHODNOG RAČUNANJA MATRICE MREŽE

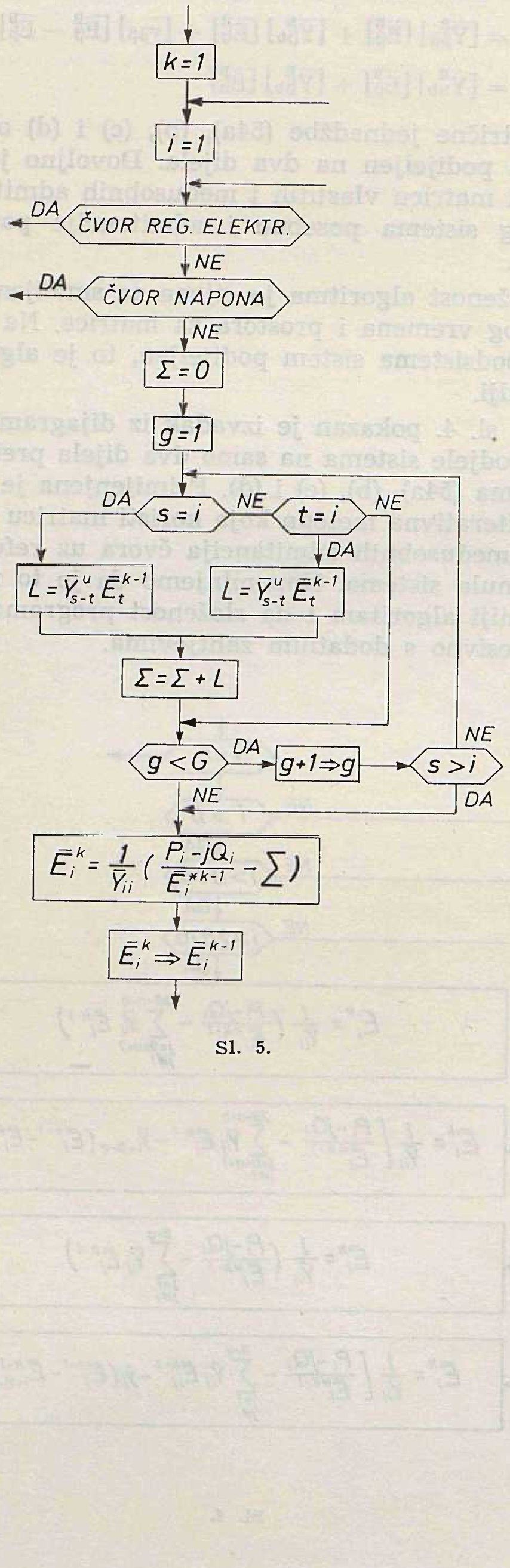
Matrica vlastitih i međusobnih admitancija čvora, tj. matrica $[\bar{Y}]$ je simetrična matrica puna nula i formira se vrlo jednostavno iz liste admitancija grana. Dijagonalni član ove matrice $\bar{Y}_{ii}$ jednostavno je zbroj admitancija svih grana koje su incidentne s čvorom i, a vandijagonalni član $\bar{Y}_{ij}$ jednak je negativnom zbroju admitancija grana koje povezuju čvorove i i j. Ta osobina matrice $[\bar{Y}]$ omogućuje da se koeficijent simultanih jednadžbi, zapravo članovi matrice $[\bar{Y}]$, računaju uvijek ponovno, tj. otpada prethodno računanje koeficijenata i njihovo spremanje u vidu članova matrice.

U računski stroj se učitavaju podaci o svakom elementu mreže iz kojih se onda izračuna uzdužna admitancija $\bar{Y}^u_{s-t}$ i poprečna admitancija $\bar{Y}^h_{s-t}$. Nakon toga računa se π-shema vodova i transformatora.

Uzdužne admitancije se sređuju po s uz uvjet da je s manje od t. Sortiranje se isplati jer je vrijeme potrebno da se nađe određena admitancija svedeno tada na polovicu.

Praktično je također unaprijed izračunati listu vlastitih admitancija svakog čvora.

Na sl. 5. nacrtan je izvadak iz dijagrama toka koji se koristi ovom metodom. Primijenjena je Gauss-Seidelova iterativna metoda.



Sl. 5.

4. ZAKLJUČAK

Iz rečenog je lako uočiti da je metoda iznesena u točki 3. najbolja kada se radi o klasičnom računu tokova snaga i napona. U ovoj metodi bilo koji zahvat u mreži, uključujući i regulaciju transformatora, ne predstavlja problem, jer se račun izvodi gotovo s ulaznim podacima.

Metoda opisana pod točkom 3. ne isključuje korištenje dijakoptike i obrnuto. Potrebno je samo odabrati jedan od modela dijakoptike koji koristi matricu vlastitih i međusobnih admitancija čvora. Najprikladnija je metoda sa zajedničkim referentnim čvorom za sve podsisteme.

LITERATURA

1. Despotović, S. T., Savremene metode u rešavanju problema elektroenergetskih sistema, ZJE, Beograd, 1968.
2. Despotović, S. T., Optimizacija raspodele snaga u elektroenergetskim sistemima, ZJE, Beograd, 1972.
3. Schultheiss F., Wessnigk K.-D., Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze, Band II, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1971.

Naslov pisca:

Dr Marija Ožegović, dipl ing.
Fakultet za elektrotehniku, strojarstvo i brodogradnju, Split.

RAZVOJ POSTROJENJA NA NUKLEARNI POGON

Rajka Budin, Zagreb

Prikazan je kronološki razvoj termodinamičkih ciklusa što se primjenjuju u nuklearnim elektranama (Papinov, Stirlingov, Jouleov, itd.)
Zatim je dan pregled s opisom osnovnih toplinskih procesa u nuklearnim elektranama i s tim u vezi osnovnih tipova postrojenja.

DK 621.039

1. UVOD

Energetska kriza, uvjetovana iscrpljenjem primarnih izvora, očekivana je već dulje vrijeme, a njen današnji opseg uvjetovao je privredne probleme na svim poljima. Godišnja svjetska potrošnja elektroenergije iznosi oko 2 000 kWh po stanovniku, no potrebe se udvostručuju svakih 11 godina. Uz eksponencijalni porast potrošnje zalihe fosilnih goriva se smanjuju progresivno, te bi npr. rezerve nafte mogle trajati još oko 20 godina. Ta situacija zahtijeva istraživanja novih izvora od kojih se najčešće spominju energija vjetra, plime i oseke, sunčana, geotermalna i nuklearna. Od navedenih u ovom je času najintenzivnija orijentacija na nuklearne izvore, tj. na nuklearne centrale, kao optimalno rješenje problema opskrbe energijom.

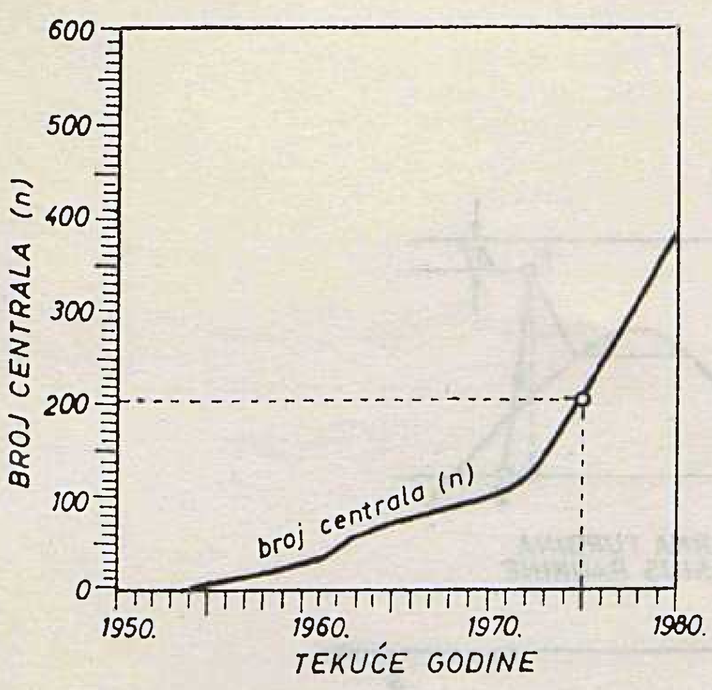
2. NUKLEARNA ENERGIJA U SVJETSKOJ ENERGETICI

Prema statističkim podacima International Atomic Energy Agency (IAEA) porast broja nuklearnih centrala slijedi približno kvadratni zakon. Dok su 1954. god. bile svega dvije centrale, danas je taj broj porastao na oko 200. Radi ilustracije postojećeg stanja prikazan je (sl. 1 i 2) broj i instalirani kapacitet nuklearnih centrala od samog početka do danas, uključujući i perspektivni razvojni plan. Ukupni instalirani kapacitet prvih dviju centrala »Obninsk« (5MW$_e$-SSSR) i »EBWR« (2,5MW$_e$-USA) bio je svega 7,5 MW$_e$, no u razdoblju od dvadeset godina porastao je za oko 13 000 puta, tj. na oko 93 000 MW$_e$. Iako broj atomskih centrala raste uglavnom po kvadratnom zakonu, proizvodnja elektroenergije iz nuklearnih izvora još je uvijek malena u usporedbi s ukupnom svjetskom produkcijom (sl. 3). Postotak udjela u ovom času nije velik, no trend porasta je vrlo brz pa se očekuje da će dostići 50% do 2000. godine.

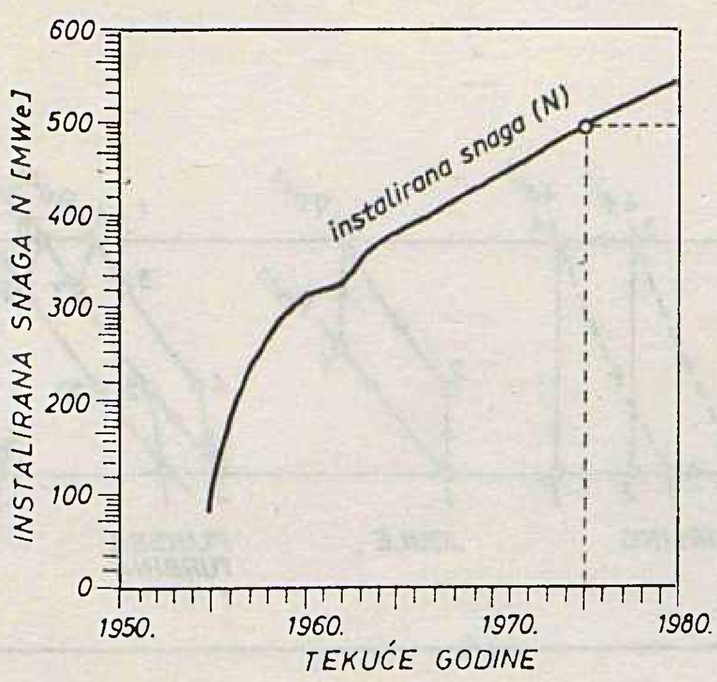
Postojeća postrojenja, prema instaliranom kapacitetu, javljaju se u ovim varijacijama:

velike nuklearne centrale — predviđene isključivo za rad u području temeljnog opterećenja,

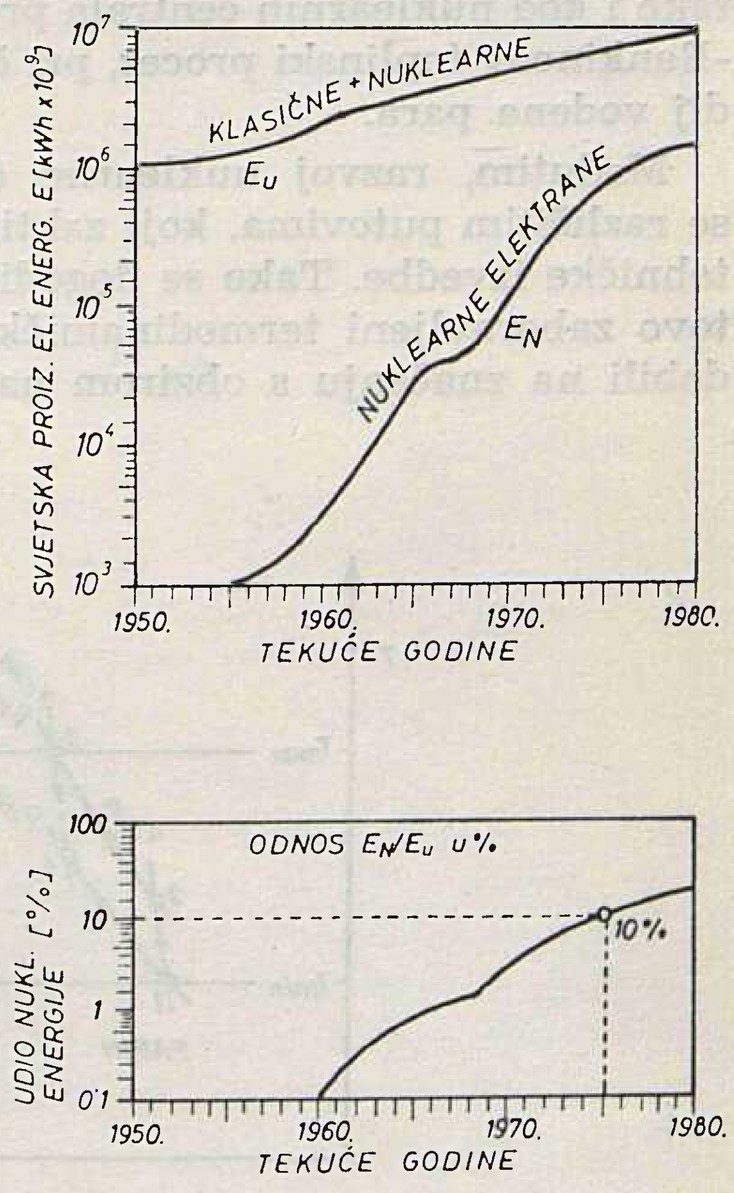
srednje i male centrale — rade i u donjem dijelu varijabilnog područja,



Sl. 1. Broj nuklearnih elektrana u svijetu



Sl. 2. Instalirana snaga nuklearnih elektrana u svijetu



Sl. 3. Svjetska proizvodnja elektroenergije

eksperimentalni tipovi — nemaju komercijalno značenje, a snage im se kreću ispod 10 MW_e. Nakon završenog programa ispitivanja one se zatvaraju.

U današnje vrijeme najveće značenje imaju postrojenja velikih snaga. Tako svjetski razvojni plan do 1985. god. predviđa izgradnju 123 nuklearne centrale, od kojih će preko polovine (56%) biti sa snagom iznad 1 000 MW_e. Uz proizvodnju elektroenergije postoji i mogućnost korištenja nuklearnog goriva u ostale svrhe, od kojih se najčešće spominju propulzija brodova, grijanje i klimatizacija industrijskih i stambenih objekata, desalinizacija i kemijski procesi. Na taj način primjena nuklearne energije prodire i u ostala područja dobivajući time sve veće značenje.

3. NUKLEARNA POSTROJENJA I TERMODINAMIČKI CIKLUSI

Sa stajališta tehničke izvedbe nuklearne i klasične centrale se razlikuju u načinu dovoda topline. U klasičnoj elektrani toplina se dovodi izgaranjem fosilnog goriva u kotlu. Kod nuklearnih centrala kotao je zamijenjen reaktorom, gdje se toplina oslobađa iz nuklearnog goriva kontroliranom lančanom reakcijom. Nadalje, atomsko postrojenje zahtijeva i posredni radni medij za prijenos topline koja se stvara u reaktoru na kotlove, koji generiraju paru. Taj tzv. rashladni medij s jedne strane hladi reaktor, a s druge grije kotao, tj. izmjenjivač topline. Sekundarni, turbinski dio postrojenja je u osnovi identičan u oba slučaja, pa je i termodinamički ciklus principijelno isti. Kako kod klasičnih, tako i kod nuklearnih centrala provodi se Clausius-Rankineov toplinski proces, pri čemu je radni medij vodena para.

Međutim, razvoj nuklearne energetike kretao se različitim putovima, koji zahtijevaju i drugačije tehničke izvedbe. Tako se dogodilo da su neki, gotovo zaboravljeni termodinamički ciklusi ponovno dobili na značenju s obzirom na tehnologiju koja je specifična isključivo za nuklearni pogon. Među tim neuobičajenim procesima treba posebno istaknuti Papinov, Stirlingov i Jouleov (sl. 4).

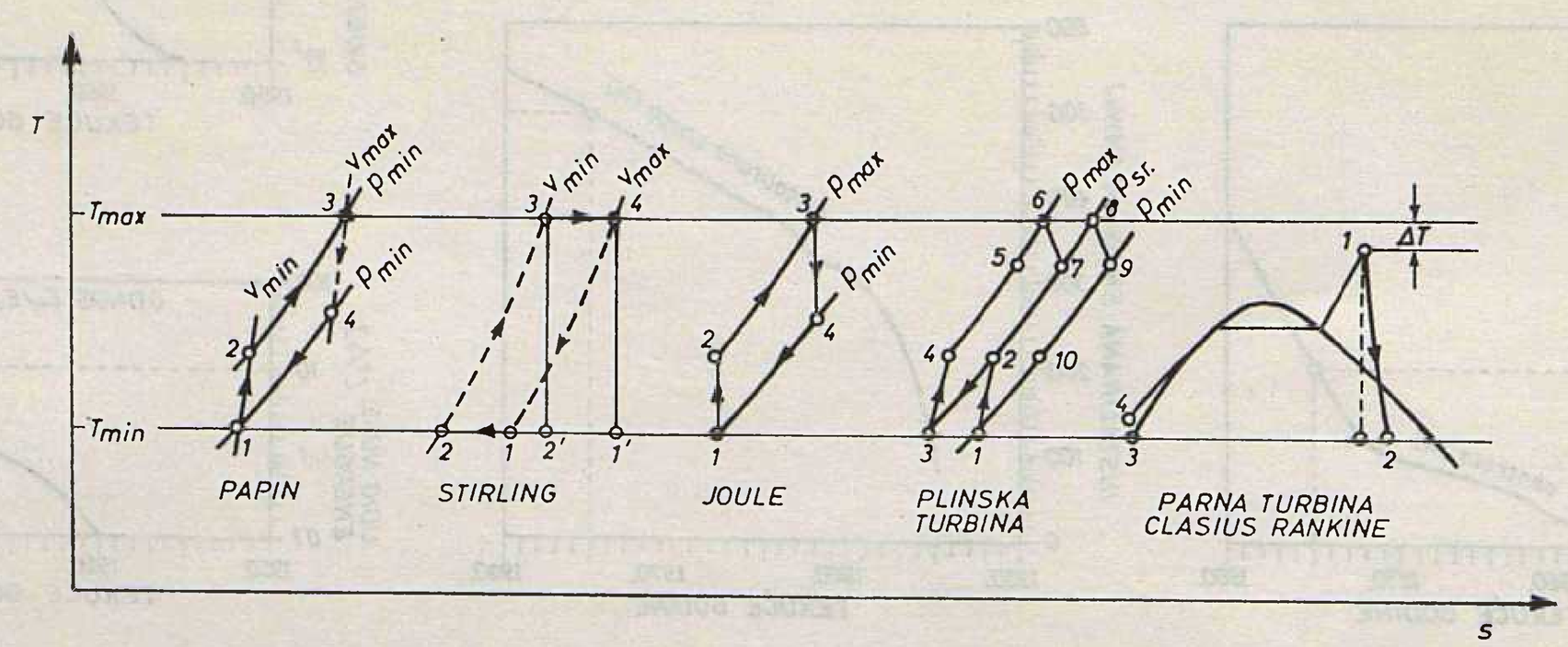
Papinov ciklus iz 1690. godine odvija se između dvije izobare i dvije izohore, a drugi put je ostvaren u demonstracijskom modelu umjetnog srca na nuklearni pogon. Ta nuklearna jedinica postala je subjekt inženjerskog interesa još prije 15 godina. Kao optimalna konstrukcija odabrana je moderna verzija Stirlingova stroja, u kojem ipak nije bio ostvaren Stirlingov, nego Papinov toplinski ciklus, što je pokazao indikatorski dijagram sniman u toku rada umjetnog srca.

Radovi na umjetnom srcu razvijeni su u SAD pod patronatom komisije za atomsku energiju (USAEC) i nacionalnog instituta za srce (NHI). Rezultirale su dvije konstrukcije predložene od Bucka /1/ i Martinia /2, 3/. Osnovna razlika bila je u izvedbi regeneratora. Kod Buckove konstrukcije on je bio odvojen, a kod Martinijeve je ulogu regeneratora vršio razvodni klip (klip izmjenjivač).

Umjetno srce je malena nuklearna jedinica snage oko 3 W. Kao mogući izvori topline razmatrani su izotopi plutonija-238, prometija-147 i tulija-171, a radni medij je argon ili helij. Daljnji radovi na usavršavanju ove specifične nuklearne jedinice sve su intenzivniji, pa se uskoro mogu očekivati novi i značajniji rezultati /4/.

Stirlingov ciklus iz 1815. god. između dvije izoterme i dvije izohore ekvivalentan je Carnotovom, što teorijski znači jedan od termodinamički najboljih procesa. Sam stroj ima vanjski dovod topline, a gorivo je u originalnoj verziji bio ugljen. Danas se može upotrijebiti i nuklearno gorivo, što zahtijeva odgovarajuću modifikaciju uređaja. U tom smislu je predložena nova konstrukcija u radovima Kolina /5/ i Bradleya /6/, uz pretpostavku cirkulacije jednog radnog medija (He ili Ar), koji bi istovremeno hladio reaktor i zagrijavao stroj.

Sve prednosti Stirlingova stroja postaju očite već nakon prve globalne usporedbe s plinskim i parnim turbinama. Jednostavna konstrukcija ne traži izmjenjivače topline, pojne pumpe, kao ni pumpe ili kompresore za cirkulaciju rashladnog



Sl. 4. Mogući toplinski ciklusi postrojenja na nuklearni pogon

medija. Osim toga, i sam regenerator je jednostavniji, jer hladna i vrúća struja ne prolaze kroz njega istovremeno, pa ih ne treba odvajati kao kod plinskih turbina.

Stirlingov ciklus zahtijeva cirkulaciju samo jednog radnog medija, koji je u direktnom kontaktu s elementima goriva. Time je izbjegnut temperaturni pad kroz stijenke kotla i izmjenjivača topline, karakterističan za radni proces parnih turbina. Kod zatvorenog ciklusa plinskih turbina cirkulira također samo jedan radni medij, no prednost Stirlingova stroja očituje se u višem stupnju djelovanja i jednostavnijem regeneratoru.

Imajući na umu navedene i mnogobrojne slične prednosti Stirlingova procesa, opravdana su predviđanja da bi se i praktična realizacija mogla očekivati u skoroj budućnosti.

Jouleov ciklus iz 1851. god. između dvije adijabate i dvije izobare, zapravo je idealiziran radni proces plinskih turbina. Stvarni ciklus je međutim ireverzibilan, jer zbog trenja na lopaticama ni kompresija ni ekspanzija nisu adijabatske. Tako je ukupni rad manji nego kod idealiziranog Jouleova procesa, iako se mogu postići stanovita poboljšanja dvostepenom kompresijom i ekspanzijom.

Za poboljšani Jouleov proces na nuklearni pogon s dvostepenom ekspanzijom potrebna su dva reaktora, ili bar dijeljenje reaktorske posude u dva dijela pod različitim tlakovima, što i nije tako značajan tehnički problem.

Kombinacija zatvorenog ciklusa plinske turbine s visokotemperaturnim plinom hlađenim reaktorom (HTGCR) otvara nove mogućnosti korištenja nuklearne energije s nizom povoljnih svojstava. Postrojenje bi radilo sa zatvorenim procesom, što znači da je cijeli sistem pod tlakom. To omogućuje i veću količinu radnog medija, što dalje rezultira povećanjem specifične snage. Osim toga je izlazna temperatura znatno viša nego kod parnih postrojenja, što pogoduje provedbi brojnih kombiniranih procesa. Pri tome se najčešće spominju, uz proizvodnju elektroenergije, zagrijavanje, klimatizacija, desalinizacija i sl. /7/.

Plinske turbine odlikuju se također jednostavnijom konstrukcijom i manjim dimenzijama. Usporedbe nuklearnih plinskih turbina i parnih postrojenja na laku vodu pod tlakom (PWR) iste snage (15 MW_e) pokazuju prednosti plinskih turbina u pogledu jedinične težine postrojenja /8/, kao što se vidi iz tablice:

Tip postrojenja	Težina [kg/kW]	Razlika [%]
plinsko turbinsko na He	75,5	25,6
plinsko turbinsko na CO_2	80,5	20,9
parno tipa PWR	101,5	100,0

U pogledu investicijskih troškova, komparacija dvaju postrojenja iste snage (1 100 MW_e) pokazuje da su oni kod plinsko turbinskog pogona niži 12% od istovjetnog postrojenja s parnim turbinama /9/. Ispitivanja plinskih turbina na nuklearni pogon, započeta još 1961. god. na maloj američkoj eksperimentalnoj stanici ML-1 od 300 kW_e, nastavljaju se danas vrlo intenzivno. Komercijalna primjena sličnih postrojenja u širokom mjerilu snage, čak i iznad 1 000 MW_e, očekuje se do 1985. god. /9/.

Iz navedenih primjera vidi se da nuklearni pogon nije nužno vezan samo na parne turbine, već je ostvariv i u manje uobičajenim postrojenjima uz provedbu nekonvencionalnih toplinskih procesa. Intenzivni radovi u tom smjeru govore i o komercijalnoj primjeni ovakvih uređaja u doglednoj budućnosti. U ovom času se ipak nuklearno gorivo najviše primjenjuje u parno-turbinskim postrojenjima, zasnovanim na toplinskom procesu Clausius-Rankinea. Ta nuklearna postrojenja razvijena su na iskustvima klasičnih, koja su imala dug razvojni put, te se i danas dalje paralelno usavršavaju.

4. RAZVOJ PARNIH POSTROJENJA S CLAUSIUS-RANKINEOVIM PROCESOM

Prvi praktično upotrebljiv parni stroj datira još iz 18. stoljeća, no termodinamički proces konverzije toplinske energije u mehaničku ostvaren je znatno prije. Razvoj parnih postrojenja kretao se usporedo u dva smjera. Jedno je evolucija toplinskog ciklusa, a drugo tehnologije izvedbe sastavnih dijelova uređaja i mehanizama, ovisno o proizvodnim uvjetima razvojnog doba. Tako npr. parni strojevi nisu uvijek bili rotacijski, jer su se koristili kao pumpe za crpljenje vode iz rudnika, što je zahtijevalo njihalo. Kasnije se pokazalo potrebnim rotacijsko gibanje, koje je realizirao Watt 1789. godine. Navedeni primjer, koji nije usamljen, pokazuje značaj radnog mehanizma u procesu pretvorbe topline u mehanički rad. Ovakav pristup traži kontinuiranu analizu bitnih faktora u razvoju energetskih strojeva, što možemo ukratko prikazati.

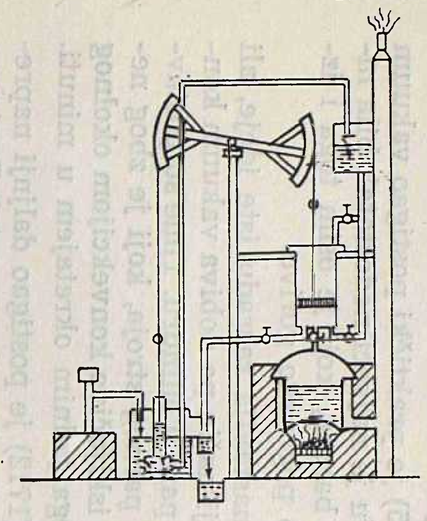
Guericke (1672) razmišljao je o dobivanju korisnog rada pomoću vakuuma, što je bila osnovna teorijska misao u evoluciji parnog stroja, no tada još nije bilo jasno kako realizirati vakuum.

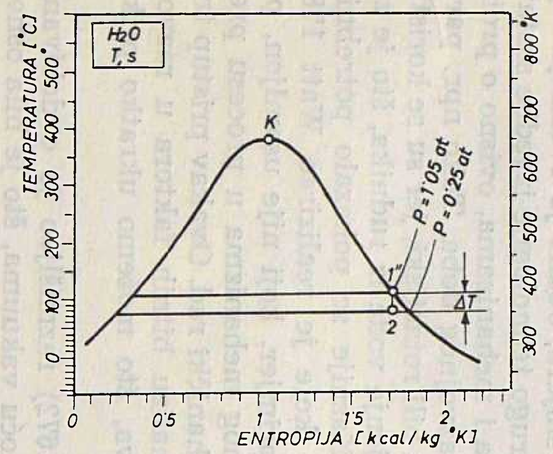
Huygens (1675) je praktički postigao vakuum uz pomoć baruta. Tu je najveći nedostatak bila niska ogrijevna moć baruta, koji je osim toga i izvanredno skup kao pogonsko gorivo.

Papin (1690) nastavlja razradu iste ideje, ali na znatno praktičniji način pa dobiva vakuum kondenzacijom vodene pare u cilindru. Time su postavljeni temelji prvog parnog stroja, koji je zbog nedovoljnog hlađenja isključivo konvekcijom okolnog zraka radila sa svega jednim okretajem u minuti.

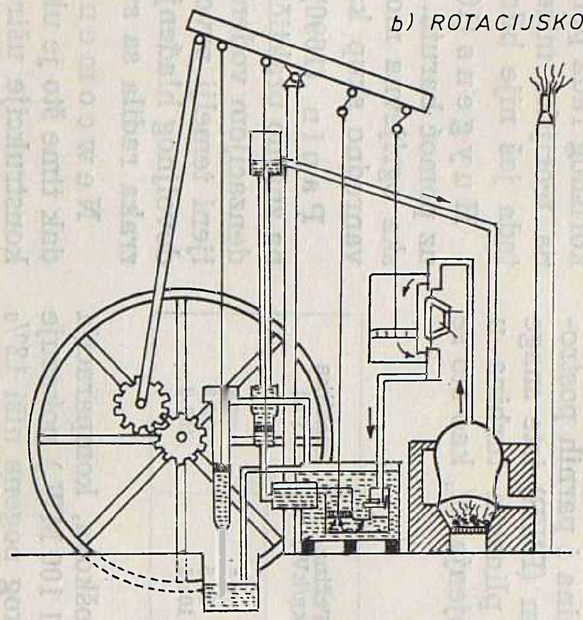
Newcomen (1712) je postigao daljnji napredak time što je uklonio glavni nedostatak Papinove konstrukcije uštrcavanjem hladne vode izravno u

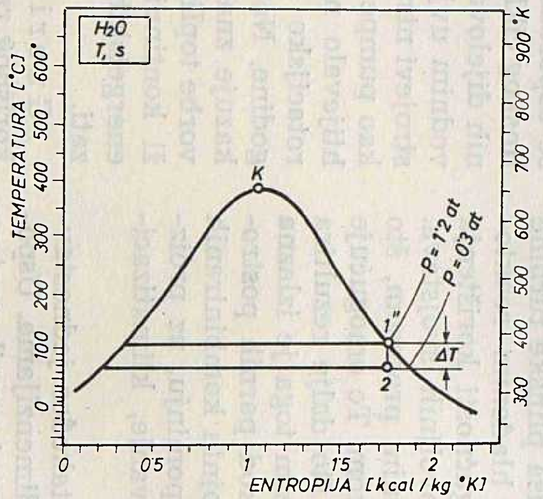
a) NJIHALJKA (NEWCOMEN)



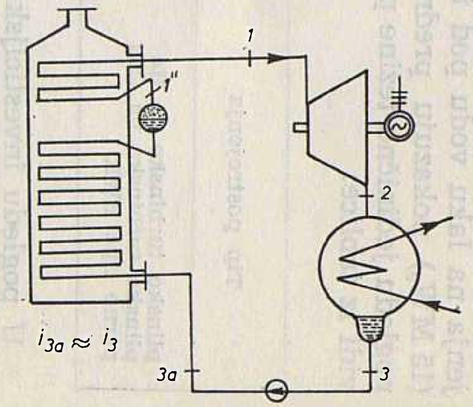


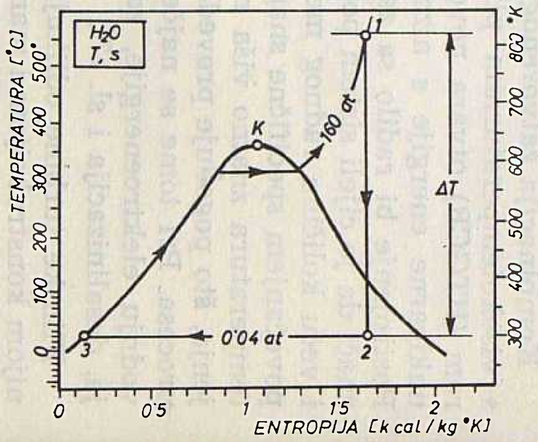
b) ROTACIJSKO GIBANJE (WATT)



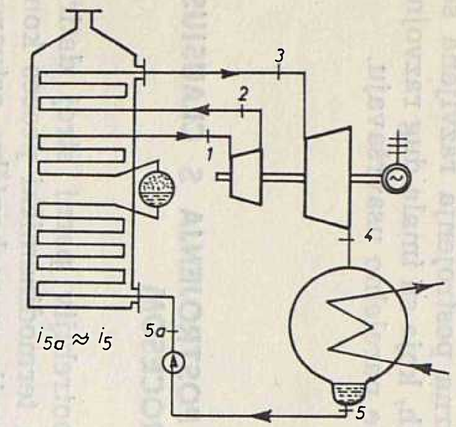


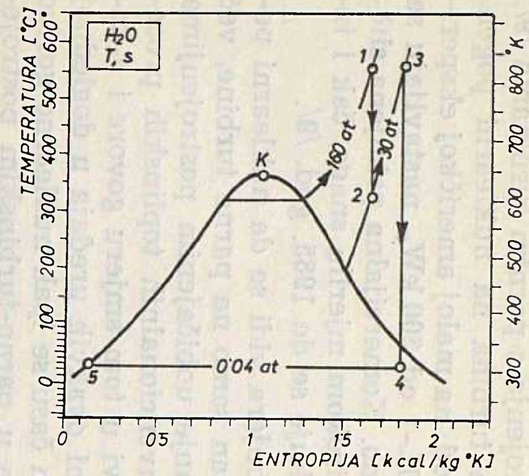
c) PREGRIJAČ PARE



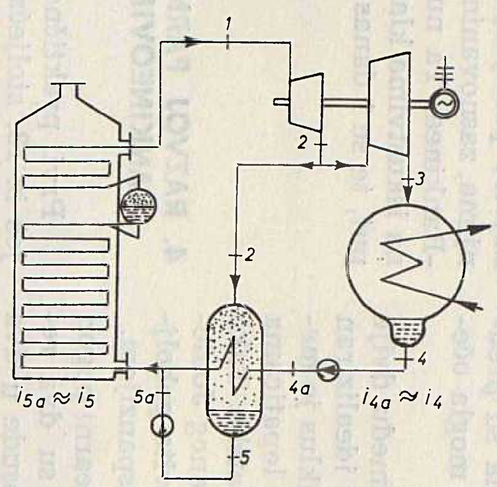


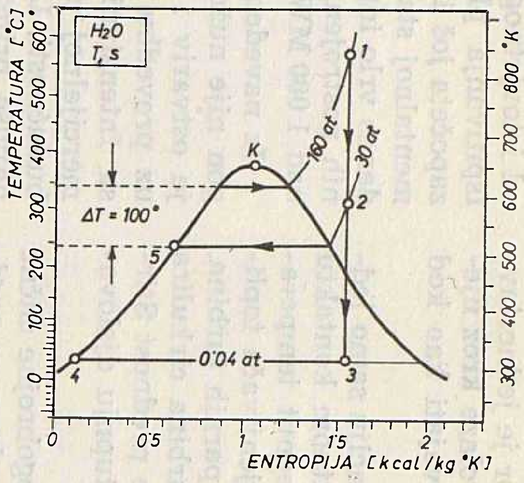
d) VIŠE PREGRIJAČA PARE



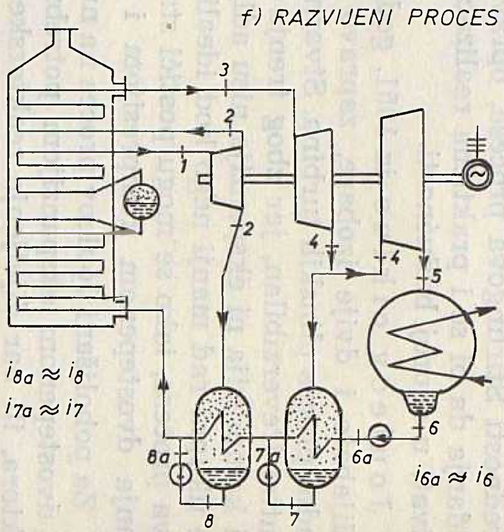


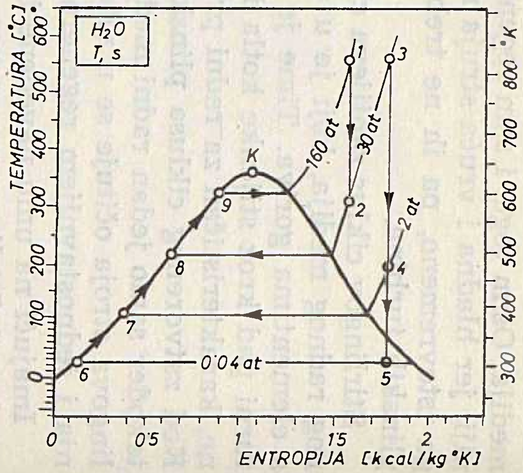
e) REGENERATIVNI ZAGRIJAČ POJNE VODE





f) RAZVIJENI PROCES





Sl. 5. Razvoj parnih postrojenja i termodinamičkih ciklusa

Naziv elektrane	Tip	Zemlja	Snaga MW_e	Stupanj djelovanja %	Pregrijač
Pathfinder	BLWR	SAD	62	31	nuklearni
Bonus	BLWR	SAD	16	26	nuklearni
CVTR	PHWR	SAD	17	26	uljni
ERR-Elk river	BLWR	SAD	22	30,1	na ugljen
Indian Point-1	PLWR	SAD	255	35	2 uljna
APS-1	BLWR	SSSR	5	16,5	nuklearni
Belojarsk	BLWR	SSSR	94	33	nuklearni
KWL-Lingen	BLWR	Njem.	256	32,6	uljni
HDR	BLWR	Njem.	25	25	nuklearni
Marviken	BHWR	Šved.	193	33,6	nuklearni

radni cilindar, koji je ujedno odvojio od kotla. Tako je postigao bržu kondenzaciju i znatno poboljšao prijelaz topline, što je bio velik korak naprijed. Taj prvi praktično upotrebljiv parni stroj (sl. 5.a) imao je ukupni stupanj djelovanja od svega 1%. Osim toga bila je i vrlo glomazna (680 m^3/kW) u usporedbi s današnjim parnim postrojenjem (oko 0,75 m^3/kW). Ipak, i sa stajališta tehničke izvedbe i termodinamičkog ciklusa ovaj je stroj predstavljao prvu odlučujuću fazu u daljnjem usavršavanju kasnijih energetskih postrojenja.

Watt (1788) je istraživao nedostatke Newcomenova stroja i našao da se odvajanjem kondenzatora može poboljšati hlađenje, a time i cijeli proces /10/. Tako je postignuta ušteda pare, a time i goriva, jer se ono više nije trošilo na uzastopno zagrijavanje cilindra vrućom parom. Kulminaciju Wattovih istraživanja predstavlja parni stroj s dvoradnim cilindrom i odvojenim kondenzatorom (sl. 5.b). Iako je ukupni stupanj djelovanja bio svega 2,5%, to je komparativno veoma značajan korak na ondašnjem stupnju tehničkog razvoja. Poboljšanje nije ostvareno na parametrima pare, nego na kvalitativno posve novim i bitnim elementima parnog stroja, koji su se u modificiranom obliku zadržali sve do danas u suvremenim termoelektranama.

U navedenom prikazu razvoja parnih postrojenja mogu se razabrati ovi najvažniji koraci:

— provedba cijelog ciklusa u jednom cilindru,
— odvajanje radnog cilindra od parnog kotla,
— kondenzacija uštrcavanjem vode u cilindar,
— odvajanje kondenzatora od radnog cilindra.

Daljnji radovi na usavršavanju i povišenju ekonomičnosti obuhvatili su u osnovi povišenje parametara pare, uvođenje dodatnih međupregrijača pare i regenerativnih zagrijača pojne vode. Ti zahvati su se odrazili i u tehničkoj izvedbi i u toplinskom ciklusu (sl. 5.c, d, e, f — radi jednostavnosti usporedbe zanemareni su unutarnji gubici turbine, te se ekspanzija smatra adijabatskom). Optimalnom kombinacijom svih sastavnih uređaja postiže se i optimalni rad postrojenja, što je usvojeno kod klasičnih, tako i kod nuklearnih centrala.

Povišenje temperature pare rezultira boljim termodinamičkim stupnjem djelovanja, ali to nema značajnijeg utjecaja na ukupno iskorištenje nuklearnog goriva. Tako pregrijana para proizvedena u reaktorima hlađenim plinom (GCR) i tekućim metalom (LMCR) rezultira ukupnim stupnjem djelovanja od oko 32%. Međutim, istu vrijednost postižu i centrale s reaktorima na laku vodu (LWR) i tešku vodu (HWR) koji proizvode suhozasićenu paru. Ta činjenica pokazuje da je teorijski utjecaj temperature pare na stupanj iskorištenja nuklearnog goriva ipak manji nego bi se moglo očekivati.

Dakako da mokra para nije poželjna u turbini, pa se pregrijači pare u raznim varijantama ugraduju gdje god je to moguće. Tako se u centralama s plinom hlađenim reaktorom pregrijači nalaze unutar izmjenjivača topline u sklopu ostalih cijevnih registara. Drugačije je kod elektrane s vodom hlađenim reaktorom, koji zahtijevaju specijalne konstrukcije pregrijača, pri čemu se javlja niz tehnoloških poteškoća, te se u principu još uvijek nalaze u eksperimentalnoj fazi. U gornjoj tablici prikazane su neke elektrane s pregrijačima pare i to i nuklearnim i na klasično gorivo.

Primjena pregrijača na klasično gorivo kod nuklearnih elektrana očito ne predstavlja trajno rješenje iz niza razloga. Što se tiče nuklearnih pregrijača pare, situacija je mnogo povoljnija, jer se njihovim tehnološkim usavršavanjem mogu postići poboljšanja, npr. povišenje snage i sniženje proizvodnih troškova.

5. OSNOVNI TOPLINSKI PROCESI NUKLEARNIH CENTRALA

Prije dvadesetak godina postojalo je samo nekoliko nuklearnih elektrana u svijetu, dok ih danas ima oko 200 u komercijalnoj upotrebi. Porast njihovog broja neminovno vodi smanjenju broja tipova, što opet omogućuje standardizaciju elemenata i njihovu serijsku proizvodnju. Tako je niz raznovrsnih tipova iz početne razvojne epohe sada reduciran na svega šest osnovnih, klasificiranih prema vrsti rashladnog medija (sl. 6).

U slijedećoj tablici prikazani su osnovni tipovi klasificirani prema vrsti rashladnog medija, kao i raspored danas postojećih nuklearnih elektrana s obzirom na osnovne tipove.

Oznaka	Značenje kratice	Rashladno sredstvo	Broj elektrana	Postotni udio
BLWR	Boiling Light Water Reactor	laka voda s isparivanjem	61	29,8
PLWR	Pressurized Light Water Reactor	laka voda pod pritiskom	77	37,6
HWR	Heavy Water Reactor	teška voda	18	8,7
GCR	Gas Cooled Reactor	plin	36	17,5
LMCR	Liquid Metal Cooled Reactor	tekući metal	12	5,9
OCR	Organic Cooled Reactor	organska supstanca	1	0,5
Ukupno:			205	100,0%

Bez obzira na tip, u nuklearnim centralama se vodena para proizvodi toplinom oslobođenom pri kontroliranoj lančanoj reakciji u reaktoru. Prijenos topline s užarenih elemenata goriva na kotlovske cijevi vrši se posredstvom rashladnog medija. Prema svojstvu tog rashladnog medija, koji je u principu plin, tekućina ili tekući metal, toplinski ciklus se odvija s jednim optokom ili više. Dakako da svaki novi optok zahtijeva i dodatni izmjenjivač topline, što znači i dodatne otpore s hidrodinamičkim i toplinskim gubicima, a to se reflektira u daljnjim investicijama. No usporedbu toplinskih procesa s obzirom na broj optoka treba provesti, osim s tehničkog i ekonomskog, i s ekološkog stajališta, što će biti ukratko prikazano u daljnjem tekstu.

Toplinski proces s jednim optokom

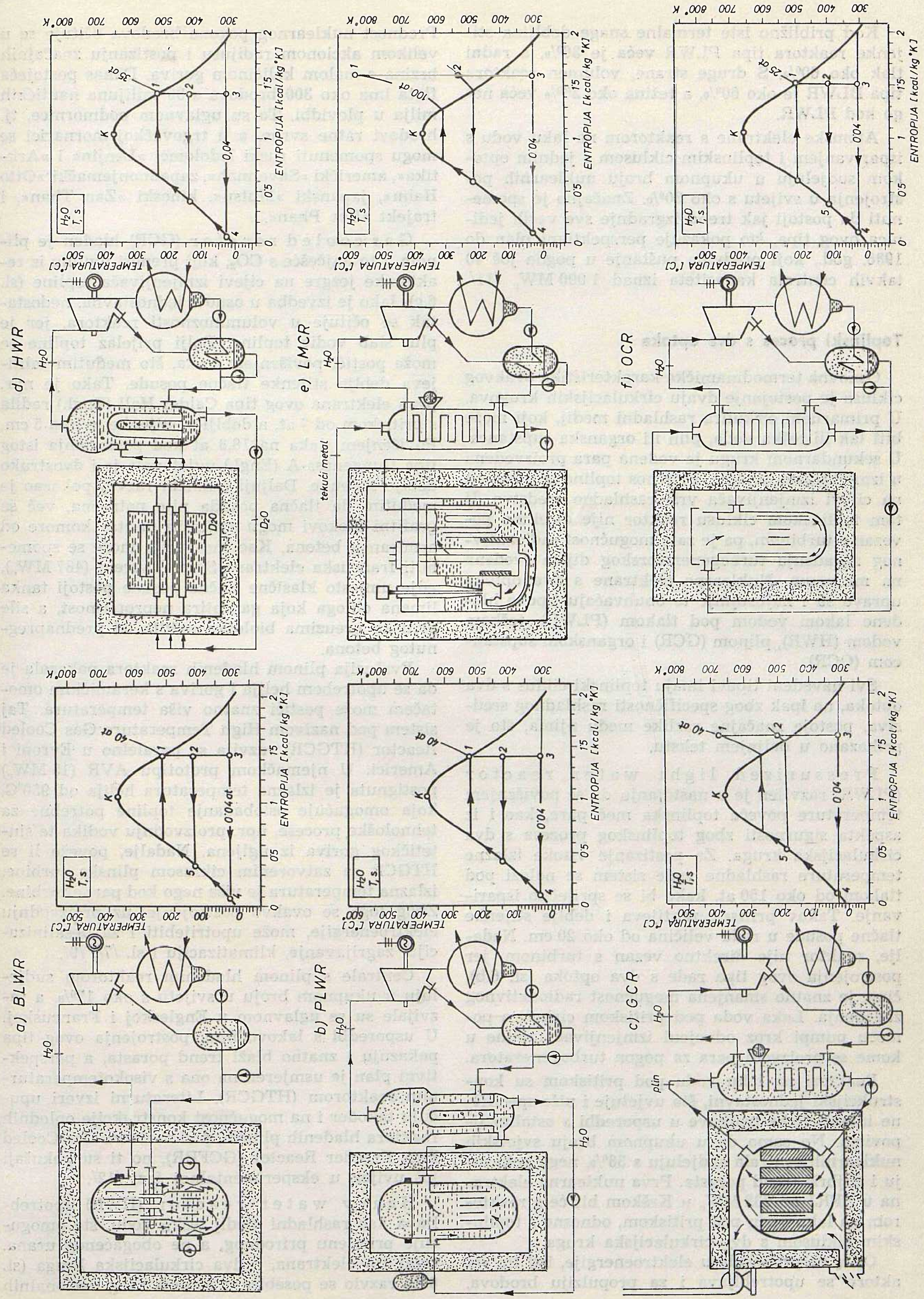
Princip rada nuklearnih elektrana s jednim optokom u načelu je isti kao i kod klasičnih, samo ovdje ulogu kotla preuzima reaktor. Pogonska para, proizvedena u reaktoru, privodi se direktno turbini, dok se kondenzat vraća u reaktor pomoću cirkulacijske pumpe. Prva nuklearna elektrana u svijetu APS-1 (SSSR) kapaciteta 5 MW_e radila je s jednim optokom.

S tehničkog stajališta je proces s jednim optokom jednostavniji zbog manjeg broja elemenata u postrojenju. Međutim, s ekološkog aspekta postoji veći potencijalni rizik u slučaju propuštanja jedinog, primarnog kruga u okolinu. Kada postoji i sekundarni cirkulacijski krug ta je opasnost manja, što je ujedno i velika prednost elektrana s dva optoka. Kasniji razvoj elektrana s jednim optokom kretao se sporije zbog bojazni od radioaktivnog zagađivanja turbinskog dijela, kao i eventualne nestabilnosti zbog mjehurića pare u reaktoru. U današnje vrijeme su ovi problemi riješeni, te se u pogonu nalazi niz centrala tipa BWR s jednim optokom, čije karakteristike su sažeto prikazane u daljnjem tekstu.

Boiling light water reactor (BLWR) ima užarene elemente goriva uronjene u vodu. Proizvedena suhozasićena para od oko 70 at privodi se izravno u turbogeneratorski dio postrojenja (sl. 6.a). Intenzivno isparivanje uzrokuje snažno prskanje, te se zbog toga na vrhu reaktora nalaze brojni separatori i limovi za sušenje pare. Prirodna konvekcija nije dovoljna za održavanje tražene konstantne pogonske temperature reaktorske jezgre, pa se zbog toga na dnu reaktora ugrađuju ejektorske mlazne pumpe, koje forsiranom cirkulacijom poboljšavaju prijelaz topline.

Radni tlak kod reaktora ovog tipa je otprilike polovinu niži nego kod tipa PLWR, što uvjetuje i tanje stijenke tlačne posude. S druge strane je tlačna posuda kod BLWR veća zbog brojnih ugrađenih dijelova, kao što su mlazne pumpe i elementi za sušenje pare. Kao ilustrativni primjer mogu se usporediti karakteristike dvaju reaktora približno istih termalnih snaga, kao što je prikazano u tablici:

Naziv elektrane	San Onofre PLWR	Fukushima—1 BLWR	Usporedba [%]	
Termalna snaga [MW]t	1347	1380	33 MW_t	2,4
Pritisak [at]	175	70,7	104,3 at	59,6
Debljina stijenke [cm]	25	16	9 cm	36
Volumen reaktora [m^3]	149,5	419	269,5 m^3	64,3
Težina reaktora [tone]	338	459	121 t	26,4



Sl. 6. Shematski prikaz postrojenja i toplinskog ciklusa nuklearnih elektrana

Kod približno iste termalne snage debljina stijenke reaktora tipa PLWR veća je 36%, a radni tlak oko 60%. S druge strane, volumen reaktora tipa BLWR je oko 60%, a težina oko 26% veća nego kod PLWR.

Atomske elektrane s reaktorom na laku vodu s isparivanjem i toplinskim ciklusom s jednim optokom sudjeluju u ukupnom broju nuklearnih postrojenja u svijetu s oko 30%. Značajno je spomenuti da postoji jak trend izgradnje sve većih jedinica ovog tipa, što pokazuje perspektivni plan do 1986. god., koji predviđa puštanje u pogon još 40 takvih centrala kapaciteta iznad 1 000 MW_e /11/.

Toplinski proces s dva optoka

Osnovna termodinamička karakteristika ovakvog ciklusa je postojanje dvaju cirkulacijskih krugova. U primarnom cirkulira rashladni medij, koji može biti lak ili teška voda, plin ili organska supstanca. U sekundarnom krugu je vodena para proizvedena u izmjenjivaču topline. Prijenos topline iz reaktora na cijevi izmjenjivača vrši rashladno sredstvo. U tom toplinskom ciklusu reaktor nije direktno povezan s turbinom, pa je zato mogućnost radioaktivnog zagađenja turbogeneratorskog dijela svedena na minimum. Nuklearne elektrane s dva optoka upravo su i najbrojnije te obuhvaćaju tipove hlađene lakom vodom pod tlakom (PLWR), teškom vodom (HWR), plinom (GCR) i organskom supstancom (OCR).

Svi navedeni tipovi imaju toplinski ciklus s dva optoka, no ipak zbog specifičnosti rashladnog sredstva, postoje značajne razlike među njima, što je prikazano u daljnjem tekstu.

Pressurized light water reactor (PLWR) razvijen je u nastojanju da se povišenjem temperature poveća toplinska moć pare, kao i iz aspekta sigurnosti zbog toplinskog procesa s dva cirkulacijska kruga. Za postizanje visoke izlazne temperature rashladne vode sistem se nalazi pod tlakom od oko 150 at, kako bi se spriječilo isparivanje. Takav pritisak zahtijeva i deblje stijenke tlačne posude u redu veličina od oko 20 cm. Nadalje, reaktor nije direktno vezan s turbinom, jer postrojenja ovog tipa rade s dva optoka (sl. 6.b), čime je znatno smanjena mogućnost radioaktivnog zagađenja. Laka voda pod pritiskom cirkulira pomoću pumpi kroz odvojeni izmjenjivač topline u kome se proizvodi para za pogon turbogeneratora.

Reaktori na laku vodu pod pritiskom su konstrukcijski jednostavni, što uvjetuje i niže specifične investicijske troškove u usporedbi s ostalim tipovima. Ne samo da u ukupnom broju svjetskih nuklearnih centrala sudjeluju s 38%, nego pokazuju i najbrži trend porasta. Prva nuklearna elektrana u SFRJ od 632 MW_e u Krškom bit će s reaktorom na laku vodu pod pritiskom, odnosno s toplinskim ciklusom s dva cirkulacijska kruga.

Osim za proizvodnju elektroenergije, isti tip reaktora se upotrebljava i za propulziju brodova. Prednost nuklearnog pogona brodova očituje se u velikom akcionom radijusu i postizanju značajnih brzina s malom količinom goriva. Danas postojeća flota ima oko 300 brodova s 30 milijuna nautičkih milja u plovidbi. To su uglavnom podmornice, tj. brodovi ratne svrhe, a u trgovačkoj mornarici se mogu spomenuti ruski ledolomci »Lenjin« i »Arktika«, američki »Savannah«, zapadnonjemački »Otto Hahn«, japanski »Mutsu«, kineski »Zan Than«, i trajekt »Bac Phan«.

Gas cooled reactor (GCR) hlađen je plinom, i to najčešće s CO_2, koji prenosi toplinu iz reaktorske jezgre na cijevi izmjenjivača topline (sl. 6.c). Iako je izvedba u osnovi jednostavna, nedostatak se očituje u voluminoznosti reaktora, jer je plin slab vodič topline. Bolji prijelaz topline se može postići povišenjem tlaka, što međutim zahtijeva deblje stijenke tlačne posude. Tako je npr. prva elektrana ovog tipa Calder Hall (Engl.) radila s pritiskom od 7 at, a debljina stijenke je bila 5 cm. Povišenjem tlaka na 18,8 at kod postrojenja istog tipa Dungeness-A (Engl.) uvjetovalo je i dvostruko deblje stijenke. Daljnji tehnički razvoj pokazao je međutim da tlačna posuda nije potrebna, već se grafitni blokovi mogu smjestiti unutar komore od armiranog betona. Kao ilustracija može se spomenuti francuska elektrana Saint Laurent (487 MW_e), gdje umjesto klasične tlačne posude postoji tanka limena obloga koja garantira nepropusnost, a sile pritiska preuzima biološka zaštita od prednapregnutog betona.

Evolucija plinom hlađenih reaktora pokazala je da se upotrebom helija i goriva s keramičkim omotačem može postići znatno viša temperatura. Taj sistem pod nazivom High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGCR) razvija se paralelno u Evropi i Americi. U njemačkom prototipu AVR (15 MW_e) postignuta je izlazna temperatura helija od 950°C, koja omogućuje oslobađanje topline potrebne za tehnološke procese, npr. proizvodnju vodika te sintetičkog goriva iz ugljena. Nadalje, poveže li se HTGCR sa zatvorenim ciklusom plinske turbine, izlazna temperatura je viša nego kod parne turbine. Zbog toga se ovakvo postrojenje, uz proizvodnju elektroenergije, može upotrijebiti i za desalinizaciju, zagrijavanje, klimatizaciju i sl. /7/, /9/.

Centrale s plinom hlađenim reaktorom sudjeluju u ukupnom broju u svijetu s oko 17%, a razvijale su se uglavnom u Engleskoj i Francuskoj. U usporedbi s lakovodnim, postrojenja ovog tipa pokazuju i znatno blaži trend porasta, a perspektivni plan je usmjeren na ona s visokotemperaturnim reaktorom (HTGCR). Literaturni izvori upućuju također i na mogućnost konstrukcije oplodnih reaktora hlađenih plinom, pod nazivom Gas Cooled Fast Breeder Reactor (GCFBR), no ti su pokušaji još uvijek u eksperimentalnoj fazi /12/.

Heavy water reactor (HWR) upotrebljava kao rashladni medij tešku vodu, što omogućuje primjenu prirodnog, a ne obogaćenog urana. Ovaj tip elektrana, s dva cirkulacijska kruga (sl. 6.d), razvio se posebice u Kanadi zbog nacionalnih

zaliha prirodnog urana koji je znatno jeftiniji od obogaćenoga. Reaktori na tešku vodu ubrajaju se među najskuplje već i zbog visoke cijene rashladnog sredstva. Investicijski troškovi viši su nego kod lakovodnih, pa čak i plinom hlađenih reaktora. S druge strane, prirodni je uran znatno jeftiniji od obogaćenog, te je cijena ogrjevne moći oko 2,5 puta niža nego kod lakovodnih reaktora.

U elektranama ovog tipa teška voda, kao rashladno sredstvo, nalazi se pod tlakom od oko 90 at, slično kao i kod PLWR, da bi se spriječilo isparivanje. Reaktor se sastoji od mnogobrojnih tlačnih cijevi koje sadrže elemente goriva. Prednost je ove konstrukcije što je punjenje gorivom omogućeno u toku samog rada bez zaustavljanja pogona, koje kod lakovodnih postrojenja traje oko mjesec dana. Osim toga tlačne cijevi preuzimaju radni pritisak od oko 90 at, pa je i reaktorska posuda relativno tanka.

Komercijalne elektrane ovog tipa razvile su se do sada jedino u Kanadi pod nazivom Canada Deuterium Uranium (CANDU), dok se u ostalom svijetu vrše eksperimenti. U ovim eksperimentalnim razvojnim radovima najznačajnija je engleska konstrukcija s vertikalnim bubnjem Steam Generated Heavy Water Reactor (SGHWR), nastala kao kombinacija CANDU s direktnim ciklusom lakovodnih reaktora. Elektrana ovog tipa Winfrith (93,5 MW_e) pokazala je dobre pogonske rezultate, te je usvojena kao prototip budućeg razvoja ovakvih postrojenja. Osnovna je karakteristika ovakve kombinacije upotreba teške vode kao moderatora, a lake vode kao rashladnog sredstva. Da bi se osigurala stabilna reakcija s obzirom na laku vodu, potrebno je slabo obogaćenje goriva od oko 2,3%.

Elektrana tipa HWR ima oko 9% u ukupnom broju, no daljnje usavršavanje kanadske nuklearne tehnike donekle je privlačno i za ostale zemlje, posebice one u razvoju, što je vidljivo iz primjera Pakistana i Indije.

Organic cooled reactor (OCR) razvio se kao kompromisno rješenje u traženju optimalnih svojstava različitih rashladnih medija prije petnaestak godina. Plinovi imaju slab koeficijent prijelaza topline, pa je zato reaktorska posuda voluminozna i skupa. Primjena lake i teške vode zahtijeva opet povišeni pritisak, što uzrokuje debele stijenke reaktora. Tekući metal ima odličan koeficijent prijelaza topline, ali je vrlo radioaktivan. Zbog toga su potrebna dva izmjenjivača topline unutar reaktora, što uzrokuje visoke investicijske troškove. Na osnovi takvih i sličnih usporedbi toplinskih i ekonomskih svojstava rashladnih medija, opaženo je da neke organske supstance, npr. polifenili, tj. terpenil, pokazuju kompromisno dobre karakteristike. Prijelaz topline kod organskih rashladnih sredstava je slabiji nego kod vode i tekućih metala, no nisu korozivna i imaju dobru toplinsku i radijacijsku stabilnost. Osim toga upotreba terpenila zahtijeva radni pritisak od samo 8 at.

Ideja o primjeni organskih rashladnih sredstava bila je ispitivana samo u SAD i SSSR, i to u dvije eksperimentalne elektrane s dva optoka (sl. 6.f):

Piqua (SAD) snage 11,4 MW_e puštena u pogon 1963,

Arbus (SSSR) snage 0,75 MW_e puštena u pogon isto 1963.

Američka konstrukcija je zatvorena nakon 4 godine ispitivanja, dok Arbus još i danas radi nakon modernizacije. Sadašnji eksperimentalni pogon ovog postrojenja usmjeren je na ispitivanje tehnologije i primjene organskih supstanci s boljim termičkim i radijacijskim svojstvima, kao što je npr. hidroterpenil. Rezultati tih eksperimenata upućuju na povoljnu mogućnost primjene organskih tvari i visok stupanj radijacijske sigurnosti u toku rada, te mogućnost remonta i posluživanja bez dezaktivacije /13/.

Iako su ispitivanja organskih rashladnih sredstava dala dobre rezultate, a ideja o njihovoj primjeni ponovno oživljava, u ovom času nema izgleda za snažniji razvoj elektrane tipa OCR.

Toplinski proces s tri optoka

Ovakav toplinski ciklus karakterističan je za postrojenja s reaktorom hlađenim metalom, najčešće natrijem, iako to može biti i kalij. Nuklearne elektrane ovog tipa imaju, osim turbogeneratorskog, još dva cirkulacijska kruga s izmjenjivačima topline, koji su smješteni u samom reaktoru (sl. 6.e). Takva konstrukcija se primjenjuje zbog maksimalne pogonske sigurnosti, jer je tekući natrij vrlo radioaktivan. Iako je natrij agresivan u prisutnosti vode, kao rashladno sredstvo je vrlo pogodan jer ima visoki koeficijent prijelaza topline. Osim toga je upotrebljiv u tekućem stanju, koje se nalazi u širokom temperaturnom rasponu između tališta (97,6°C) i vrelišta (896°C) kod atmosferskog tlaka. Zbog toga nije potrebno da reaktorska posuda bude pod pritiskom i s debelim stijenkama. Prosječni tlak u atomskom reaktoru je 1,5 at, što je najniža vrijednost u usporedbi s ostalim tipovima. Niski reaktorski tlak uvjetuje i prosječnu debljinu stijenke od svega 2,7 cm.

Toplinski ciklus s tri cirkulacijska kruga primijenjen je kod elektrana tipa LMCR, koje danas sudjeluju s oko 6% u ukupnom broju nuklearnih postrojenja u svijetu. Literaturni izvori govore međutim o daljnjim radovima na usavršavanju postrojenja ovog tipa /12, 14/.

Liquid metal cooled reactor (LMCR) okarakteriziran je već navedenim osebinama, a to su upotreba tekućeg natrija kao prenosioca topline, radni tlak neznatno viši od atmosferskog i mala debljina stijenke tlačne posude. Kada bi se uzeo u obzir utjecaj tlaka i odličan koeficijent prijelaza topline rashladnog sredstva, elektrane ovog tipa imale bi najlakšu i najmanju reaktorsku posudu. No tekući natrij je vrlo radioaktivan, pa njegova upotreba zahtijeva dva izmjenjivača topline u reaktorskoj posudi. Zbog toga je reaktor znatno veći nego što ga uvjetuje prijelaz topline.

Osim toga rukovanje tekućim natrijem je otežano jer je skrutnut u hladnom stanju, pa su i cirkulacijske pumpe blokirane. Zato je potrebno dodatno grijanje da bi se prije puštanja u pogon natrij rastalio. Takve i slične tehnološke poteškoće uvjetuju najviše specifične investicijske troškove elektrana ovog tipa.

Glavna je prednost ovih reaktora u tome što znatno bolje iskorištavaju nuklearno gorivo, a to uvjetuje najnižu cijenu ogrjevne moći u usporedbi s ostalim. Reaktori ovog tipa nemaju moderatora i rade s brzim neutronima visoke energije, te u stanovitom smislu umnažaju gorivo i dolaze pod imenom oplodni reaktori (Liquid Metal Fast Breeder Reactor — LMFBR).

Mišljenja raznih autora u pogledu povećanja iskorištenja goriva se razmimoilaze, a njihove procjene govore da je ono 30—70 puta bolje nego kod nuklearnih reaktora ostalih tipova /12, 15/.

Prvo značajnije postrojenje ovog tipa bila je ruska elektrana BN-350 s kombiniranim procesom. Osim proizvodnje elektroenergije (150 MW_e), ovo postrojenje vrši i desalinizaciju morske vode s kapacitetom od 120 000 tona slatke vode u toku 24 sata. Takva koncepcija upućuje i na jednu od mnogobrojnih mogućnosti primjene nuklearnih postrojenja kakva se mogu očekivati u skoroj budućnosti.

Danas se u pogonu nalazi neznatan broj postrojenja tipa LMCR, a perspektiva razvoja jest u izgradnji jedinica velikih snaga, što uvjetuju visoki investicijski troškovi. Perspektivni plan izgradnje govori o konstrukciji postrojenja kao što su npr. francuski Super Phenix od 1 200 MW_e (1979. god.) i njemački SNR-2 od 2 000 MW_e (1987. god.).

6. ZAKLJUČAK

Nuklearna postrojenja su danas čvrsto zakoračila u polje komercijalne proizvodnje elektroenergije te više nema dileme o njihovoj ekonomičnosti. Za svega dvadesetak godina njihov broj je rastao uglavnom po kvadratnom zakonu, te ih danas ima oko 200 u komercijalnom pogonu, a grupirane su u ranije navedene osnovne tipove.

Cjelovitost ekonomsko-tehnoloških istraživanja zahtijeva komparaciju nuklearnih elektrana s klasičnim, ali i njihovu međusobnu usporedbu s obzirom na postojeće tipove. Kod takvih razmatranja je značajan niz faktora, kao što su instalirana snaga, tip elektrane i stupanj iskorištenja kapaciteta. Tako je npr. utvrđeno da nuklearne elektrane s lakovodnim reaktorom postaju ekonomičnije od klasičnih već kod snage iznad 80 MW_e pri istom stupnju iskorištenja kapaciteta od 50%. Naprotiv, postrojenja tipa GCR moraju dostići barem 400 MW_e da bi postala ekonomičnija od klasičnih na tekuće gorivo.

Takve i slične usporedbe neophodne su i između grupiranih tipova atomskih postrojenja. Međutim radi pregleda može se broj tipova svesti na svega četiri, jer se reaktori hlađeni lakom vodom BLWR I PLWR svrstavaju u istu osnovnu grupu, a oni hlađeni organskom tvari se izostavljaju jer su još u eksperimentalnoj fazi. Uspoređujući na ovakav način bilo koja dva tipa nuklearnih elektrana, npr. LWR i LMCR, kalkulacija pokazuje da su ispod 500 MW_e ekonomičnije elektrane s lakovodnim reaktorom, a iznad one hlađene tekućim metalom, pri istom stupnju iskorištenja kapaciteta od 75%.

U izboru optimalnog tipa svakako odlučuje niz faktora, kao što su investicijski i proizvodni troškovi, energetske potrebe i apsorpcija tržišta neke zemlje, zalihe goriva, ekološki uvjeti i drugo. Jedan od primjera takvih rasuđivanja je Kanada, gdje su razvijene nuklearne elektrane na tešku vodu zbog nacionalnih zaliha prirodnog urana. Investicijski troškovi su znatno viši nego kod lakovodnih, pa čak i plinom hlađenih reaktora, no gorivo je među najjeftinijim, pa dosiže samo oko 20% troškova goriva konvencionalnih elektrana.

Veličina postrojenja je jedan od odlučujućih faktora, jer se ekonomičniji pogon postiže kod elektrana s većim kapacitetom. Zbog pojave efekta veličine ili mjerila skale, koji je ograničen stupnjem tehnološkog razvitka i energetskim potrebama neke zemlje, postrojenje s većim kapacitetom je uvijek komparativno jeftinije po instaliranom električnom kilovatu. Budući da je paralelni razvoj znanosti i tehnike omogućio izgradnju sve većih jedinica, razvitak nuklearnih elektrana je brži od kvadratnog zakona kada se računa po ukupnom instaliranom kapacitetu.

Sa stajališta tehnologije proizvodnje današnji radovi su usmjereni u dva pravca: na usavršavanje postojećih i istraživanja novih tehnoloških rješenja. Usavršavanje zahtijeva standardizaciju i unifikaciju konstrukcijskih elemenata, uključujući i elemente goriva, što dovodi do sniženja investicija te presudno utječe na ekonomičnost pogona. Danas je standardizacija najdalje uznapredovala kod lakovodnih reaktora pa zadovoljava specifične zahtjeve eksploatacije, posluživanja i remonta, te materijala i rezervnih dijelova. Veliko tehnološko iskustvo stečeno na lakovodnim reaktorima, kojih danas ima najviše u komercijalnoj upotrebi, omogućuje daljnja usavršavanja i izgradnju sve većih jedinica.

Za primjenu energije iz nuklearnih izvora otvaraju se široki putovi, jer svjetska potrošnja eksponecijalno raste, a zalihe fosilnog goriva se progresivno iscrpljuju. No osim za proizvodnju elektroenergije postoje i mogućnosti korištenja nuklearne energije za propulziju transportnih sredstava, ponajprije u ratnoj mornarici. Realna su očekivanja da će suvremeni progres biti orijentiran ne samo na proizvodnju elektroenergije, nego i na mnogobrojne industrijske svrhe, kao što su klimatizacija, desalinizacija, grijanje, te propulzija raznih kategorija transportnih sredstava.

LITERATURA

1. Buck K. E.: Experimental efforts in Stirling engine development. A. S. M. E. Paper No. 68-WA-Ener. 3.
2. Martini W. R.: A Stirling-engine module to power circulatory-assist devices. A. S. M. E. Paper No. 68-WA-Ener. 2.
3. Martini W. R.: The thermocompressor and its application to artifical heart power. IECEC Record, 1969.
4. Martini W. R.: Unconventional Stirling Engines for the Artifical Heart Application. IECEC Record, 1974.
5. Kolin I.: The Stirling cycle with nuclear fuel. Nucl. Eng. No. 151, Dec. 1968.
6. Walker G.: Stirling-cycle machines. Clarendon Press, Oxford, 1973.
7. Quade R. N.: HTGR offers widest range of process heat options. Energy International, No. 10, Oct. 1975.
8. Pozdeev A. V.: Sudovie atomnie energetičeskie ustanovki. Izd. »Sudostroenie«, Lenjingrad, 1964.
9. Krase J. M., Koutz S. L.: Direct-cycle offers more efficient nuclear systems. Energy International, No 4, April 1974.
10. Law R. J.: James Watt and the Separate Condenser. A Science Museum Monograph, London 1969.
11. Law R. J.: Power Reactors 76. Nuclear Engineering, Supplement, April 1976.
12. Friedlander G. D.: The fast-breeder reactor: when, where, why, and how? IEEE spectrum, Vol. 11, No. 2, Feb. 1974.
13. Friedlander G. D.: Atomnoj energetike XX let. Atomizdat, Moskva, 1974.
14. Petrosjanc A. M.: Atomnaja energetika. Izd. »Nauka«, Moskva, 1976.
15. Hood C. C.: Experience in the introduction of nuclear power. Atom, No. 214, Aug. 1974.

Naslov pisca:
Doc. dr Rajka Budin, dipl ing.

MONTER
ZAGREB

„MONTER" MONTAŽNO PODUZEĆE

OOUR ELEKTROPOGON ▪ 41000 ZAGREB, Demonjina 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 »OOUR PROJEKTNI BIRO« NAVEDENE INSTALACIJE.*

PRILOG RAZRADI RJEŠENJA OPSKRBE SUEZA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Vladimir Hartl i Nikola Vagić, Zagreb

U radu su dani osnovni pokazatelji o stanju konzuma i mreže na području Sueza u 1975. god., po programu njegova urbanog razvoja i rješenju opskrbe grada električnom energijom u razdoblju do oko 2000. god.

DK 621.316.1

POSTOJEĆE STANJE KONZUMA I OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Osnovni pokazatelji postojećeg konzuma

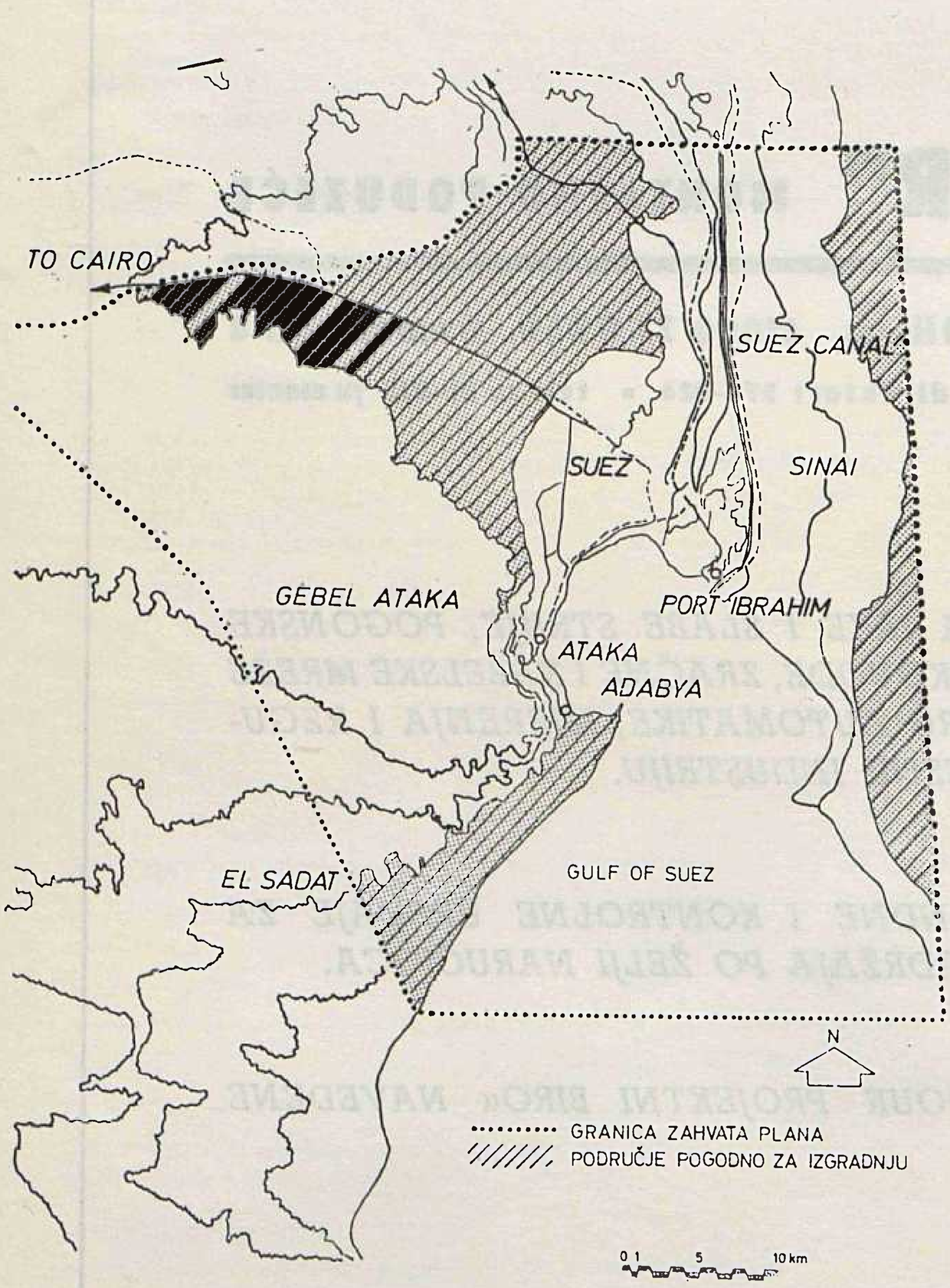
Područje zahvaćeno razradom (prema sl. 1) ima površinu od 2 000 km², od čega vode zauzimaju 476 km², poljoprivredne površine 178 km², tereni Gabel Ataka 587 km², zemljište nepogodno za urbanizaciju 158 km², zemljište pogodno za urbanizaciju 497 km², a zemljište predviđeno za urbanizaciju 104 km². Na ovom je području prije rata 1967. god. živjelo 265 000 stanovnika, od čega u Suezu i Port Tewfiku 235 000, u naseljima sjeverno od Sueza 25 000, a u naseljima južno od Sueza 5 000 stanovnika.

Završetak rata 1973. god. ovdje je dočekalo 20 000 stanovnika, a početkom 1975. god. bilo ih je oko 105 000.

Osnova privredne aktivnosti u području zahvaćenom razradom locirana je u zoni poljoprivrednih površina uz zapadnu obalu Sueskog kanala, u centru Sueza i u lučko-industrijskoj zoni PORT IBRAHIM-ADABIYA.

Stambeni fond i lučko-industrijska postrojenja u prošlom ratu su potpuno uništena.

U 1975. god., u prilikama kad je cjelokupna potrošnja električne energije u Egiptu dosegla iznos od oko 200 kWh/st. god., elektroenergetski konzum Sueza je dosegao iznos od oko 8 MW i oko 30 GWh/god. Računa se da u ovom konzumu tzv. velepotrošnja (industrijska i slična postrojenja i vodoopskrba) sudjeluje s oko 2/3, a s 1/3 tzv. široka potrošnja (kućanstva i ostali potrošači disperzirani u zoni stanovanja), te da u samom konzumu široke potrošnje kućanstva sudjeluju s 1/3, a ostala potrošnja s 2/3.



Sl. 1. Područje zahvata plana

Stanje postojeće elektroenergetske mreže

Prije rata 1967. god. elektroenergetski konzum područja zahvaćenog planom napajan je iz šireg elektroenergetskog sistema posredstvom trafostanice 220/66 kV izgrađene na zapadnoj periferiji Sueza i lokalnih izvora — termoelektrane 100 MW u Suezu i manjih diesel-elektrana u El ARBEEN-u, TAMENI i ADABYI.

Razvod energije obavljao se posredstvom vodova 66/11, 3,3 i 0,4 kV i transformatorskih stanica 66/11 kV, 11/0,4 kV i 3,3/0,4 kV. U toku rata 1973. god. sva ova elektroenergetska postrojenja su bila razorena.

U programima obnove (prema D-1 i sl. 2) planirano je da će do kraja 1975. god. ranije izgrađena proizvodno-prijenosna postrojenja na području Sueza biti potpuno rekonstruirana.

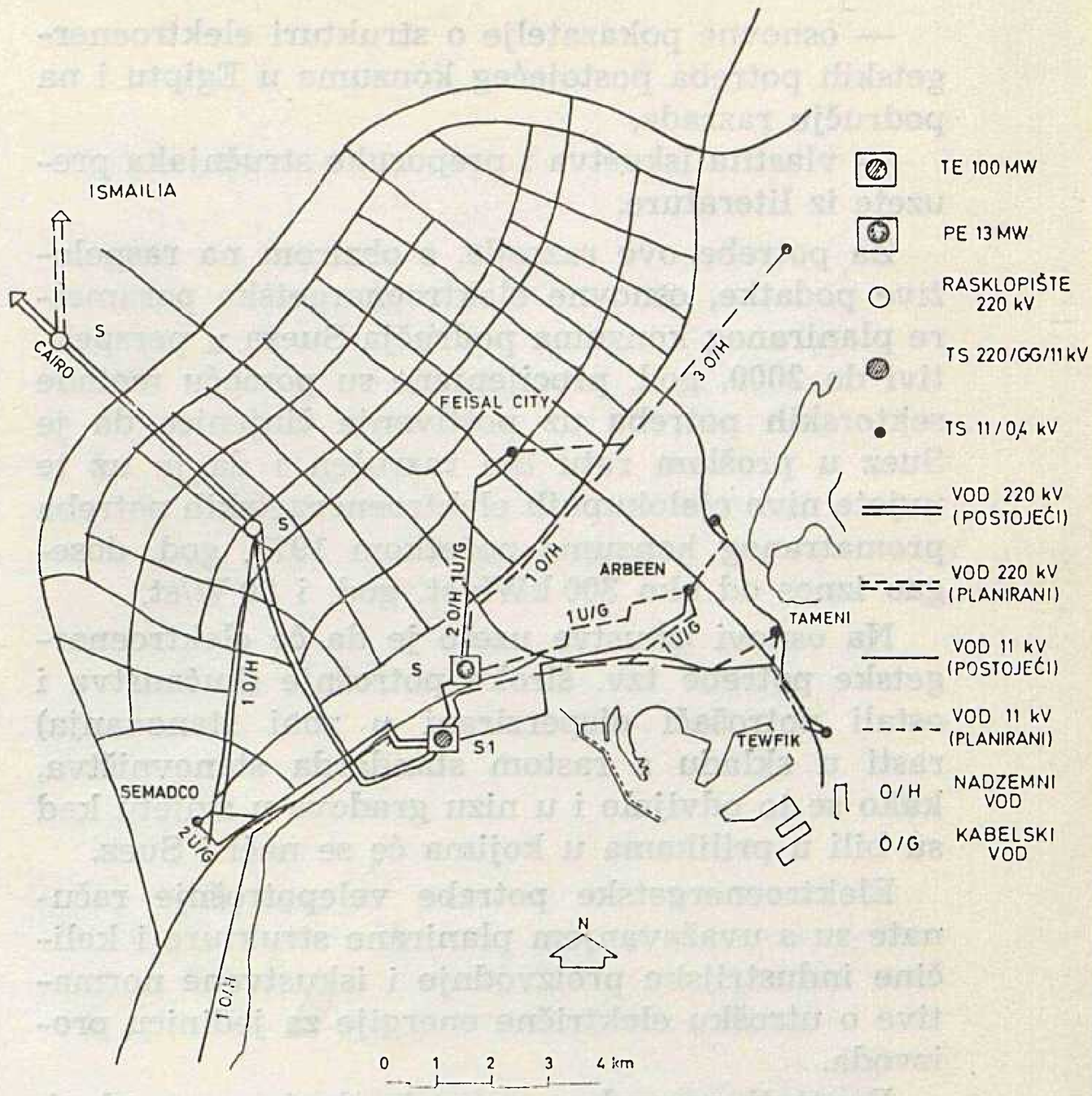
Za elektranu Suez je predviđeno da u prvoj fazi rekonstrukcije po instaliranoj snazi bude dovedena na 100 MW. Međutim prije završetka tih radova u pogon će se staviti i nova plinska elektrana snage od 13 MW, koja će u fazi obnove na-

domještati napajanje iz sistema (u slučaju ispada), a u kasnijim fazama razvoja sistema služit će za pokrivanje vršnih opterećenja. U prvoj fazi dogradnje sistema za napajanje izoliranih konzumnih rajona služit će manje diesel-električne centrale na području El Arbeena, Tamenia, uz Sueski kanal i u Adabyi.

Kako je preostala zračna i podzemna mreža 3,3 kV u vrlo lošem stanju, program obnove na mjestima dosadašnjeg sistema 3,3/0,4 kV uvodi sistem 11/0,4 kV. Mreža niskog napona (400/231 V) je također u lošem stanju i bit će temeljito obnovljena.

Iz plana mreže danog na sl. 2. vidi se da se u I etapi razvoja opskrbe Sueza električnom energijom uz postojeće stanice 11/0,4 kV Feisal City, Arbeen i one u području industrijskog kompleksa SEMADCO grade još stanice u zoni Tameni, Tewfik i u zoni crpilišta za vodu. Povezivanje ovih stanica s rasklopištem elektrane PS-1 izvest će se podzemnim kabelima.

Iz PS-1 izvode se još i nadzemni vodovi u pravcu gradilišta tunela Ahmed Hamdi i Adabiy-e, te poseban nadzemni vod 11 kV koji vodi u podstanicu 11/0,4 kV u zoni SEMADCO. Planom obnove predviđeno je da se nove stanice 11/0,4 kV izvedu kao čvorišne i da se s rasklopištem elektrane i međusobno povežu vrlo jakim fiderima 11 kV i na taj način osigura pouzdano napajanje konzuma za slučaj kvara u mreži 11 kV.



Sl. 2. Situacija mreže (1975)

OSNOVNI POKAZATELJI PLANA RAZVOJA

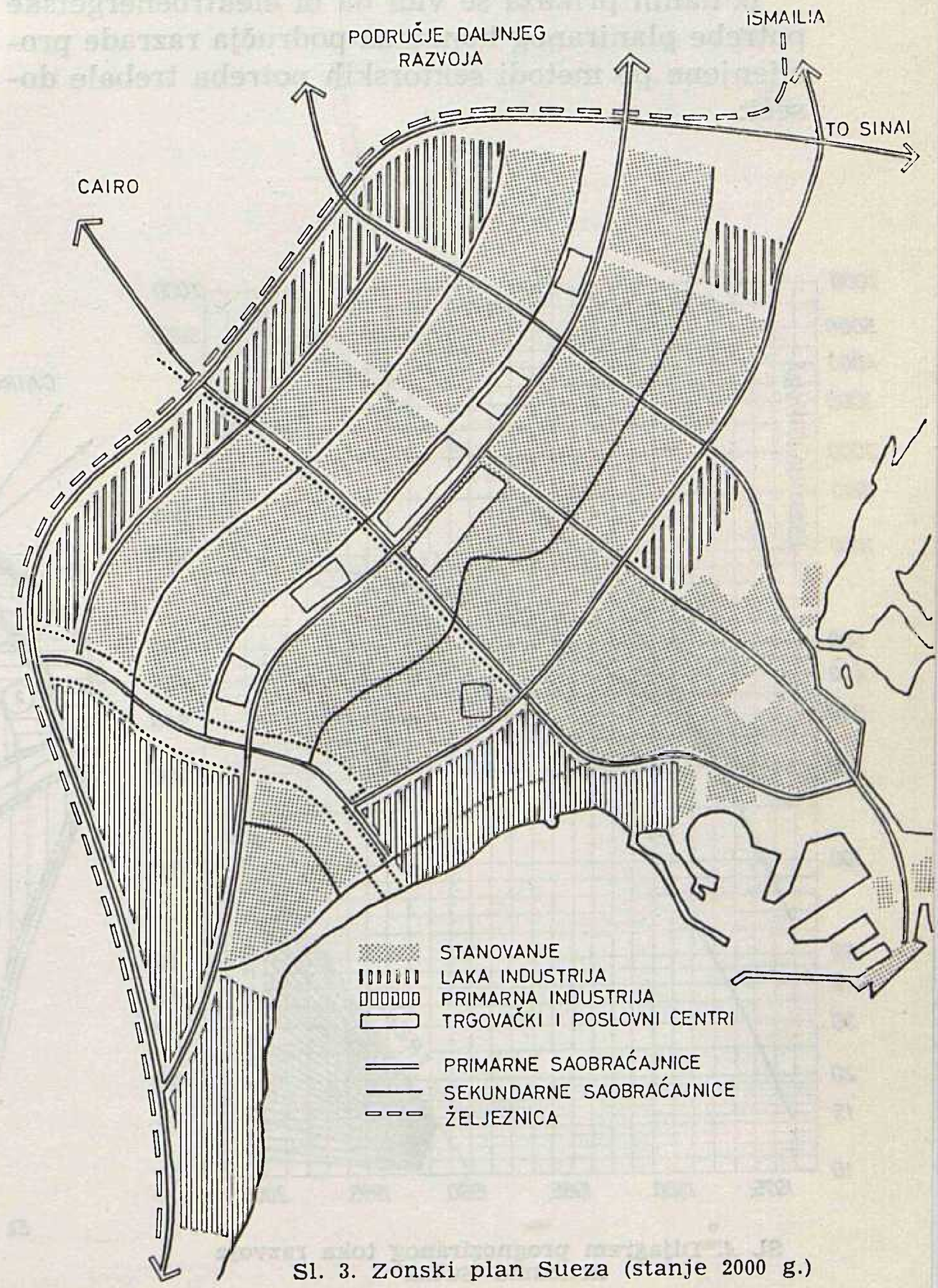
Planom razvoja područja Suez (D-1) predviđeno je da se područje zahvaćeno razradom (pokazano na sl. 1) do 2000. god. razvije u snažni privredni i kulturni region Egipta s oko 1 000 000 žitelja — oko 250 000 zaposlenih.

Osnovu privredne aktivnosti činit će industrijska proizvodnja zasnovana na preradi minerala i veleproizvodnja umjetnih gnojiva, prijeko potrebnih egipatskoj poljoprivredi.

I stanovništvo i industrija u području zahvaćenom planom u osnovi će biti koncentrirani u zoni Sueza. Iz zonskog plana, vidljivog na sl. 3, uočljivo je da će zone stanovanja i javnih funkcija milijunskog Sueza izrasti iz sadašnjeg Sueza i da će se formirati po sistemu usmjerene mreže čija uzdužna os ide u smjeru sjever— jug. Sjeverno od buduće zone stanovanja, uzduž Sueskog kanala, prostirat će se poljoprivredne površine, a jugoistočno, uz obalu Sueskog zaljeva, na potezu PORT IBRALIM-ADABIYA planirana je lučko-industrijska zona.

Mi smo elektroenergetske potrebe planiranog konzuma, na području zahvata plana, definirali uvažavajući:

— osnovne pokazatelje plana urbanog razvoja područja razrade,



Sl. 3. Zonski plan Sueza (stanje 2000 g.)

— osnovne pokazatelje o strukturi elektroenergetskih potreba postojećeg konzuma u Egiptu i na području razrade,

— vlastita iskustva i preporuke stručnjaka preuzete iz literature.

Za potrebe ove razrade, s obzirom na raspoložive podatke, osnovne elektroenergetske parametre planiranog konzuma područja Sueza u perspektivi do 2000. god. procijenjene su pomoću metode sektorskih potreba uz poštivanje činjenice da je Suez u prošlom ratu bio razrušen i da je uz te uvjete nivo cjelokupnih elektroenergetskih potreba promatranog konzuma početkom 1975. god. dosegao iznos od oko 300 kWh/st. god. i 80 W/st.

Na osnovi iskustva uzeto je da će elektroenergetske potrebe tzv. široke potrošnje (kućanstva i ostali potrošači disperzirani u zoni stanovanja) rasti u skladu s rastom standarda stanovništva, kako se to odvijalo i u nizu gradova u svijetu kad su bili u prilikama u kojima će se naći i Suez.

Elektroenergetske potrebe velepotrošnje računate su s uvažavanjem planirane strukture i količine industrijske proizvodnje i iskustvene normative o utrošku električne energije za jedinicu proizvoda.

Rezutati provedene razrade dani su na sl. 4. i 5.

Iz danih prikaza se vidi da bi elektroenergetske potrebe planiranog konzuma područja razrade procijenjene po metodi sektorskih potreba trebale doseći:

— *U I etapi razvoja (stanje oko 1980. god.) na:*

oko 100 MW i 500 GWh/g (velepotrošnja 60%, široka potrošnja 40% — u širokoj potrošnji kućanstvo 40%, a ostali u zoni stanovanja disperzirani potrošači 60%);

— *U II etapi razvoja (stanje oko 1990. god.) na:*

oko 320 MW i 1 700 GWh/ god. (velepotrošnja 60%, široka potrošnja 40% — u širokoj potrošnji kućanstva 40%, a ostala u zoni stanovanja disperzirana potrošnja 60%);

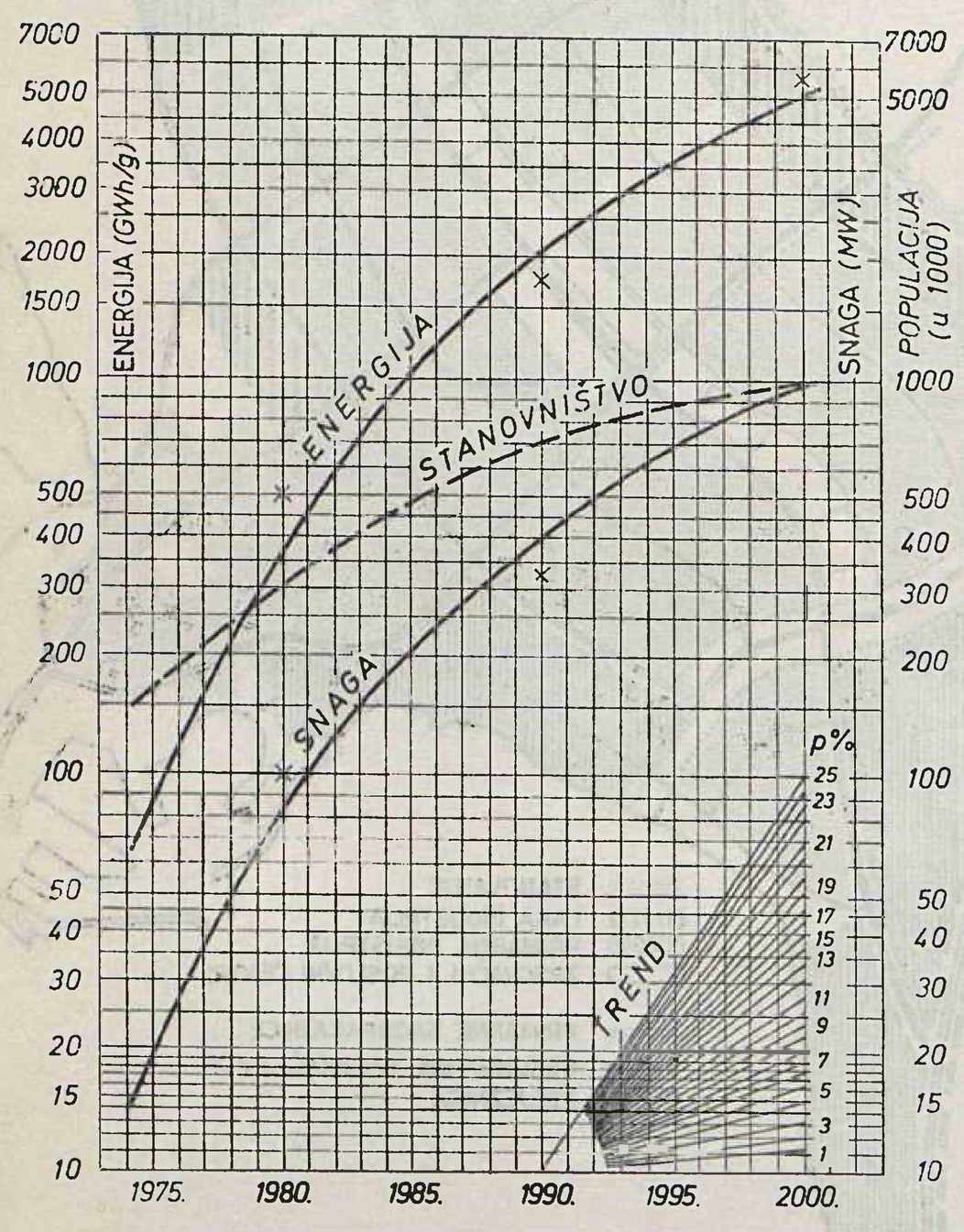
— *U III etapi razvoja (stanje oko 2000. god.) na:*

oko 1 000 MW i 5 500 GWh/g (velepotrošnja 60%, a široka potrošnja 40% — u širokoj potrošnji kućanstvo 40%, a ostali u zoni stanovanja disperzirani potrošači 60%).

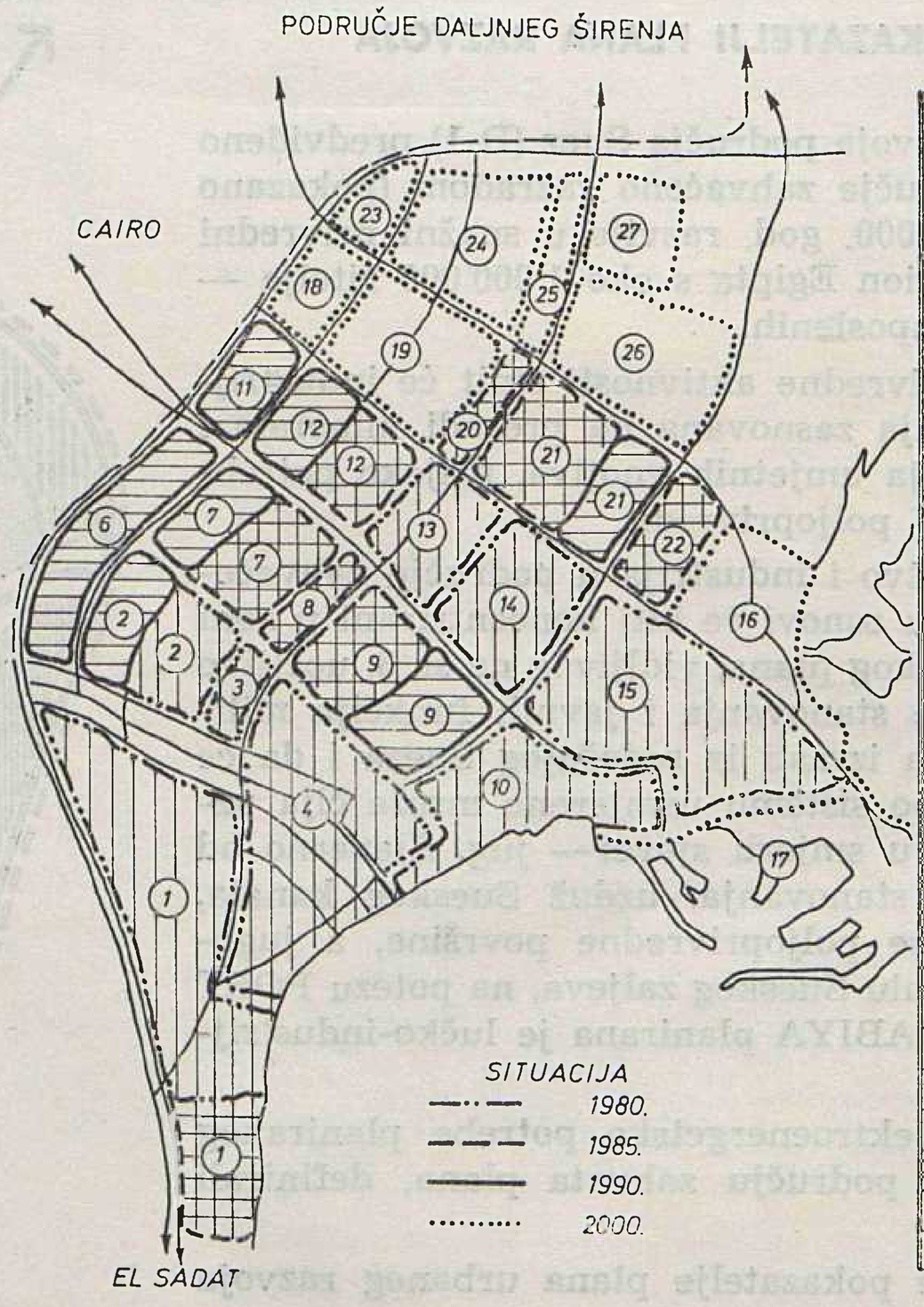
Krivulje tzv. aproksimiranih tokova razvoja konzuma Sueza (na sl. 4. deblje izvučene crte) pokazuju da ukupne elektroenergetske potrebe Sueza treba očekivati u redu veličine:

1980. god. oko 80 MW i 360 GWh/god.
1990. god. oko 400 MW i 2000 GWh/god.
2000 god. oko 1000 MW i 5100 GWh/god.

Za verifikaciju krajnjih rezultata, polaznih pretpostavki i upotrijebljene metode prognoziranja ističe se da struktura procijenjenog konzuma ostaje u granicama tradicionalno egipatske strukture u kojoj prema (D-1) velepotrošnja (industrijska i lučka postrojenja i vodoopskrba) u ukupnoj potrošnji sudjeluje s oko 2/3, a tzv. široka potroš-



Sl. 4. Dijagram prognoziranog toka razvoja konzuma Sueza



OZNAKA ZONE	KONZUM — MW		
	1980.	1990.	200
1	0	100	450
2	0	20	30
3	0	4	10
4	0	20	35
5	0		
6	0	10	15
7	0	20	35
8	0	4	5
9	0	20	30
10	20	30	50
11	0	10	15
12	0	10	30
13	5	10	20
14	10	15	25
15	30	40	80
16	8	4	6
17	2	5	15
18	0	0	15
19	0	0	35
20	0	3	5
21	0	10	35
22	0	5	15
23	0	0	10
24	0	0	35
25	0	0	4
26	0	0	25
27	0	0	10

Sl. 5. Situaciona energetska podloga

nja (kućanstva i ostali potrošači disperzirani u zoni stanovanja) s oko 1/3, dok kućanstva u konzumu same široke potrošnje sudjeluju s 1/3, a ostala potrošnja s 2/3.

Za daljnju verifikaciju izračunati su i pokazani indikatori prosječnog potroška energije u kućanstvu — jednom samom za sebe i jednom zajedno s ostalim u zoni stanovanja disperziranim potrošačima, te prosjeci ukupne potrošnje svedene na jednog stanovnika po ovdje danoj prognozi i po prognozi danoj u D-1.

Po ovdje danoj prognozi specifične elektroenergetske potrebe bi trebalo očekivati u redu veličine:

u I etapi (oko 1980. god.)

— ukupna potrošnja 1 200 — 1 600 kWh/st. god.
— potrošnja u širokoj potrošnji 2 200 — 3 000 kWh/kuć. god.
— potrošnja u kućanstvu 900 — 1 200 kWh/kuć. god.

u II etapi (oko 1990. god.)

— ukupna potrošnja 2 500 — 2 900 kWh/st. god.
— potrošnja u širokoj potrošnji 4 200 — 4 800 kWh/kuć. god.
— potrošnja u kućanstvu 1 700 — 1 900 kWh/kuć. god.

u III etapi (oko 2000. god.)

— ukupna potrošnja 5 100 — 5 600 kWh/st. god.
— potrošnja široke potrošnje 8 000 — 8 700 kWh/kuć. god.
— potrošnja u kućanstvu 3 200 — 3 500 kWh/kuć. god.

U D-1 je potrošnja električne energije u Suezu procijenjivana:

za I etapu razvoja (oko 1980. god.)

— u kućanstvu na 480 — 920 kWh/kuć. god.
— ukupna potrošnja 667 — 1 167 kWh/st. god.

za III etapu razvoja (oko 2000. god.)

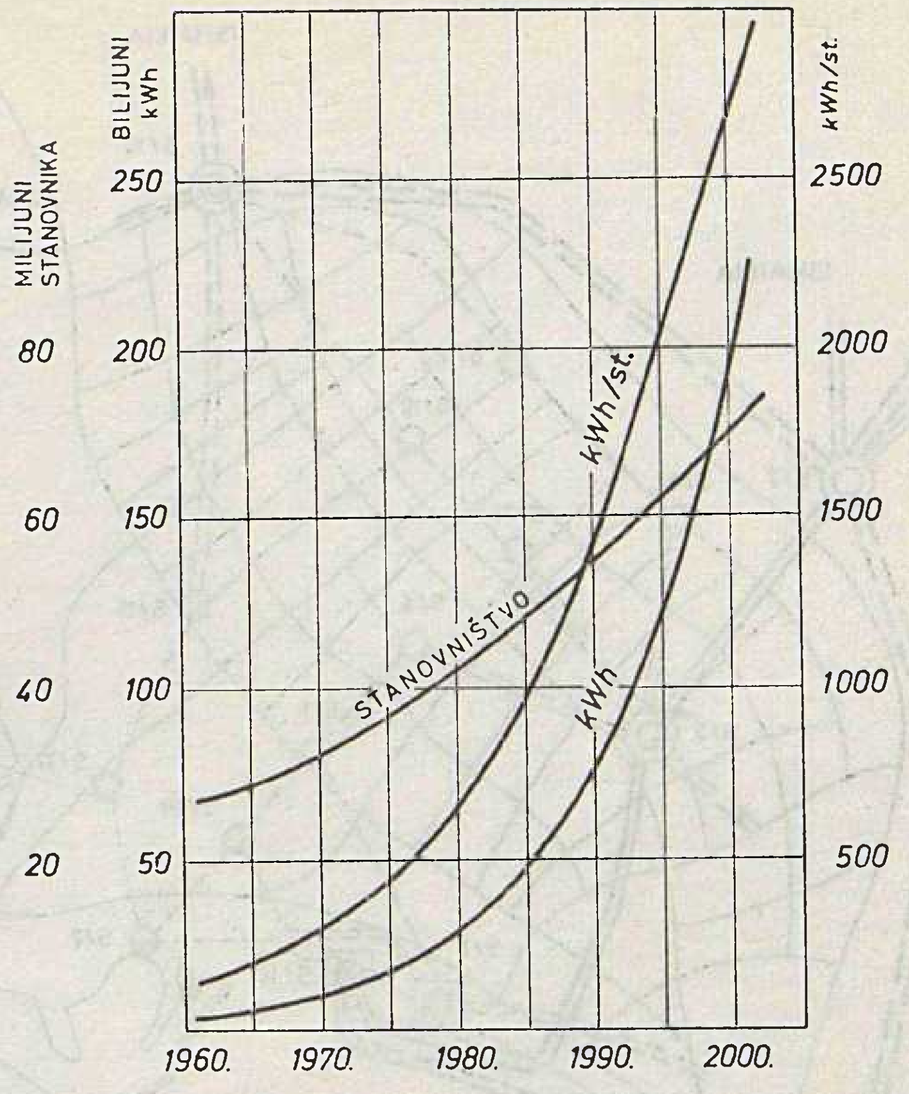
— u kućanstvu na 975 — 1 760 kWh/kuć. god.
— ukupna potrošnja 1 400 — 2 500 kWh/st. god.

Iz literature (D-2) poznata prognoza razvoja potrošnje električne energije u Egiptu pokazana je na sl. 6 i iz nje se vidi da bi potrošnja za planirane egipatske prilike trebala iznositi:

— u 1980. god. na oko 650 kWh/st. god.
— u 1990. god. na oko 1 500 kWh/st. god.
— u 2000. god. na oko 2 000 kWh/st. god.

Iz prezentiranih podataka uočava se da su rezultati ovdje danih prognoza znatno viši od onih u D-1 i da razlika proizlazi iz našeg bezrezervnog uvažavanja programa planiranog urbanog razvoja Sueza.

Smatramo da bi znatno manja potrošnja električne energije od one s kojom je ovdje računato mogla ugroziti dinamiku planiranog razvoja Sueza. Ako ipak dođe do usporavanja razvoja Sueza, onda će i konzum rasti sporije pa će dinamiku razvoja mreže trebati prilagoditi stvarnim prilikama.



Sl. 6. Dijagram prognoziranog toka razvoja elektroenergetskih potreba Egipta

RJEŠENJE SISTEMA OPSKRBE PLANIRANOG KONZUMA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Mreža s prijenosnim naponom 220 kV i sa distributivnim naponima 66, 11 i 0,4 kV u postojećim se prilikama nameće kao najrealnija mogućnost rješenja opskrbe Sueza električnom energijom. Naš prijedlog rješenja mreže s ovim sistemom dan je na sl. 7.

Ima li se, međutim, na umu:

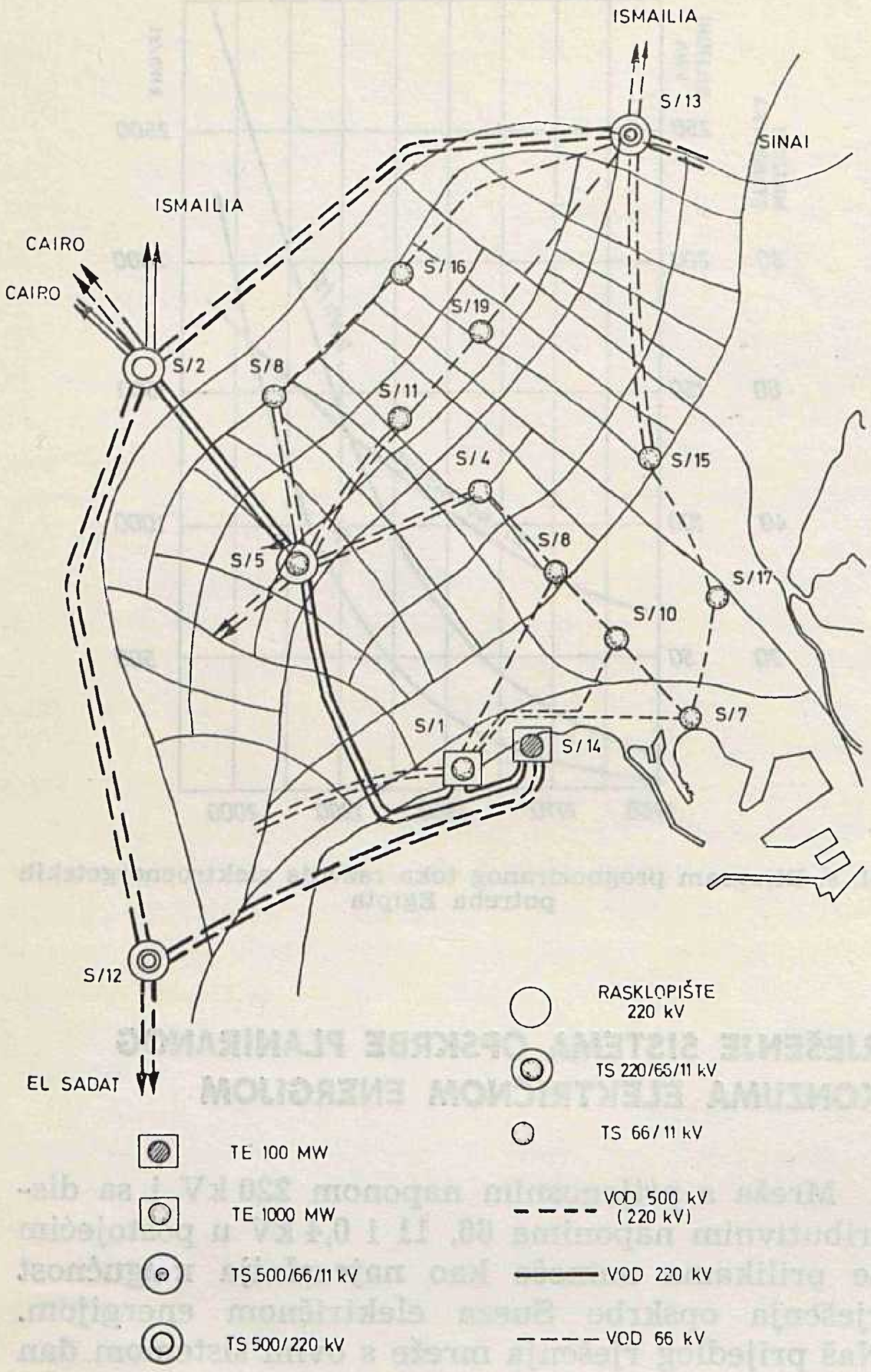
— da Egipat u svojim elektroenergetskim mrežama ima niz iz prošlosti naslijeđenih napona čije se vrijednosti, osim 500 i 220 kV nivoe, uklapaju u engleske standarde,

— da rezultati niza u svijetu poznatih istraživanja pokazuju da se ekonomičan prijenos i distribucija električne energije može vršiti samo sa sistemom s pomno odabranim nizom naponskih nivoa u kojem optimalan distributivni sistem ima tri naponska nivoa — niski (0,4 kV), srednji (10 ili 20 kV) i visoki (110 kV), te

— da je elektroenergetska mreža Sueza u minulom ratu razorena.

Lagano je utvrditi da je pitanje izbora naponskih nivoa u budućoj elektroenergetskoj mreži Sueza složen i odgovoran posao i da mu je nužno posvetiti puno pažnje.

Razradom postojećeg stanja i razvojnih mogućnosti osnovnog elektroenergetskog sistema Egipta, te prijenosne i razdjelne mreže grada Sueza, zatim iznosa i karaktera očekivanih elektroenergetskih potreba u njegovoj budućnosti, te razmatrajući formu područne aglomeracije, konfiguraciju terena, klimatske prilike, geološki sastav i namjenu tla i preliminarno pretpostavljenu unifikaciju ele-



Sl. 7. Rješenje mreže u varijanti 500/220/66/11/0,4 kV

menata mreža tokom daljnje izgradnje, došli smo do zaključaka:

— da napajanje budućeg elektroenergetskog konzuma na području obuhvaćenog ovom razradom treba orijentirati na osnovni elektroenergetski sistem Egipta i lokalne elektrane, te

— da u traženju najpovoljnijeg rješenja sistema napajanja i rješenja razdjelne mreže treba razraditi niz svih realno mogućih varijanti rješenja i tek nakon svestrane njihove usporedbe, odabrati ono, koje će u cjelini biti najpovoljnije.

Mi smo u prethodnoj studiji razmatrali niz rješenja koja su udovoljavala ovim osnovnim zahtjevima:

— da rješenje osigura potpuno napajanje značajnijeg konzuma i u slučaju ispada najvećeg agregata u lokalnoj elektrani, ili kvara na jednom neposrednom dovodu električne energije, ili kvara jednog transformatora, a da pri tome opterećenja vodova i transformatora preostalih u pogonu ne smiju prijeći granicu dozvoljene termičke opteretivosti, a pad napona ne smije iznositi više od 12% nazivnog napona.

— da se rješenje zasniva na preliminarno unificiranim elementima vodova — danim u tab. I i stanica — danim u tabl. II

Tablica I.

OSNOVNI PARAMETRI UNIFIKACIJE VODOVA	
Nazivni napon voda	Presjek i materijal vodiča
500 kV	3×(3×500) mm² Ač
220 kV	3×360 mm² Ač
110 kV	3×240 mm² Ač ili kabel 3×(1×240) mm² Cu
66 kV	3×150 mm² Ač ili kabel 3×(1×150) mm² Cu
20 kV	3× 95 mm² Ač ili kabel 3×(1×150) mm² Cu
11 kV	3× 95 mm² Ač ili kabel 3×120 mm² Cu

Tablica II.

OSNOVNI PARAMETRI UNIFIKACIJE TRANSFORMATORSKIH STANICA	
Naponski nivo transformacije	Instalirana snaga transformacije u konačnici
500/220 kV	2×300+300 MVA
500/110 kV	2×150+150 MVA ... 2×300+300 MVA
220/ 66 kV	2×100+100 MVA ... 2×150+150 MVA
110/ 20 kV	2× 20+ 20 MVA ... 2× 40+ 40 MVA
66/ 11 kV	2× 20 MVA ... 2× 40 MVA

Polazeći od napravljenih elektroenergetskih podloga, prilika na terenu, razdiobe konzuma po transformatorskim stanicama i zadanih uvjeta pogona mreže, razradili smo više varijanti rješenja mreže u sistemu 500-220-66-11-0,4 kV i sistemu 500-220-110-20--0,4 kV.

Na osnovi grubih analiza eliminirali smo manje vrijedne varijante rješenja i u svakom od promatranih sistema dobili jedno rješenje mreže.

Time smo riješili zadatak da pokažemo varijante realno mogućih rješenja opskrbe Sueza električnom energijom i opravdanost detaljnije razrade ovog problema.

U varijanti rješenja u sistemu 500-220-66-11-0,4 kV (danom na sl. 7) predviđene su tri etape razvoja.

— *U prvoj etapi razvoja Sueza (do oko 1980. god.)* napajanje područnog konzuma treba vršiti iz osnovnog elektroenergetskog sistema Egipta posredstvom transformacije 220/66/11 kV instalirane u termoelektrani S-1 i iz lokalnih elektrana.

Po ovom rješenju na početku prve etape razvoja Sueza planira se izgraditi termoelektranu S-1 s instaliranom snagom 100 MW i transformacijom 220/66/11 kV i plinsku elektranu S-3 instalirane snage 13 MW, povezanu 66 kV-tnim vodovima s elektranom S-1. S osnovnim elektroenergetskim sistemom Egipta termoelektrana S-1 bi se povezala posredstvom dvostrukog 220 kV voda preko rasklopne podstanice S-2 i dalje s dvostrukim 220 kV-tnim vodom s Kairom koji je vezan s elektroenergetskim izvorima Asuan.

Makrolokacije TS 66/11 kV (S/3 i S/4) i trase kabelskih vodova 66 i 11 kV definirane su u načelu oslanjanjem na planirane pokazatelje konzuma.

— *U drugoj etapi razvoja Sueza (do 1990. god.),* uz postojeće izvore napajanja i one izgrađene u prvoj etapi, gradila bi se nova transformatorska

stanica 220/66/11 kV (S/5), nove TS 66/11 kV (S/6 ... S/10) i vodovi 66 kV s kojima će se te stanice povezati sa svojim pojnim točkama.

— *U trećoj etapi razvoja (do 2000. god.)* u području obuhvaćenom razradom gradio bi se jedan jači izvor napajanja (S/14) instalirane snage 1000 MW, pojačale bi se veze s osnovnim elektroenergetskim sistemom Egipta, izradile bi se nove TS 66/11 kV i vodovi 66 kV s kojima bi ove stanice bile vezane na svoje pojne točke.

U sklopu rasklopne stanice (S/2) sagradila bi se transformatorska stanica 500/220 kV (S/2), a vezali bi je dva voda 500 kV na odgovarajuće čvorne stanice u području Kaira.

Za priključak proširene 66 kV-tne mreže izgrađene na osnovu potreba povećanog konzuma, osobito u industrijskoj zoni bi se izgradile još dvije pojne točke naponskog nivoa 220 kV. To su: transformatorska stanica 220/66/11 kV (S-12), smještena na rubu industrijskog područja i transformatorska stanica 220/66/11 kV (S/13), smještena na rubu grada nasuprot prethodnoj.

Obje spomenute transformatorske stanice 220/66/11 kV povezuju se dvostrukim vodovima s rasklopnicom 220 kV — S/2. Ti vodovi grade se odmah za naponski nivo 500 kV, a u pogonu su s naponom 220 kV do časa kada potrebe budu zahtijevale neophodno napon 500 kV. Tada će u spomenutim transformatorskim stanicama trebati odgovarajuća transformacija 500/220 kV.

Isto tako transformatorska stanica S/12 povezuje se s termoelektranom S/18 s 2 voda 500 kV. Vodovima 220 kV ona se povezuje s rasklopnim postrojenjem 220 kV u elektrani S/1. Putem njih termoelektrana (S/18) se uključuje i u elektroenergetski sistem.

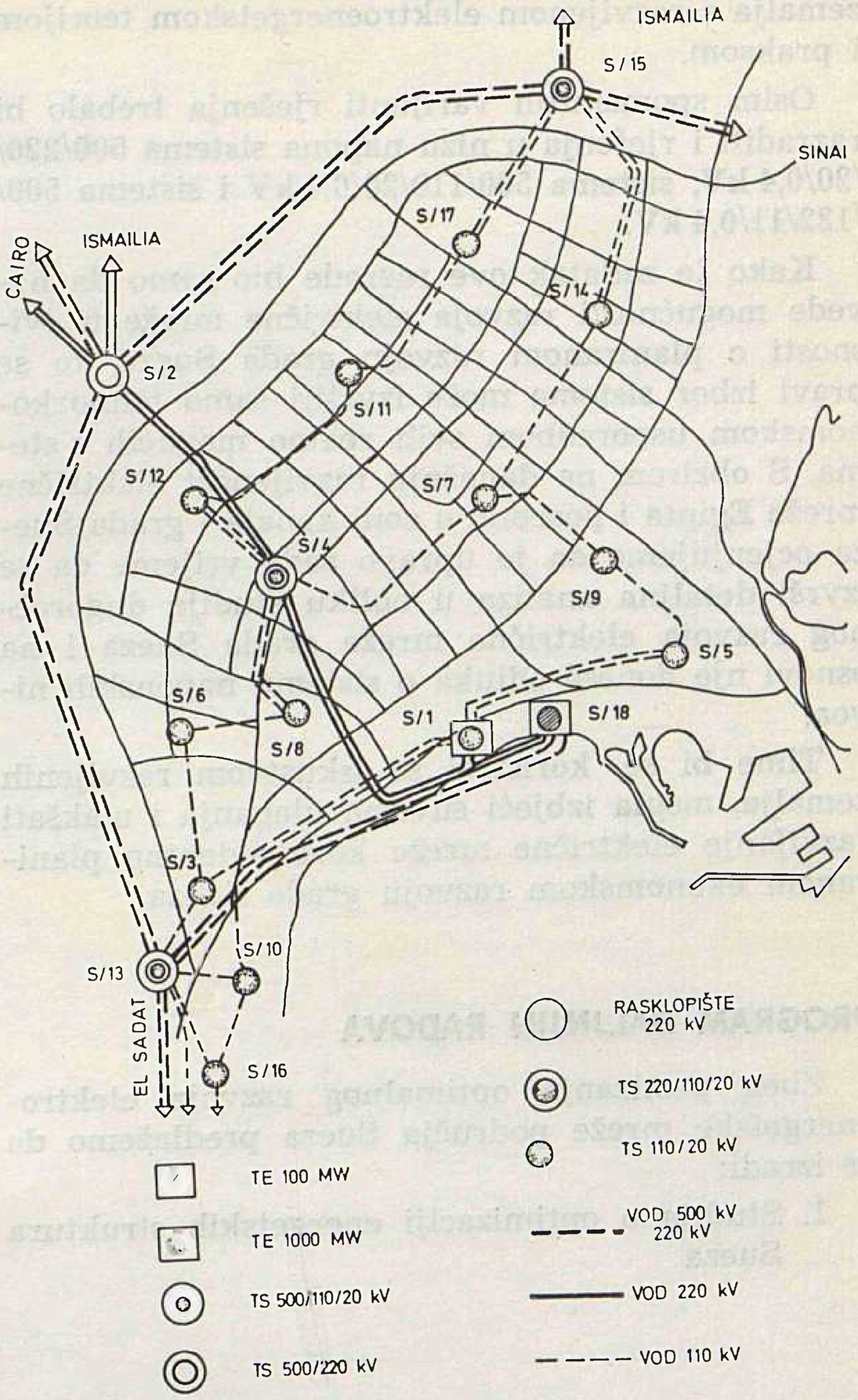
Rješenje mreže u sistemu 500/220/110/20/0,4 kV dano je na sl. 8. i iz njega se vidi:

— *da u prvoj etapi razvoja Sueza (do oko 1980. god.)* napajanje konzuma područja razrade u ovom sistemu imamo slične probleme kao i u sistemu 500/220/66/11 kV. Ovdje u termoelektrani S/1 mora biti transformacija 220/110/20 kV, a priključak plinske elektrane od 13 MW treba izvesti s kabelima 20 kV.

Radi napajanja konzuma u industrijskoj zoni ovdje je potrebno u prvoj etapi izgraditi i prvu transformatorsku stanicu 110/20 kV (S/3) i povezati je s dva 110 kV voda s 110 kV postrojenjem u termoelektrani S/1.

— *da u drugoj etapi razvoja Sueza (do 1990. god.)* treba izgraditi novu transformatorsku stanicu 220/110/20 kV (S/4) te nove tri transformatorske stanice 110/20 kV (S/5, S/6 i S/7). Nove transformatorske stanice 110/20 kV treba odgovarajućim 110 kV vodovima povezati s pojnim točkama 220/110/20 kV — S/1 i S/4.

— *da u trećoj etapi razvoja Sueza (do 2000. god.)* treba izgraditi novu termoelektranu od 1 000 MW (S/18), dvije transformatorske stanice 500/110 kV (S/13 i S/15) i dvostruki dalekovod Kairo—Suez napona 500 kV. Ovdje na lokacijama pojnih stanica 500/220/66 kV u sistemu 500/220/66/11/0,4 kV treba izgraditi transformatorske stanice 500/220/20 kV — S/13 i S/15, te vodove 500 kV koje te stanice povezuju s TS 500/220 kV — S/2, odnosno s termoelektranom S/18. Ti vodovi, kao i postrojenja u stanicama treba graditi za napon 500 kV zadržavajući ih u pogonu s naponom 220 kV dok ne bude neophodan prelaz na napon 500 kV.



Sl. 8. Rješenje mreže u varijanti 500/220/110/20/0,4 kV

ZAKLJUČAK

Sadašnje stanje u električnim mrežama Eegipta i Sueza dozvoljava da se za buduću mrežu grada Sueza odabere tehnoekonomski povoljniji sistem napona od onog koji je u Suezu do sada razvijan.

Od niza mogućih varijanti rješenja ovdje ističemo dvije; jednu u sistemu 500-220-66-11-0,4 kV zbog toga što je obnova grada pošla sa sistemom 220/66/11/0,4 kV, pa stoga ima realne izglede da se i dalje razvija, a drugu u sistemu 500-220-110-20-0,4 kV stoga da skrenemo pažnju na iskustva

zemalja s razvijenom elektroenergetskom teorijom i praksom.

Osim spomenutih varijanti rješenja trebalo bi razraditi i rješenja u nizu napona sistema 500/220/ /20/0,4 kV, sistema 500/110/20/0,4 kV i sistema 500/ /132/11/0,4 kV.

Kako je zadatak ove razrade bio samo da navede mogućnosti razvoja električne mreže u ovisnosti o planiranom razvoju grada Sueza, to se pravi izbor sistema može izvršiti samo tehnoekonomskom usporedbom svih realno mogućih sistema. S obzirom na današnju razvijenost električne mreže Egipta i posebno u zoni kanala i grada Sueza ocjenjujemo da je upravo sada vrijeme da se izvrši detaljna analiza u obliku studije dugoročnog razvoja električne mreže grada Sueza i na osnovi nje donese odluka o sistemu naponskih nivoa.

Time bi se, koristeći se iskustvom razvijenih zemalja, mogla izbjeći suvišna ulaganja i olakšati razvijanje električne mreže korespodentno planiranom ekonomskom razvoju grada Sueza.

PROGRAM DALJNJIH RADOVA

Zbog postizanja optimalnog razvoja elektroenergetske mreže područja Sueza predlažemo da se izradi:

1. Studija o optimizaciji energetskih struktura Sueza
2. Studija o izboru optimalnog niza naponskih nivoa u elektroenergetskoj mreži Sueza
3. Studija o izboru normativa za računanje perspektivnih elektroenegetskih potreba konzuma u Suezu
4. Studija o izboru osnovnih parametara standardizacije vodova i transformatorskih stanica u elektroenergetskoj mreži Sueza
5. Studija o stanju i tendencama razvoja struja i snaga kratkog spoja u elektroenergetskoj mreži Sueza
6. Studija o rješenju razvoja elektroenergetske mreže Sueza do 2000. god.
7. Studija o opravdanju izgradnje nove elektrane Suez
8. Investicione programe za izgradnju pojedinih vodova i transformatorskih stanica.

DOKUMENTACIJA

D-1 Suez Master Plan, Sir William Halerow & Partnes Robert Matlhew, Johnson-Marshall & Partners, Economic Consultante Limited Hamed Kaddah & Associates-Professors Ismail Shafih and Goafar, Cairo, August, 1975. god.

D-2 Fremont: Energy Forecost for under Developed Countries Energy International, December, 1964. god.

D-3 Hartl, Vagić: Study of Electrical Network Development for the City of Suez by the Year 2000 Elektroprojekt, Zagreb, 1976. god.

Naslov pisaca:

Vladimir Hartl, dipl. ing.
Nikola Vagić, dipl. ing.
Elektroprojekt, Zagreb

Elektra e k
KOPRIVNICA

OOUR ELEKTRE — ZAGREB
PODUZEĆA ZA DISTRIBUCIJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

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

ZAŠTITA NA RADU I PROTIVPOŽARNE MERE U DALJINSKI UPRAVLJANIM ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

SUŠTINA PROBLEMA

U poslednjih 10—15 godina sve se više koristi daljinsko upravljanje elektroenergetskih postrojenja. To diktiraju veliki izdaci na lične dohotke pogonskog osoblja i sve oštriji zahtevi potrošača za neprekidnim snabdevanjem električnom energijom, što iziskuje da kvalifikovanije osoblje obavlja manipulacije u što kraćem vremenu. Zbog toga je opravdano i sa ekonomskog gledišta i sa gledišta eksploatacije da se elektroenergetskim postrojenjima upravlja iz jednog ili više komandnih centara, čije su posade sastavljene od visokokvalifikovanih stručnjaka i koji su opremljeni najsavremenijim tehničkim sredstvima.

U neposednutim elektroenergetskim postrojenjima, tj. u elektroenergetskim postrojenjima bez stalne posade, više ne postoji lice koje bi moglo da saopštava svoja zapažanja, da obavlja odgovarajuću vizuelnu kontrolu, da primeti požar u početnoj fazi izbijanja, da odmah preduzme potrebne mere i da stavi u dejstvo protivpožarna tehnička sredstva. Za daljinski upravljana elektroenergetska postrojenja uglavnom ostaju na snazi i zadovoljavaju zahtevima u pogledu protivpožarnih mera oni propisi koji važe za elektroenegetska postrojenja sa stalnom posadom. Međutim postoji i niz pojedinosti, koje će se dalje rasmatrati.

KONCEPCIJA DALJINSKOG UPRAVLJANJA STEWEAG*

Da bi se razumela i ocenila odabrana tehnička rešenja u pogledu bezbednosti i zaštite od požara, trebalo bi pre svega dati kratak opis koncepcije daljinskog upravljanja u elektroenergetskom sistemu STEWEAG.

U elektroenergetskom sistemu STEWEAG sada se nalazi u pogonu 31 razvodno postrojenje u transformatorskim stanicama reda 110 kV, koje pripadaju Austrijskom elektroprivrednom duštvu (Združeno preduzeće). Tome treba još dodati 32 transformatorske stanice srednjih napona i 66 razvodnih postrojenja u mreži srednjih napona.

U toku poslednjih 15 godina težilo se je da se uvede daljinsko upravljanje razvodnim postrojenjima iz obližnjih postrojenja sa stalnom posadom, što je prihvaćeno kao osnovna opšta koncepcija. To je odredilo prirodnu strukturu mreže i grupisanja elektrana, kao i na osnovu toga provedenu organizaciju eksploatacije.

Mreža elektroenergetskog sistema STEWEAG podeljena je u 7 reona. Svaki od tih reona raspolaže odgovarajućim pogonskim osobljem i stalno prisutnim stručnjakom ovlašćenim da obavlja manipulacije.

Iz sedišta reona (reonskog centra) upravlja se radom transformatorskih stanica koje su u pripadajućem reonu električnih mreža. Izuzetak čine samo razvodna postrojenja u neposrednoj blizini elektrana sa stalnom posadom, kojim se iz ekonomskih razloga upravlja sa električne komande samih tih elektrana, koje imaju stalnu posadu, ili su ona uključena u sistem daljinskog upravljanja elektranom, ako se samom elektranom upravlja iz daljine.

Reonski centri daljinskog upravljanja mrežom smešteni su ili u lokalnim transformatorskim stanicama, što je do sada važilo kao pravilo, ili u specijalno podignutim zgradama.

Hidroelektrane elektroenergetskog sistema STEWEAG povezane su u grupe prema hidrološkim uslovima. Hidroelektranama jedne grupe upravlja se iz komandnog centra, koji vrši kontrolu njihovog pogona. Za davno sagrađene elektrane na gornjem toku reke Mure ovo zasada nije izvodljivo iz tehničkih razloga. Odgovarajuća koncepcija za niz hidroenergetskih stepenica štajerskih hidroelektrana na reci Ens već se provodi u delo. Mala pumpna hidroelektrana St. Martin u zapadnoj Štajerskoj od trenutka kada je stavljena u pogon, 1965. godine, kontroliše se i njome se upravlja sa glavne hidroenergetske stepenice »Arnštajn«. Za 4 hidroelektrane na donjem toku reke Mure razrađen je specijalni sistem kontrole.

Stepenice su opremljene regulatorima nivoa i automatikom za zaustavljanje. Signali o kvarovima dolaze dežurnom u susednu hidroelektranu ili u stanove dežurnih u smeni. Za izuzetne slučajeve predviđeno je da se nekvitirani signal posle 20 minuta prenosi dispečeru u Grac, koji o tome izveštava administraciju u Arnštajnu.

Sa gledišta pouzdanosti pogona važna je tehnička koncepcija odgovarajućeg sistema daljinskog upravljanja. Do sada daljinsko upravljanje izvodilo se je posebno za svako razvodno postrojenje, pa se komandna ploča postrojenja postavljala odvojeno u prostoriji centra za daljinsko upravljanje ili u specijalno predviđenoj prostoriji. To podjednako važi i za kompletno daljinsko upravljanje transformatorskim stanicama 110 kV i nazvano je u STEWEAG »prvi nivo«, kao i za jednostavno daljinsko upravljanje predviđeno za najvažnija razvodna postrojenja i transformatorske stanice u mreži srednjih napona, nazvano u STEWEAG »drugi nivo«. Za »drugi nivo« koristi se aparatura razrađena u STEWEAG, a predviđena je za prenos

* STEirische Wasserkraft und Elektrizitäts Aktien Geselschaft — Štajersko hidroenergetsko i električno akcionarsko društvo

osam binarnih komanda, osam binarnih signala i četiri signala upozorenja.

Od tih klasičnih rešenja principijelno se razlikuju objedinjena opšta rešenja za pojedine centralne komande.

U elektroenergetskom sistemu STEWEAG-a stavljena je u pogon centralna komanda za reon Graca. Ovde postoji sistem daljinskog upravljanja sa više korisnika, manja računska mašina da bi se olakšao rad osoblja, mozaična svetleća šema mreže i signalizacija kvarova, komandne ploče, pokazni instrumenti i registrirajući instrumenti.

ORGANIZACIJSKE MERE

U postrojenjima sa stalnom posadom dežurni rukovalac na komandi razvodnog postrojenja, odnosno dežurni mašinista u elektrani, obavlja funkcije stalnog prijemnika signala; njemu spolja dolaze podaci o vanrednim događajima u postrojenjima, njemu se javlja strano osoblje pri izvođenju radova, kome on po potrebi uručuje dokumentaciju za izvođenje radova, izdaje dozvole za rad i slična pismena akta.

Za transformatorske stanice bez stalne posade u elektroenergetskom sistemu STEWEAG razrađeni su aparati koji zamenjuju dežurnog rukovaoca.

Na ulaznoj kapiji transformatorske stanice, odnosno elektrane, bez stalne posade postavlja se tabla za obaveštenje, na kojoj je ispisan naziv objekta, reon kome objekt pripada, kao i brojevi telefona za saopštavanje o kvarovima ili vanrednim zapažanjima. Ulaz stručnjaka STEWEAG-a u svako doba u neposednute transformatorske stanice omogućen je na taj način što je u elektroenergetskom sistemu STEWEAG uveden sistem jedinstvenog ključa za sve visokonaponske prostorije. Za svaku transformatorsku stanicu, u koju moraju da imaju pristup u slučaju potrebe takođe i inženjeri i stručnjaci specijalnih potrošača, predviđeni su individualni ključevi. Da se jedinstveni ključ za visokonaponska postrojenja ne bi izdavao licima koja nisu službenici STEWEAG, jedan primerak takvog ključa čuva se u sandučetu na ulaznoj kapiji; ovim ključem mogu da se posluže službenici STEWEAG, koristeći svoj jedinstveni ključ za visokonaponske prostorije.

Da bi se na centralnoj komandi raspolagalo pouzdanim podacima o licima koja ulaze ili napuštaju postrojenje, sem izričite naredbe kojom se sopstvenom osoblju nalaže da se obavezno javi telefonom, na ulaznim i izlaznim vratima još su postavljeni signalni kontakti tako da se svako otvaranje vrata automatski prenosti na centralnu komandu u vidu signala »Vrata otvorena«. Jedna signalna sijalica, montirana pored ulaznih vrata razvodnog postrojenja, ugasi se tek onda kada se vrata ponovo zatvore. Prebacivanje daljinskog upravljanja transformatorskom stanicom za lokalno upravljanje takođe prate odgovarajuće signalne sijalice na vratima transformatorske stanice i na centralnoj komandi.

U pogledu postrojenja bez stalne posade treba obavezno računati s tim da radove mogu izvoditi kvalifikovana lica koja ne poznaju u detaljima dotično postrojenje. Zbog toga posebna pažnja poklonjena je jednoobraznim oznakama i preglednom rasporedu pomoćnih sredstava. To se odnosi npr. na lakopristupačne i izvedene van zaključane visokonaponske prostorije, instalacije rezervnog osvetljenja i telefona, lak prilaz knjizi naloga, kao čitak spisak važnih telefona, sem toga na lako pristupačan i uočljiv razmeštaj sredstava za gašenje požara, šemu postrojenja i sredstava za zaštitu na radu, npr. naprave za postavljanje uzemljenja, opomenske tablice.

Jedno od pitanja organizacije predstavlja takođe praćenje održavanja postrojenja u ispravnom stanju. Sigurno ne bi imalo smisla da se jedno postrojenje koristi bez stalne posade, a da se kasnije izvode preterano česti pregledi. U elektroenergetskom sistemu STEWEAG-a ne postoji neko kruto pravilo u pogledu učestalosti pregleda. To se ne može jednoznačno odrediti jer se daljinski upravljana postrojenja jako međusobno razlikuju. U hidroenergetskim postrojenjima, sem pomenute male hidroelektrane St. Martin, obavljaju se svakog dana kontrolni obilasci. Teži se da se u transformatorskim stanicama kontrole na licu mesta obavljaju najmanje jedan put nedeljno. Pošto u većini slučajeva monteri jednog reona stanuju u blizini, to se i većina transformatorskih stanica često kontroliše. Rezultati pregleda i zapažanja unose se u knjigu transformatorske stanice.

MERE ZA ZAŠTITU NA RADU I POUZDANOST POGONA

Zaštita na radu u postrojenjima sa uobičajenim sistemom daljinskog upravljanja temelji se na poštovanju sledećih pravila:

Pravilo 1: »Isključenje sa svih strana i svih faza«. — Važni zahtevi sa gledišta zaštite na radu se odnose na pravilno prenošenje signala daljinskog upravljanja i pouzdano davanje signala o izvršenju. Prema rukovodećim smernicama STEWEAG-a za izgradnju sistema daljinskog upravljanja moraju da se zadovolje sledeći uslovi:

a) Odstraniti uticaj smetnje na kanal za prenos. Ovo znači npr. da se u datom rasteru impulsnih pošiljaja, u kojem su pojedini elementi informacije poređani prema informaciji koja može da se koristi, najmanje četiri elementa informacije moraju izmeniti da bi se dobila nova informacija (Hammingova distanca).

b) Pouzdanost izdavanja komandi putem samokontrole postrojenja. To znači da se pre izdavanja definitivne komande za manipulaciju mora samo postrojenje proveriti u pogledu pravilnosti i verodostojnosti za korišćenje putem povratnog slanja informacija ili drugim sličnim metodama kon-

trole, kako bi se bezuslovno isključila mogućnost prenosa pogrešnih signala usled kvara na nekom od elemenata sistema daljinskog upravljanja.

c) Pouzdanost prenosa informacija. To znači da se i u postrojenjima sa automatskim prenosom informacija sva saopštenja moraju iz razloga pouzdanosti neprekidno kontrolisati i prenositi se putem trajnog ciklusa prenosa manjeg prioriteta.

Sistem daljinskog upravljanja u potpunosti odgovara tim zahtevima. Radi povećanja pogonske pouzdanosti sistema daljinskog upravljanja obično se predviđa još jedan kanal, na koji se automatski prelazi u slučaju smetnji u osnovnom kanalu.

Usporedo sa pouzdanošću tehnike daljinskog upravljanja, važnu ulogu igra i pouzdanost signalnih prekidača komutacionih aparata. U prvim daljinskim upravljanim postrojenjima ovo je izazvalo osetne teškoće.

Ipak, pomenuti problem rešen je uspešno.

Smatra se da daljinski upravljana postrojenja moraju po mogućnosti uvek imati i lokalno upravljanje, sem upravljanja sa centralne komande. To znači da se u slučaju potpuno ispravnog sistema daljinskog upravljanja razvodnim postrojenjem upravlja iz daljine čak i onda kada se u postrojenju nalaze ovlašćena lica za izvođenje manipulacija, a koja izvode neke radove, s tim da ovo osoblje u sličnim slučajevima bude informisano o signalima opasnosti ili o položaju komutacionih aparata. Elektroenergetski sistem STEWEAG-a predviđa ne samo prebacivanje na daljinsko upravljanje ili na lokalno upravljanje, već i prebacivanje u međupoložaj, kada ostaje daljinsko upravljanje, ali se svi signali prenose ne samo na komandu daljinskog upravljanja, već se dupliraju na licu mesta.

Pravilo 2: »Isključiti mogućnost ponovnog uključenja« — Na putu daljinskog upravljanja, kao i u postrojenjima kojim se upravlja sa svoje sopstvene komandne ploče, moraju da postoje tabloi izvršenih signala i odgovarajuće slepe šeme. Treba primetiti da se tabloi tipa na zabadanje, izrađuju na žalost u veoma različitim oblicima; to predstavlja veliku manu sa gledišta zaštite na radu. Pravilo 2. efikasno se izvršava ako se ne prebacuje na lokalno upravljanje. Ako se u razvodnom postrojenju izvode radovi, onda nadzorno osoblje prebacuje »prekidač revizije«, koji je predviđen u elektroenergetskom sistemu STEWEAG-a. Time se blokiraju svi signali upravljanja u dotičnoj ćeliji, odnosno polju razvodnog postrojenja.

Pravilo 3: »Uveriti se da nema napona« — Ovde važe ona ista pravila, kao i za obična postrojenja bez daljinskog upravljanja.

Pravilo 4: »Uzemljiti i kratko spojiti« — Pre dvadesetak godina u elektroenergetskom sistemu STEWEAG-a bilo je uobičajeno da se naprave za uzemljenje uključuju samo na licu mesta, a ne sa komande, jer je vladalo mišljenje da se naprave za uzemljenje moraju pregledati pre početka radova. Kasnije se prešlo na upravljanje napravama za uzemljenje sa komandnog pulta, ali daljinsko upravljanje nije koristilo u prvom redu zato što se smatralo potrebnim da se na licu mesta obavi kontrola funkcionisanja naprave za uzemljenje. Sada počinje da preovlađuje mišljenje da se bez daljeg može dozvoliti daljinsko upravljanje napravama za uzemljenje, jer, sa jedne strane, pri upravljanju sa centralnog komandnog pulta manja je verovatnoća da se izvrše pogrešne manipulacije, a s druge strane, sadašnja tehnika daljinskog upravljanja veoma je pouzdana. Radi veće bezbednosti zaposlenih na licu mesta vrši se ispitivanje naprava za uzemljenje; pri ovom ne mora da prisustvuje lice odgovorno za manipulacije.

Pogonsko iskustvo u toku jedne godine pokazalo je da nije bilo nikakvih smetnji u radu naprava za uzemljenje i kratko spajanje kojim se upravlja iz daljine.

Pravilo 5: »Zakloniti delove pod naponom u blizini i ograditi opasna mesta« — Ove mere u principu ne zavise od načina upravljanja postrojenjem. U slučaju daljinski upravljanih razvodnih postrojenja poželjno je već u fazi planiranja predvideti pregrade koje se umeću. Opravdana su delomično izolovana razvodna postrojenja sa opremom montiranom na kolicima koja mogu da se izvlače.

ZAŠTITA OD POŽARA U NEPOSEDNUTIM DALJINSKI UPRAVLJANIM POSTROJENJIMA

Veoma je važna zaštita od požara u neposednutim daljinski upravljanim postrojenjima. Očigledno je da se u slučaju požara mora što pre obavestiti sve osoblje i požarne komande. Najprikladnije je da se signal istovremeno prenosi požarnim komandama i na mesta gde postoji osoblje mreže.

U elektroenergetskom sistemu STEWEAG-a daljinski upravljane transformatorske stanice 110 kV, kao i daljinski upravljane elektrane snage preko 5 MW, načelno su opremljene požarnom signalizacijom koja primećuje požar već u početnoj fazi njegovog izbijanja. Zbog toga je nužno da se osoblje koje bi se našlo na radu u takvom postrojenju opomene natpisom: »Ne pušite! Radi sistem za signalizaciju pojave dima!« Signal o delovanju protivpožarne zaštite prenosi se na komandni pult, sa koga se odmah obaveštavaju požarne komande. U elektranama na donjem toku reke Mure sem toga montirana je oprema koja pri delovanju uređaja za signalizaciju dima, daje signal za uzbunu preko obične poštanske telefonske mreže u stanove požarnika. Dok se ne kvitira, signal se naizmenično prenosi požarnicima i službenicima elektrana.

U neposednutim postrojenjima naročitu važnost dobijaju mere protiv začađivanja celog objekta i za brzu evakuaciju vazduha iz ugroženih prostorija, jer treba računati sa zakašnjenjem stupanja protiv požarnih sredstava u dejstvo.

Svi kablovski uvodi i otvori u zidovima pažljivo se zaptivaju azbestnom masom. Svi otvori između pojedinih prostorija se opremaju automatskim klapnama koje se zatvaraju čim uređaj za signalizaciju pojave dima da signal. Na taj način obustavi se dotok svežeg vazduha u ugroženu prostoriju.

U velikim transformatorskim stanicama montirani su sisajući ventilatori koji omogućavaju da se vazduh brzo ukloni iz razvodnog postrojenja, prostorije za relejnu zaštitu i prostorije za daljinsko upravljanje i signalizaciju. Ti ventilatori služe u normalnim uslovima za običnu ventilaciju prostorija. Na jednoj od transformatorskih stanica za ventilaciju koriste se svetlarnici u tavanici, koji se automatski otvaraju, čim se pojavi dim.

Efikasnost protivpožarnih sredstva kontroliše se periodično, dok se sa osobljem i požarnim komandama izvode vežbe iz protivpožarne zaštite.

LITERATURA

1. Steinbauer E. — Sicherheits- und brandschutztechnische Masnahmen bei ferngesteuerten Anlagen. »ÖZE«, 1976, 29, No-6, 253—258.
2. Filistovič V. M. — Tehnika bezopasnosti i protivpožarnye meroprijatija v teleupravljajemyh RU- »Ekspress-informacija«, Električeskije stancii, seti i sistemy, № 38, 32—36.

KIRIL TROPIN

ELEKTRA

KRIŽEVCI

ELEKTRA KRIŽEVCI

OSNOVNA ORGANIZACIJA UDRUŽENOG RADA

ELEKTRE ZAGREB

TRG KALNIČKIH PARTIZANA 3

Telefon: 74-322, 74-074, 74-100

»ISTRAŽIVANJA POJAVA KOD ENERGETSKIH KONVERZIJA ZA TERMOENERGETSKA POSTROJENJA«

PROJEKT ZAJEDNICE ISTRAŽIVAČKIH USTANOVA STROJARSTVA, BRODOGRADNJE I ELEKTROTEHNIKE

UVOD

U svakoj je zemlji opskrba energijom preduvjet privrednog razvoja i standarda stanovništva, ali razvoj energetike znači još i razvoj industrije za proizvodnju opreme za energetiku. Stalni, upravo zakoniti porast energetske potrošnje traži stalna, sa zakonitim trendom porasta, ulaganja u energetsku privredu, a to znači stalno veću i veću djelatnost proizvodnje energetske opreme. Investicije u energetsku privredu predstavljaju značajan dio od ukupnih investicija u zemlji (25% od ukupnih ulaganja u industrijsku djelatnost) i u stalnom su odnosu s porastom narodnog dohotka.

Za ostvarenje opće privredne politike svake zemlje, naime za postizavanje stalnog privrednog rasta uz punu zaposlenost, stabilnost cijena i izbalansirana platna bilansa s inozemstvom, energetika ima veoma važnu ulogu za postizavanje ovih ciljeva putem dovoljnog, redovnog i pouzdanog snabdijevanja energijom, uz cijene koje moraju biti na svjetskom paritetu. Međutim, treba naglasiti da se u djelatnosti energetike, u energetskim troškovima, samo oko 30% vrijednosti troši za rad pri dobavi i korištenju nosilaca energije, a oko 70% za rad uložen u izgradnju sredstava za eksploataciju, pretvorbu, prijenos, distribuciju i korištenje energije. Za društvenu ekonomiju regija koje ta sredstva mogu same proizvesti nije stoga svejedno da li se ona uvoze ili se proizvode u zemlji, sve dok plaćevna bilanca nije izravnana. Drugim riječima, narodni dohodak u energetici treba da se većim dijelom utroši na teritoriju gdje je ostvaren, a to znači da izgradnju novih energetskih uređaja obavlja u maksimalno mogućoj mjeri privreda vlastitog energetskog područja i tako stvara dodatni nacionalni dohodak.

Jugoslavija približno svakih 7 godina udvostručuje svoju potrošnju električne energije. Ovaj podatak naveden je da pokaže kakvi se napori ostvaruju u području investicione izgradnje u energetici u Jugoslaviji. Naša strojogradnja, ako se želi uključiti u ovaj proces, mora poduzeti sve moguće mjere za povećanje svoje sposobnosti proizvodnje, a naročito se osposobiti za svladavanje konstruktivnih problema opreme za energetska postrojenja, da u konkurenciji sa stranim proizvođačima može dati najsuvremenija rješenja.

Znanstveno istraživanje, kako osnovno, tako i primijenjeno, osigurava da se dolazi do usavršavanja tehničkih rješenja, unose nove kvalitete i dimenzije u proizvodnju energetske opreme, to sve u krajnjoj namjeri da se smanje troškovi proizvodnje energije, a poveća sigurnost i kvaliteta dobave. Znanstveno istraživanje je jedan od najvažnijih faktora za postizavanje konkurentske sposobnosti naše strojogradnje i ovaj projekt Zajednice istraživačkih ustanova strojarstva, brodogradnje i elektrotehnike u Republici Hrvatskoj ima svrhu da putem inicijalnih društvenih sredstava unaprijedi istraživanja u području izgradnje klasičnih termoenergetskih postrojenja u našoj republici, i to iz dva razloga. S jedne strane, pretežni dio industrije za izgradnju ove opreme, u okviru Jugoslavije, nalazi se u Hrvatskoj, a s druge strane u Jugoslaviji predstoji veliki razvoj na iskorištavanju primarnih energetskih goriva za potrebe konverzije u razne vrste energije, u prvom redu električne.

Naša zemlja raspolaže relativno velikim prirodnim energetskim potencijalom. Vodna energija cijeni se na 65 milijardi kWh godišnje (proizvodnja hidroelektrana u 1976. god. bila je oko 20 milijardi kWh), ugljene eksploatabilne rezerve su danas poznate sa oko 12 milijardi tona, pretežno lignita, što daje, uz pretpostavku da se 80% tih rezervi troši u termoelektranama, oko 90 milijardi kWh godišnje za vrijeme od 100 godina. Proizvodnja u termoelektranama Jugoslavije bila je 1976. god. oko 20 milijardi kWh. Osim toga imamo nafte i prirodnog plina, a treba računati i s uvozom nafte radi razvoja mehanizacije i automobilizma, a time i s raspoloživošću mazuta kao nusproizvoda u našim rafinerijama. Isto tako treba računati i s uvozom konjunkturnog prirodnog plina. Nadalje, na osnovi do sada izvršenih geoloških istraživanja možemo računati i s izvjesnim rezervama urana.

Naše prirodne rezerve fosilnih goriva daju podlogu za veći razvoj termičke proizvodnje električne energije nego što je to bilo do sada. Tome je bio razlog politika usmjeravanja na izgradnju hidroelektrana, kao osnovne baze za proizvodnju električne energije, dok su termoelektrane bile tretirane kao dopuna. Sada su vodne snage iskorištene 35%, a očekuje se da će za oko 10 godina stupanj iskorištenja postići već 60%, pa treba računati da će postepeno funkciju osnovne energetske baze preuzimati ugljen, mazut i uran. Uzevši vjerojatni porast potrošnje električne energije u Jugoslaviji (blizu 2000 god. trebalo bi dostići godišnju proizvodnju električne energije preko 200 milijardi kWh) i postepeni prijelaz na pretežno termičku proizvodnju, trebalo bi očekivati da će klasične termoelektrane moći zadovoljavati svoj dio proizvodnje u sistemu još 50 do 60 godina, zavisno, u prvom redu, od uključivanja nuklearnih elektrana.

Može se zato zaključiti da će se značajni dio naše termoenergetike zasnivati na klasičnim ener-

getskim izvorima i da upravljanje naučnoistraživačkog rada prema problemima proizvodnje opreme za klasična postrojenja — tako da rezultati služe i za nuklearna postrojenja — ima veliko opravdanje, to više što veliki značaj imaju i potrebe razvoja industrijskih energana, brodarstva, zatim toplifikacije naselja i gradova i drugih područja gdje se pojavljuje isključivo klasična termoenergetika, što povećava i proširuje probleme naučnoistraživačkog rada za specijalnu opremu za ovu namjenu.

Poznato je da se u prošlosti energetika u našoj zemlji opskrbljivala opremom uglavnom iz uvoza, uz neke izuzetke (hidrogeneratori, transformatori). Parne turbine, parni kotlovi, električni turbogeneratori, brodski Diesel-motori, hidrauličke pumpe i gotovo sva prateća oprema, u prvom redu termoelekričnih centrala i brodova uvozila se u velikim količinama. S druge strane, postojao je izvoz istih kategorija opreme u znatno manjim količinama — i točniji podaci bi pokazali — u manjim pogonskim jedinicama. Vidjeli smo da postoji široki prostor za našu strojogradnju na području temoenergetskih postrojenja na domaćem tržištu, a poznato je da imamo stanovite uspjehe i na vanjskom, koje bi trebalo znatno proširiti, pogotovo u sadašnje vrijeme, kada je velika konjunktura na svjetskim tržištu energetske opreme, što pokazuju nezapamćeno dugi dobavni rokovi svjetskih tvornica parnih turbina i ostalih uređaja za klasična termopostrojenja.

Projekt »Istraživanja pojava kod energetskih konverzija za termoenergetska postrojenja« postavio si je istraživačke zadatke koji proizlaze iz navedene politike i pravaca razvoja u našoj energetici. Istraživanja obuhvaćaju spicifičnu problematiku energetske opreme koja se proizvodi u SR Hrvatskoj. Istraživane su i pojave vladanja pojedinih ključnih objekata opreme u eksploataciji, napose područja prijelaza topline, izgaranja, aero--dinamike i hidrodinamike, mehanike gotovo krutih tijela i korozije, područje dielektričkih pojava u visokonaponskoj izolaciji, pojava u elekričnom luku, specifične elektromagnetske pojave u generatorima i transformatorima u redovnim i posebnim pogonskim stanjima.

PREGLED PETOGODIŠNJEG RADA NA PROJEKTU

1. Projekt je zasnovan 1972. god. na prijedlog 12 radnih organizacija, od kojih su 7 predstavljale korisnike usluga Znanstvenih radnih organizacija (»Đuro Đaković«, Slavonski Brod, »Elektroprivreda«, Zagreb, »Jugoturbina«, Karlovac, »Sila Rapid«, Zagreb, »Rade Končar«, Zagreb, Tvornica parnih kotlova, Zagreb, i »Ventilator«, Zagreb), a 5 su predstavljale davaoce usluga (Elektrotehnički institut »Rade Končar«, Zagreb, Institut za aerodinamička i termodinamička istraživanja, Zagreb, Institut za elektroprivredu, Zagreb, Institut za naučnoistraživački rad »Đuro Đaković«, Slavonski Brod i Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb). Sve te radne organizacije sudjelovale su prema svom karakteru kao sufinancijeri, odnosno davaoci usluga — obrađivači. U toku godina projekt je rastao, pojavili su se novi financijeri (neko vrijeme Tvornica ugljenografitnih proizvoda, Dubrovnik), a zatim sve do kraja i sufinancijer iz druge Republike (»Klima«, Celje), a od obrađivača pristupio je naknadno Elektrotehnički fakultet, Zagreb.

Program istraživanja obuhvatio je dogovorom ustanovljene ključne specifične probleme tadašnjeg trenutka u području generatora pare (3 teme), izmjenjivača topline (1 tema), osnovnih i pratećih uređaja za konverziju toplinske u mehaničku energiju (7 tema), i mehaničke u električku (6 tema), te uređaja za transformaciju i razvoj električne energije (3 teme). Materija je obuhvaćena u 20 tema (u početku 19).

S obzirom na ograničena sredstva 4 su teme sistirane, a dvije udružene, tako da je rad svrstan pod 15 naslova.

U toku izrade zadataka ovog projekta kod nekih je tema, na zahtjev sufinancijera, dolazilo do rebalansa planova i promjene programa.

U cjelini Projekt je ostvario svoj plan zasnovan općim programom i godišnjim planovima.

Zbog spomenutih rebalansa neka vrijedna istraživanja ostala su nedovršena u takvom stanju da je potrebno nastaviti s ovim istraživanjima.

Cjelokupnu koordinaciju izrade projekta, donošenje odluka u svrhu dopuna i promjena programa, kao i usvajanje izvršenih radova, zatim raspoređivanje raspoloživih financijskih sredstava i kontrolu njihova korištenja obavljalo je stalno tijelo »Projektni savjet« sastavljeno od predstavnika korisnika projekta i znanstvenih organizacija — izvršilaca istraživanja.

Savjet je imenovao recenzente i komisije za pregled izvršenih radova, a također i redakcioni odbor za izdavanje Zbornika naučnih članaka koji su bili objavljeni kao rezultat rada na temama Projekta. Savjet je imenovao Institut za elektroprivredu kao izvršioca koordinacije radi provođenja zaključaka Savjeta.

2. Konkretni postignuti rezultati:

a) Na koordinaciji istraživačkog rada. U okviru ovog projekta izuzetno mnogo je dobiveno na međusobnom upoznavanju. Ranije poznavanje mogućnosti rada i suradnje bilo ja sasma nedovoljno. Na koordinaciji i dijelom sintezi rada na pojedinim temama sudjelovali su stručnjaci iz nekoliko instituta i fakulteta.

Suradnja s drugim republikama ostvarena je pretežno putem sufinanciranja i recenzija. Tako je jedan sufinancijer bio iz SR Slovenije, a recenzenti iz SR Slovenije i AP Vojvodine. Zajedničko sudjelovanje na znanstvenim simpozijima, na kojima su izmjenjivana iskustva i dogovarano izbje-

gavanje preklapanja, predstavljalo je drugi oblik suradnje.

Znanstvene organizacije, sudionici ovog projekta, sudjelovale su najvećim dijelom i u drugim znanstvenim projektima iz područja strojarstva, brodogradnje i elektrotehnike. Preko njih i njihovih zadataka ostvarena je koordinacija s drugim projektima.

Od istraživača koji su surađivali u projektu sedam ih je obranilo doktorat znanosti, a 12 magistriralo; na postdiplomskom studiju nalazi se veći broj suradnika na projektu.

Značajno je bilo sudjelovanje suradnika iz neposredne prakse, što je ipak u nekim slučajevima teško nadoknadilo neočekivani gubitak dvojice istaknutih znanstvenih radnika.

b) U primjeni. Projekt je ostvario nekoliko značajnih rezultata za industrijsku primjenu, kao što su kreiranje matematičkog modela izmjenjivača topline, povećanje proizvodnosti i korisnosti generatora vrele vode i vodene pare (istraživanjem uvjeta u ložištima), određivanje kritičnog protoka vode kroz cijevi vrelovodnih kotlova, osvajanje pokusnog termotehničkog kanala, sprečavanje torzionih vibracija lopatica parnih turbina, optimizacija parametara parnih ejektora, optimizacija ventilatora, metoda proračuna magnetskih tokova i gubitaka u peterostupnoj jezgri, optimalni raspored višeslojne izolacije, način otklanjanja opasnih prenapona na namotu, matematički modeli sinhronih strojeva za proračun složenih prijelaznih pojava pri simetričnim i nesimetričnim pogonskim smetnjama, analiza utjecaja konstrukcionih parametara sklopnih aparata na rad energetske mreže i telekomunikacionog sistema.

c) Na suradnji između istraživačkih organizacija i sufinancijera. Organizacije sufinancijera pratile su razvoj projekta u područjima za koja su zainteresirane i često aktivno utjecale na definiranje godišnjih planova. Suradnja se očitovala i u sudjelovanju u materijalnom opremanju istraživanja i u kadrovskoj suradnji.

3. U okviru projekta izrađeno je 35 elaborata u kojima su dokumentirani rezultati znanstvenog rada. Ovi elaborati se nalaze kod koordinatora projekta (Institut za elektroprivredu Zagreb) radi uvida stručne i znanstvene javnosti.

Zvonimir Valković: *Studij elektromagnetskih pojava u transformatorima velikih snaga i najviših napona*

Božidar Frančić, Zvonko Čulig: *Određivanje vladanja i karakteristike turbogeneratora u normalnim izvanrednim i havarijskim režimima rada*

Aurel Kostelić: *Studija eksploatabilnosti za kotlove kao komponente termoenergetskih postrojenja*

Zvonimir Valković: *Studija problematike primjene umanjenih modela*

Zvonimir Valković: *Eksperimentalno istraživanje raspodjele parcijalnih magnetskih tokova u peterostupnoj jezgri*

Zvonimir Valković: *Analiza dodatnih gubitaka peterostupne jezgre*

Zvonimir Valković: *Eksperimentalno određivanje osnovnih karakteristika elektromagneta*

Boris Belin, Bogdan Zelenko, Marija Šantak: *Studij interakcije dinamičkog luka i mreže na digitalnom računalu*

Božidar Frančić, Zvonimir Čulig: *Utjecaj zasićenja na parametre i dinamiku sinhronog generatora*

Zvonimir Valković: *Teorijsko istraživanje magnetskog polja i dodatnih gubitaka u kotlu*

Ivan Ivanković: *Analitičko određivanje naprezanja u glavnoj izolaciji transformatora*

Ante Miliša: *Studij radio-smetnji i parcijalnih izbijanja na sklopnim aparatima i izolatorima visokog napona*

Aurel Kostelić: *Studij i laboratorijsko istraživanje sklopnih aparata za energetska postrojenja*

Ivan Ilić: *Istraživanje fizikalnih pojava prilikom prijelaza struje na međusobno pokretnim dijelovima električnih strojeva i uređaja*

Branimir Matijašević: *Analiza temperaturnog polja u aksijalno-simetričnom tijelu pomoću metode konačnih elemenata*

Dragutin Krtić: *Teorijska razmatranja geometrijskih karakteristika turbinskih stupnjeva, režima rada turbinskih stupnjeva i aerodinamičkih veličina u strujnom polju*

Branko Staniša: *Eksploatabilnost parno-turbinskog postrojenja*

Branislav Orčić, Vigor Tevčić, Krešimir Paladin: *Studija proračuna naprezanja i vlastitih frekvencija lista turbinske lopatice*

Dimitar Manđurov: *Dinamičke karakteristike upravljačkih i pogonskih organa sklopnih aparata*

Nikola Kopčić: *Primjena elektroničkih računala na određivanje prekidne moći sklopnih aparata*

Fedor Šprung: *Termotehnički ispitni kanal — osnovi proračuna i konstrukcije*

Aurel Kostelić: *Studija izmjenjivača topline*

Fedor Šprung, Eduard Smolej: *Istraživanje utjecaja sastava dimnih plinova na elemente izmjene topline kotlova elektroprivrede 1972—1973. god.*

Fedor Šprung, Ivica Librić: *Istraživanje utjecaja sastva dimnih plinova na elemente izmjene topline kotlova elektroprivrede 1974—1976. god.*

Eduard Smolej: *Proračun kritičkog broja okretaja*

Eduard Smolej: *Težina spiralnih kućišta centrifugalnih ventilatora*

Eduard Smolej: *Čvrstoća kola centrifugalnog ventilatora*

Eduard Smolej: *Utjecaj brtvene sapnice centrifugalnih ventilatora*

Eduard Smolej: *Spiralna kućišta centrifugalnih ventilatora*

Đorđe Gojković: *Istraživanje prijenosa topline i specifičnih toplinskih opterećenja u kotlovskim ložištima*

Stanislav Hladika: *Utjecaj sustava financiranja procesa poslovanja na rad i razvoj jednog poduzeća za proizvodnju energetske opreme*

Aurel Kostelić: *Primarni proces uravnoteženja u cijevnih izmjenjivača topline*

Đorđe Gojković: *Studij i izrada osnova strujanja i optjecanja pare i vode u generatorima topline i pare, s naročitim osvrtom na struje procese u vrelovodnim kotlovima*

Aurel Kostelić: *Kreiranje sistema razvoja komponenti termoenergetskih postrojenja*

Branimir Matijašević: *Mogućnosti analize temperaturnih polja pomoću reoelektrične analogije*

Branimir Matijašević: *Analiza temperaturnih polja pomoću metode konačnih elemenata.*

Da bi šira znanstvena javnost bila upoznata s radom na projektu, objavljeni su mnogi članci u stručnim i znanstvenim časopisima.

M. Butković: *Utjecaj žica na prigušenje torzijskih vibracija lopatica*
Đ. Gojković: *Određivanje kritičkog protoka vode kroz cijevi kotlova za proizvodnju vrele vode*
M. Matković: *Odeđivanje fizikalnih svojstava vode i vodene pare elektroničkim računalom*
S. Todorovski: *Neka iskustva u izradi programa i njihove primjene u projektiranju parnih turbina i turbinskih postrojenja*
A. Miholović: *Hidraulički prenosnik s tri izlazna signala kao dio regulacije industrijskih parnih turbina*
I. Librić: *Prikaz općih značajki istraživanja energetskih konverzija i mogućnosti primjene termodinamičkog ispitnog kanala*
F. Šprung: *Prilog reprodukciji empiričke skale temperatura u SR Hrvatskoj*
A. Kostelić: *Kriterij optimalizacije oblika proizvoda*
M. Butković: *Aerodinamičke uzbude torzijskih vibracija lopatica turbostrojeva*
R. Zobec, I. Škrtić: *Uravnoteženje rotirajućih strojnih dijelova*
B. Staniša: *Ispitivanje modela rešetke zakretne dijafragme 35 MW parne turbine Zenica*
M. Butković, M. Dičko: *Neki elastomehanički problemi turbine 125 MW Plomin*
I. Librić: *Utvrđivanje veličine utjecaja fizikalnih veličina na svojstva prostora tehničkih konverzija*
Đ. Gojković: *Granične temperature vode u cijevima kotla za proizvodnju vrele vode*
A. Kostelić: *Primarni proces uravnoteženja u cijevnih izmjenjivača topline*
B. Matijašević: *Analiza temperaturnog polja u aksijalno simetričnom tijelu pomoću metode konačnih elemenata*
Z. Valković: *Eksperimentalno istraživanje gubitaka u kotlu transformatora s pomoću radialnog modela*
Z. Čulig: *Istraživanje izvanrednih pogonskih stanja i smetnji sinhronih generatora, III. dio: Asinhrona stanja*
Z. Čulig: *Istraživanje izanrednih pogonskih stanja i smetnji sinhronog generatora, II. dio: Simetrični i nesimetrični kratki spojevi*
Z. Valković: *Analiza efikasnosti zaslanjanja transformatorskog kotla*
J. Matjan, M. Đurek, I. Ivanković: *Numerički proračun električnog polja u energetskim transformatorima najviših napona*
Z. Čulig: *Istraživanje izvanrednih pogonskih stanja i smetnji sinhronog generatora, I. dio: Matematički model*
Z. Valković, P. Vešić: *Proračun peterostupne jezgre pomoću digitalnog računala*
I. Ivanković: *Prenaponi među namotima transformatora*
A. Miliša, M. Markulin: *O fizici nastajanja i načinu ograničavanja i mjerenja radio-smetnji na visokonaponskoj opremi*
I. Ivanković: *Naponska stanja u autotransformatoru za mrežu 400 kV*
Kopčić: *Određivanje optimalnih parametara kratkospojnih prstenova izmjeničnih elektromagneta*
D. Vyroubal: *Izbor pretpojačala za piezoelektrična osjetila*
S. Herr: *Parni kotlovi srednjeg učina*
I. Librić: *Utjecaj nefizikalnih veličina na svojstva prostora tehničkih konverzija*

4. Suradnja na projektu — Na projektu su surađivali slijedeći radnici: Banović Marija, dipl. inž. — stručni suradnik, Brigljević Ana, dipl. inž. — stručni savjetnik, Brunšmid Ivo, dipl. inž. — stručni suradnik, dr Budin Rajka, dipl. inž. — docent, dr Butković Mirko, dipl. inž. — direktor razvoja, Mr Cettolo Mirko, dipl. inž. — asistent, Ciška Branko, dipl. inž. — stručni suradnik, Cvetković Vladimir, dipl. inž. — stručni suradnik, Čulig Zvonko, dipl. inž. — stručni suradnik, — Čunko Stjepan, dipl. inž. — asistent, dr Đurek Marijan, dipl. inž. — asistent, Elčić Zvonko, dipl. inž. — stručni suradnik, mr Ferković Božidar, dipl. inž. — predavač, Fetisov Aleksandar, dipl. inž. — stručni suradnik, Feuerbach Vladimir, dipl. inž. — izv. profesor, — Franjić Krešimir, dipl. inž. — asistent, Gašparac Ivan, dipl. inž. — asistent, dr Godec Zdenko, dipl. inž. — viši stručni suradnik, Gogić Slobodan, dipl. inž — projektant, mr Gojković Đorđe, dipl. inž. — šef projeknog biroa, dr Haznadar Zijad, dipl. inž. — izv. profesor, Hohsinger Dražen, dipl. inž. — stručni suradnik, dr Ilić Ivan, dipl. inž. — docent, mr Ivanković Ivan, dipl. inž. — stručni suradnik, Ivanović Luka, dipl. inž. — viši stručni suradnik, Jovičić Dušan, dipl. inž. — šef pogona, Karadaglić Milan, dipl. inž. — rukovodilac projektnog biroa, Kopčić Nikola, dipl. inž. — stručni suradnik, dr Kostelić Aurel, dipl. inž. — docent, Krajnović Antun, dipl. inž. — viši stručni suradnik, dr Kreuh Ladislav, dipl. inž. — izv. profesor, Krtić Drago, dipl. inž. — stručni suradnik, Kulić Antun, dipl. inž. — viši stručni suradnik, Librić Ivica, dipl. inž. — stručni savjetnik, Majcen Andrej, dipl. inž. — stručni suradnik, Majcen Marko, dipl. inž. — izv. profesor, Majić Josip, dipl. inž. — stručni savjetnik, Malinovski Zvonko, dipl. inž. — stručni suradnik, Manđurov Dimitar, dipl. inž. — direktor razvoja, Markulin Marijan, dipl. inž. — stručni suradnik, mr Matijašević Branimir, dipl. inž. — asistent, dr Matjan Josip, dipl. inž. — asistent, mr Ante Miholović, dipl. inž. mr Miliša Ante, dipl. inž. — stručni suradnik, Mirković Krešimir, dipl. inž. — upravnik projektnog biroa, Mrđa Simo, dipl. inž. — stručni suradnik, Orčić Branislav, dipl. inž. — stručni suradnik, dr Paulig Eberhard, dipl. inž. — docent, mr Rajec Branko, dipl. inž., Savanović Gojko, dipl. inž. — stručni suradnik, Sher Darko, dipl. inž. — stručni suradnik, Slavinec Željko, dipl. inž. viši stručni suradnik, Smolej Eduard, dipl. inž. viši stručni suradnik, Staniša Branko- dipl. inž. — stručni suradnik, Šaban Stjepan, dipl. inž. — stručni suradnik, mr Šimatović Ivan, dipl. inž. — viši stručni suradnik, dr Šprung Fedor, dipl. inž. — znanstveni savjetnik, Štulac Marijan, dipl. inž. — stručni suradnik, Šunić Pavao, dipl. inž. šef pogona, Todorovski Stefan, dipl. inž. — stručni suradnik, Valić Miroslav, dipl. inž. stručni suradnik, dr Valković Zvonimir, dipl. inž. viši stručni suradnik, mr Vešić Petar, dipl. inž. — stručni suradnik, Vlačić Ivan, dipl. inž. — šef pogona, mr Vukelić Zdravko, dipl. inž. stručni suradnik, mr Vyroubal Darko, dipl. inž. — viši stručni suradnik, Zekić Zorislav, dipl. inž. — stručni suradnik, Zobec Rudolf, dipl. inž. — stručni suradnik, mr Zvonarević Bojan, dipl. inž.

5. Suradnici na projektu, koji su stekli naučna zvanja doktora znanosti i magistara. Doktorati iz okvira projekta: Mirko Butković, Marijan Đurek, Aurel Kostelić, Ladislav Kreuh, Josip Matjan, Fedor Šprung, Zvonimi Valković.

Magisteriji iz okvira projekta: Mirko Cettolo, Đorđe Gojković, Aurel Kostelić, Branimir Matijašević, Josip Matjan, Ante Mihovilović, Ante Miliša, Branko Rajec, Fedor Šprung, Darko Vyroubal, Zdravko Vukelić i Bojan Zvonarević.

6. Dalji znanstveni rad u području energetike. Shodno društvenim kretanjima u našoj zemlji prestala je u zadnjoj, 1975. god. rada ovog projekta funkcionirati Zajednica istraživačkih ustanova na području strojarstva, brodogradnje i elektrotehnike. Na sadašnjoj etapi samoupravnog razvoja osnovana je Republička samoupravna interesna zajednica za znanost unutar koje djeluju Samoupravne interesne zajednice za znanost pojedinih grupacija privrede i znanstvenih organizacija. U okviru ovih Zajednica korisnici i davaoci znanstvenog rada dogovaraju, prije svega, dugoročniju politiku znanstvenog rada, razrađujući je sve do pojedinih tema. Tako je problematika kojom se bavio Savjet ovog projekta udružena s nuklearno-energetskom problematikom, dopunjena je općom energetikom, a toplinska problematika je proširena. Sav znanstveni potencijal s ovog područja na taj način je dobio još veće

mogućnosti razvoja. Takvo proširenje zahtijevalo je i odgovarajuće organizacione promjene, te je formiran novi Projekni savjet za cjelokupnu energetiku s potprojektima za opću energetiku, termoenergetiku i elektroenergetiku.

Tako treba očekivati da će okupljanje kadra biti još značajnije no što je bilo u proteklom planskom razdoblju i protekloj organizacionoj fazi. Ta faza bila je karika u lancu što preko manjih ili većih uspjeha u radu u pojedinim razdobljima izražava trajne napore stalnog uzdizanja znanstvenog nivoa ove oblasti.

Tako će se rad ovog Projektnog savjeta nastaviti, a kao trajni sažeti dokument o njegovom radu ostaje Zbornik radova.

Predsjednik projektnog savjeta
BORIVOJ BARANOVIĆ, dipl. inž.

Koordinator projekta
dr FEDOR ŠPRUNG. dipl. inž.

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.

Širom svijeta

VISOKONAPONSKI IZOLATORI OD PLASTIČNIH MASA — IZOLACIJSKA TEHNIKA BUDUĆNOSTI

Izolatori su bitan element u prijenosu električne energije i sigurnosti sistema. Zbog vrlo velikog broja izolatora u nekoj mreži posebna se pažnja posvećuje njihovoj pouzdanosti. Danas su u punom razvoju tzv. sastavljeni plastični izolatori, koji bi mogli biti upotrijebljeni do najviših napona. Kod takvih izolatora mehaničku funkciju preuzima štap (jezgra) od staklenih vlakana (fiberglas), a električnu funkciju preuzima navučena rebrasta ljuska. Oba su dijela međusobno vezana manje ili više jakim međuslojem. Prijenos sila vrši se posredstvom metalnih armatura.

Uspoređuju li se različiti izolatori za dalekovode, od osobnog su interesa dvije osobine:

a) odnos težine prema mehaničkoj čvrstoći mora biti što je moguće manji,

b) broj elemenata vezanih za funkciju izolatora treba da bude također što manji.

Prva je osobina osim za olakšanje transporta i montaže, također važna za sniženje vertikalnih sila stupa. Na vodovima vrlo visokog napona težina izolatora može iznositi i do 20% vertikalnih sila. Odnos težine prema mehaničkoj čvrstoći može biti kod plastičnih izolatora i do 10 puta manji nego kod porculanskih ili staklenih, već prema tome da li se uspoređuju kapasti ili štapni izolatori.

Što se neki izolatorski lanac sastoji od više sastavljenih elemenata, to je njegova poudanost manja.

Plastični štapni izolatori mogu se danas proizvoditi u jednom komadu do dužine od oko 6 m. Daljnjim razvojem moći će se proizvesti u jednom komadu izolatori i za najviše napone. Zbog njihove malene težine olakšani će biti transportni i montažni problemi. S obzirom na vrlo visoku čvrstoću neće ni za najveće sile biti potrebno podvostručenje izolatora. Za takve izolatore mogu biti metalni dijelovi obilno dimenzionirani. Plastični su izolatori vrlo vitki, pa su rebra male površine, što ima za posljedicu male struje odvoda. Rebrima se može dati povoljan oblik, kako bi se dobile duge klizne staze, čime se postižu visoke izolacijske vrijednosti pri onečišćenju.

Plastični izolatori vrlo su otporni protiv luka, a također i protiv mehaničkih udara, npr. hica iz vatrenog oružja.

Oni su vrlo prikladni za stvaranje novih konstrukcija dalekovoda. Mogu se konstruirati novi oblici glava stupa, a zbog male težine mogu služiti kao odstojnici faza u dugim rasponima. Takva uloga odstojnika praktično dolazi danas u obzir do napona od 245 kV. Približenja zbog njihanja ili plesanja vodiča time su izbjegnuta, pa razmak faza može biti dimenzioniran samo na nužni zračni razmak. U Njemačkoj je u ispitivanju konstrukcija voda 20 kV, čije tri faze drže u potrebnom razmaku odstojnici od umjetnih masa, pa vod djeluje kao snop od tri vodiča. Takve konstrukcije omogućuju da se realiziraju uže i ekonomičnije trase.

Uz prije navedene prednosti treba uzeti u obzir prilikom razvoja plastičnih izolatora i posebne probleme specifične za taj materijal. Npr., piroliza površine zbog parcijalnih pražnjenja, postojanost površine prema ultravioletnim zrakama i djelovanju ozona i razaranje materijala zbog hidrolize. Svakako treba istaknuti velik nedostatak sastavljenih izolatora što električno polje djeluje upravo paralelno spojnoj površini jezgre ljuske. Upravo zbog toga je osnovni problem takvih izolatora optimalni sastav materijala u spojnoj zoni. Rebrasta ljuska ne bi baš morala biti od organskog materijala, jer bi se time izbjegle mnoge poteškoće. Istraživanja se čine također i u tom pravcu.

Ni jedan organski materijal danas nema potpuno postojanu površinu i ne može izdržati temperaturu električnog lûka. Organski materijali koji dolaze u obzir za rebrastu ljusku jesu:

— politetrafluoretilen
— cikloalifatske epoksidne smole
— dimetil-silikoni
— etilen — propilen — dien — monomeri.

Postoje dvije metode spajanja nosive jezgre i rebraste ljuske. Prva je mogućnost da se ljuska direktno navuče na jezgru. Uvjet je za takav postupak da ljuska bude dovoljno elastična da slijedi jezgru kod svih naprezanja i promjenu temperature. Ako materijal ljuske nije dovoljno elastičan, uzima se posebni elastični materijal između štapa (jezgre) i ljuske.

Poseban problem štapaste jezgre predstavlja jednolika razdioba sila po presjeku. Poteškoće dolaze od osobina materijala koje su slijedeće:

— elastičnost štapa jezgre nekoliko je puta veća od elastičnosti metalne armature (metalni dijelova na početku i kraju izolatora),

— velika vlačna čvrstoća štapa od nekih 70 do 120 kp/mm², dok tlačna čvrstoća iznosi tek oko 1/3 te sile.

— zbog plastičnosti postoji ovisnost čvrstoće o vremenu djelovanja sile.

Dva su načina armiranja: prešanom čahurom na dijelu za zavješenje, gdje je sila tlaka povećana prema kraju štapa. i konusna veza.

Dok se računa da će plastični izolatori na vodovima imati veliku budućnost, kao izolatori u stanicama nemaju mnogo izgleda za primjenu, osim u zatvorenim postrojenjima srednjeg napona. Prave se ispitivanja da se primijene kao šuplji izolatori komora za gašenje u sklopkama.

Bauer: Hochspannungsisolatoren aus Kunststoffen — Isoliertechnik der Zukunft, Elektrizitätwirtschaft 1976, br. 8

B. MR.

»VATRENI POJAS« UMJESTO NAFTE

Centralnoameričke zemlje, zbog sve viših cijena uvozne nafte, ubrzavaju istraživanje vulkanskog područja poznatog pod imenom »Vatreni pojas« da bi se što prije pronašao način za iskorištavanje neiscrpne geotermalne energije.

U Salvadoru i Meksiku već rade elektrane u kojima je iskorištena para iz unutrašnjosti zemlje za pokretanje gigantskih turbina. Nikaragva, Kostarika, Gvatemala i Panama također ispituju svoje vulkanske regije. U ovim zemljama se predviđa da će se energija vulkana moći iskorištavati početkom slijedećeg stoljeća.

Prva geometralna elektrana u Gvatemali, koja će se izgraditi na vulkanu Mojuta, proizvodit će 30 0000 kilovata energije. Država je već investirala 2,3 milijuna dolara u ovaj projekt i planira da uloži još 20 milijuna dolara. Izgradnja elektrane počet će ove godine.

Program Ujedinjenih naroda za razvoj predviđa da centralnoameričke zemlje do 1985. god. u izgradnju geotermalnih električnih elektrana ukupnog kapaciteta 465 megavata ulože 230 milijuna dolara. Geotermalna energija može zamijeniti naftu, što bi smanjilo izdatke za uvoz koji sada u ovim zemljama iznosi oko 510,1 milijun dolara godišnje. Još značajnije bi to moglo biti u toku narednih 16 godina, kad će se sadašnja potrošnja nafte upeterostručiti.

Još nije točno utvrđeno koliki su potencijali energije »Vatrenog pojasa«. Preliminarne studije agencije UN pokazuju da bi ona vjerojatno mogla biti ravna energiji hidroenergetskog potencijala koji dosiže 18 000 megavata.

V. B.

PLINSKA PRIVREDA U MADŽARSKOJ

Predviđa se da će potrošnja prirodnog plina u Madžarskoj u 1980. god. iznosti deset milijardi kubnih metra, a od toga će u zemlji biti proizvedeno 6 milijardi metara³, iz Sovjetskog Saveza će se uvesti 3,8 milijardi, dok će Rumunjska, kao i do sada, davati 200 milijuna metara³.

Proizvodnja gradskog plina, koja sada iznosi 650 milijuna metara³ godišnje, do 1980. god. smanjit će se na oko 400 milijuna metara³. Na prirodni plin je sada priključeno 350 000 domaćinstava, a do 1980. god. taj će se broj povećati na 620 000.

Potrošnja ukapljenih plinova, koja sada iznosi 1,2 milijuna tona, porast će u tom razdoblju na 2,2 milijuna tona, a broj potrošača će se povećati od 240 000 na 330 000.

Dužina magistralnih plinovoda povećat će se za 600 km, u priključenih i distributivnih za 1 000 km.

Do 1980. god. investicije u plinsku privredu iznosti će 20 milijardi forinti.

Eredöl-dienst, 21. I 1977.

PRIRODNI PLIN ZA ZAPADNU EVROPU

Raspoložive rezerve prirodnog plina u Zapadnoj Evropi ocjenjuju se na 5 600 milijardi metara³, što je nešto ispod 9% od svjetskih raspoloživih rezervi koje početkom 1977. god.

iznose 64 000 milijardi metara³ (vjerojatno još daljnjih 87 000 milijardi metara³). Eksploatacijom raspoloživih rezervi i novootkrivenima Zapadna će Evropa samo dijelom pokrivati svoje potrebe za prirodnim plinom, a dodatne će količine morati uvoziti iz SSSR-a, Irana i Sjeverne Afrike. Gledajući na srednjoročne potrebe, proizvodnjom i uvozom, moglo bi se godišnje osigurati do 280 milijardi metara³ prirodnog plina. Dugoročne potrebe morat će se vjrojatno u potpunosti pokrivati uvozom.

Kohle und Heizöl, 30. 25/I. 1977.

V. B.

PERSPEKTIVNA POTROŠNJA ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ

Složenost problematike o potrebnim količinama energije — proizvodnjom u zemlji ili iz uvoza — te mjere štednje u znatnoj su mjeri utjecali na ocjene o količini potrošnje energije u perspektivi.

Tako je prije poskupljenja energije, tj. sredinom 1973. god. računato da će ukupno potrebna energija u 1985. god. iznositi 430 milijuna tona u ekvivalentu nafte, analiza rađena u listopadu 1974. god. predvidjela je 390 milijuna tona, a krajem prošle godine 335 milijuna tona. Dakle, perspektivno su se potrebe smanjile za gotovo sto milijuna tona.

U 1973. god. bila je za 1985. god. prognozirana potrošnja kamenog ugljena od 50 milijuna tona, a najnovije procjene predviđaju 68 milijuna tona. Potrošnja nafte bila je predviđena s 230 milijuna tona, a sada se ocjenjuje sa samo 155 milijuna tona. Nuklearna energija bila je predviđena sa 65 milijuna tona u ekvivalentu nafte, a sada sa samo 50 milijuna tona.

Oko 1965. god. bilo je prognozirano da će u 1970. god. udio nuklearne energije u ukupnoj potrošnji energije biti 5%, a u 1976. god. postignut je udio od 2%.

Kohle und Heizöl, 30, 3/I 1977

V. B.

POTROŠNJA ENERGIJE U EVROPSKOJ EKONOMSKOJ ZAJEDNICI

Devet zemalja članica Evropske ekonomske zajednice potrošilo je u 1976. god. ukupno 910 milijuna tona primarnih nosilaca energije u ekvivalentu nafte, što je za 5% više nego u prethodnoj godini. U ovoj godini predviđa se porast potrošnje za 3,8% pa će ona prijeći 945 milijuna tona. Situacija u pojedinim godinama je ova (u milijunima tona u ekvivalentu nafte):

Energija	1975.	1976.	1977. (predvidivo)
Ugljen	169,4	176,0	176,0
Lignit	26,5	27,3	27,3
Nafta	477,4	504,1	509,1
Hidroenergija i nuklearna energija i ostali nosioci	52,1	48,5	60,8
Ukupno	867,4	910,4	945,2

Kako se vidi, potrošnja ugljena i lignita će u 1977. god. stagnirati, nafta neznatno rasti, a porast kod prirodnog plina iznosit će oko 18 milijuna tona, a kod hidroenergije i nuklearne energije oko 12 milijuna tona.

Petroleum Economist, IV. 1977.

V. B.

MJERE ZA ŠTEDNJU ENERGIJE U ITALIJI

Najvažnije mjere kojima se želi smanjiti potrošnja goriva jesu ove:

1. maksimalno povećati cijene derivata,
2. zatvoriti benzinske stanice od 12 sati pretpraznič kog dana do 24 sata na praznik (nedjelju i sl.),
3. ograničiti brzine na 100 km/h, a na otvorenim cestama
4. zatvoriti kina, kazališta, odnosno općenito javnih ustanova namijenjenih razonodi u 23 sata,
5. ograničiti emitiranja televizije do 22 sata,
6. zatvoriti restorane i noćne lokale u 24 sata,
7. smanjiti javnu rasvjetu za 40%,
8. radno vrijeme javnih službi odrediti između 8—17,30 sati,
9. ograničiti temperaturu zagrijavanja u prostorijama centralnih grijanja na 20°C,
10. smanjiti napon električne mreže u vremenu od 21 sat uvečer do 7 sati ujutro.

Rassegna Petrolifera

V. B.

PROIZVODNJA ENERGIJE U RUMUNJSKOJ

U 1976. god. bila je proizvodnja svih nosilaca primarne energije veća nego u 1975. god. osim lignita, gdje je zabilježen blagi pad proizvodnje. Situacija je bila slijedeća:

— Električna energija	58,2 mlrd kWh	+ 8,4%
— Kameni ugljen	1,4 mln tona	+ 12,8%
— Lignit	18,2 mln tona	— 5,2%
— Nafta	14,7 mln tona	+ 0,8%
— Prirodni plin	29,8 mlrd m³	+ 10,5%

Erdöl-dienst, 1. III. 1977.

V. B.

POSLJEDICE USPORAVANJA GRADNJE NUKLEARNIH TERMOENERGANA

Usporavanje ili odgađanje gradnje planiranih nuklarnih termoenergana u SR Njemačkoj imat će teške posljedice u industriji teške opreme, a naročito u proizvodnji reaktora. Samo u toj proizvodnji smanjit će se broj radnih mjesta za 80 000, a u čitavoj industriji posredno za 200 000.

Erdöl-dienst, 29. III. 1977.

V. B.

PLINOFIKACIJA SJEVEROZAPADNE HRVATSKE

Krajem ožujka počela je u Jakobskog Dolu sjeverno od Maribora gradnja plinovoda kojim će se — kad bude dovršen — dopremati sovjetski prirodni plin u Sloveniju i sjeverozapadni dio Hrvatske. Sredinom godine započet će se graditi i austrijski dio tog plinovoda i to kao ogranak od Transaustrijskog plinovoda (TAG) od Weitendorfa kod Graza do austrijsko-jugoslavenske granice kod Spielfelda.

Kod Rogateca na slovensko-hrvatskoj granici od plinovoda će se odvojiti — preko mjerne stanice — odvojak za Hrvatsku, te će preko Krapine i Zaboka teći uz Zagorsku magistralu do Podsuseda i preko Save do Kerestinca. Kod Zaboka plinovod će imati ogranak prema Konjščini i Ludbregu.

Istovremeno s radovima u Sloveniji teći će i radovi u Hrvatskoj. Plinovod od austrijske granice do Rogateca grade zajednički ljubljanski Petrol i INA-Naftaplin, a od Rogateca do Kerestinca INA-Naftaplin.

Kod Kerestinca će biti primopredaja stanica i plinovod do zagrebačke mreže gradit će zagrebačke plinare.

Prema ugovoru Sovjetski Savez će isporučivati godišnje 1,35 milijardi metara³ prirodnog plina — 750 milijuna metara³ za Sloveniju i 660 milijuna metara³ za Hrvatsku. Kapacitet plinovoda bit će 2,5 milijardi metara³, a ta bi se količina mogla postići u 1995. god.

Plinovod na području Hrvatske imat će promjer od 500 mm, a u Sloveniji do Ljubljane 400 mm. Najveći tlak u plinovodu bit će 50 atm.

V. B.

Vijesti iz elektroprivrede

PRIZNANJE RADNICIMA »ELEKTRE«

Radna organizacija »Elektre« iz Zagreba u povodu Prvog svibnja organizirala je svečanu akademiju s bogatim umjetničkim programom. Tom prilikom predsjednik izvršnog vijeća općinske Skupštine Centar Josip Šlibar uručio je četerdeset i trojici radnika odlikovanja kojim ih je odlikovao predsjednik Republike Josip Broz Tito. Ordenom republike s brončanim vijencem odlikovana su dvojica, Ordenom zasluga za narod sa srebrnom zvijezdom sedmorica, Ordenom rada sa srebrnim vijencem desetorica, Medaljom zasluga za narod šestorica, a Medaljom rada osamnaest radnika »Elektre«.

Ova visoka priznanja najvrednijim radnicima istovremeno su i priznanja cijelom kolektivu za postignute rezultate u izgradnji zemlje.

I. R.

GRADNJA DV 380 kV ZAGREB — SUTLA

Zagrebačko poduzeće »Elektroprenos« investitor je triju objekta osnovne mreže 380 kV »Nikola Tesla«: DV 380 kV Kamensko — Zagreb, oko 135 km, dvostrukog dalekovoda Zagreb — Sutla i transformatorske stanice 380/220/110 kV, snage 2 × 300 MVA.

Dalekovod Kamensko — Zagreb završen je u ožujku prošle godine, a radovi na transformatorskoj stanici Zagreb su u toku. Preostala je izgradnja dijela prstena u smjeru Slovenije dalekovoda Zagreb — Sutla. No početkom ove godine otpočeli su radovi i na ovoj dionici. Dalekovod Zagreb — Sutla izvodi se kao dvostruki u dužini od 32,2 km.

Vod će se izgraditi na čelično-rešetkastim stupovima, kao što su i druge dionice koje isporučuje »Energoinvest«. Građevne i montažne radove investitor je ugovorio s »Dalekovodom«. Ovjesni i spojni materijal osigurava »Dalekovod« iz svojih pogona. Ugovoreno je da se glavni dio radova na tom vodu mora završiti do kraja srpnja 1977. god.

Izgradnjom DV 2 × 380 kV Zagreb — Sutla završava se sjeverni dio prstena osnovne 380 kV mreže »Nikola Tesla« u tom dijelu Hrvatske.

I. R.

DALEKOVOD 110 kV KRALJEVAC — PODGORA

Konzum makarskog područja uskoro će dobiti vrijedan i značajan elektroenergetski prijenosni objekt. Naime u prvom ovogodišnjem tromjesječu otpočeli su radovi na gradnji dalekovoda 110 kV Kraljevac — Podgora, dug oko 28,5 km. Tehnički podaci: čelično-rešetkasti pocinčani stupovi s vodičima Al/Fe 240/40 mm², čelično zaštitno uže presjeka 50 mm² i izolatori stakleni tipa TK-120, proizvod Industrije porculana u Aranđelovcu.

Investitor »Elektroprenos« iz Splita ugovorio je gradnju i montažu s poduzećem »Dalekovod«. Izvođač će isporučiti i dobar dio opreme.

Izgradnja DV 110 kV Kraljevac — Podgora osigurava tom konzumnom području dovoljnu količinu kvalitetne električne energije. To je od velike vrijednosti jer se u tom kraju ubrzano razvija turizam. Koristi će imati i široka potrošnja, a stvaraju se i povoljni uvjeti za razvoj »male industrije« na makarskom području. Planirano je da vod bude izgrađen do kraja kolovoza ove godine.

I. R.

PROŠIRENJE MREŽE KONZUMA GORSKOG KOTARA

Danas se opskrba električnom energijom konzuma Gorskog kotara vrši putem vodova 35 kV iz HE Vinodol, CHE Fužine, provizorne TS 110/30 kV Vrbovsko, te iz izvora na 10 kV iz HE Zeleni Vir.

Glavne distributivne pojne točke su transformatorske stanice Vrata, Kupjak, Delnice, Vrbovsko i Gerovo od 30/10 kV, za potrebe željezničke vuče EVP Drivenik, Lokve, Skrad i Vrbovsko, a za potrebe industrije TS 35 kV Drvenjača.

S obzirom na stalni porast konzuma Gorskog kotara, a na osnovi moguće potrošnje, izrađen je perspektivni plan konzuma koji predstavlja glavnu podlogu za ispravno dimenzioniranje i oblikovanje nove električne mreže. Razvoj konzuma, dimenzioniranje i oblikovanje buduće mreže, detaljno je riješen studijom »Snabdijevanje Gorskog kotara električnom energijom«, što je izrađen u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu.

U studiji su razrađene tri varijante visokonaponske mreže sa sistemom: 110/35/10 kV; 110/35/20 kV i 110/20 kV. Najpovoljnije rješenje za ovaj konzum jest sistem 110/35/20 kV, jer zahtijeva najmanja investicijska ulaganja do 2000. god.

Za sigurno i kvalitetno napajanje potrebno je što prije pristupiti gradnji TS 110/35 kV Delnice, a u budućnosti i novoj TS 110/35 kV u Vrbovskom kao zamjeni za postojeći provizorij. Programirano je da sve postojeće TS 30/10 kV trebaju u 1977. god. prijeći na primarni napon 35 kV, a ujedno ih treba postepeno rekonstruirati za napon 20 kV, s tim da se temelji transformatora pripreme za 2 × 8 MVA.

Prijelaz distributivne visokonaponske mreže s napona 10 kV na napon 20 kV uvjetovan je postojećim naponskim prilikama, porastom opterećenja i mogućnosti prijenosa na pojedinim konzumnim područjima.

Utvrđen je redoslijed prijelaza na viši naponski nivo od 10 kV na 20 kV za područje Gorskog kotara. Na prvom mjestu uvršteno je konzumno područje Kupske doline koja se sada napaja iz TS 35/10 kV Mali Lug. Ostala će područja taj prijelaz vršiti postepeno — to je konzum TS 35/10 kV Vrata; TS 35/10 kV Vrbovsko te TS 35/10 kV Delnice.

I. R.

PRIPREME ZA LICITACIJU II FAZE 380 kV

Program izgradnje prve faze osnovne 380 kV mreže »Nikola Tesla« dobrim je dijelom realiziran. Veći broj objekata kompletno je izgrađen, a preostali dio bit će završen u toku ove godine.

Izvršene su potrebne pripreme za raspisivanje međunarodne licitacije izgradnje II faze 380 kV osnovne mreže »Nikola Tesla«.

Plan II faze obuhvaća izvedbe dalekovoda 380 kV u dužini 1 212 km, 14 transformatorskih stanica, 3 razvodna postrojenja i 9 dispečerskih centara. Realizacija plana treba biti završena do 1981. god. Potrebne investicije za navedene objekte iznose oko 600 milijuna USA dolara, odnosno oko 1 080 milijuna dinara.

Na međunarodnoj licitaciji prvenstveno će sudjelovati poduzeća i organizacije koje su radile na prijenosnim objektima i isporuci opreme iz prve faze programa. To su poduzeća »Dalekovod« i »Rade Končar« iz Zagreba, »Energoinvest« Sarajevo, »Minel« Beograd, te Industrija porculana Aranđelovac.

Osim građevnih i montažnih poslova, naša industrija će ponuditi isporuku čeličnih stupova, ovjesni i spojni materijal, izolatore i dio opreme za transformatorske stanice. Inozemni proizvođači isporučit će glavni dio opreme za transformatorske stanice, regulacijske i mjerne uređaje te opremu za rasklopna postrojenja, kabele i dr.

I. R.

UDRUŽIVANJE INSTITUTA

U travnju je u Zagrebu u prisutnosti Predsjedništva Privredne komore SR Hrvatske i članova Izvršnog vijeća Sabora potpisan samoupravni sporazum o udruživanju u zajednicu Instituta »Ruđer Bošković« iz Zagreba, Inštituta »Jožef Štefan« Ljubljana i Instituta za nuklearnu nauku »Boris Kidrič« iz Vinče. Glavni zadatak novoosnovane zajednice je zajedničko povezivanje istraživačkih radova na području nuklearne energije i njezine primjene u praktične svrhe.

Ekipa stručnjaka zajednički će izraditi istraživački dugoročni program rada i razvoja problematike nuklearne tehnike i njezino korištenje za naše prilike.

I. R.

22. SEMINAR JUREMA

U okviru Proljetnog zagrebačkog velesajma održan je od 19. do 22. travnja 1977. god. tradicionalni »22. međunarodni seminar JUREMA 77«. Ovogodišnja priredba JUREME obilježena je održavanjem većeg broja skupova i seminara na kojima je obrađena ova problematika:

— teorija i primjena regulacije, mjerenja i automatike,
— automatizacija i sigurnost željezničkog prometa,

— električne smetnje i elektromagnetska kompatibilnost, te,
— provođenje nastavnog programa iz područja regulacije.

Seminaru je prisustvovao velik broj stručnjaka, a održan je ciklus predavanja domaćih i stranih stručnjaka.

Istovremeno je organizirana i Međunarodna izložba uređaja i instrumenata mjerne i regulacijske tehnike i automatizacije. Uz domaće izlagače sa svojim eksponatima nastupili su i strani proizvođači iz područja regulacije i automatizacije.

I. R.

PRVO SAVJETOVANJE O PRIMJENI SUNČANE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI

Savjetovanje o primjeni sunčane energije u Jugoslaviji je održano u Beogradu od 22. do 24. ožujka 1977. god. Organizatori su Jugoslavenski savez za zaštitu i unapređenje čovjekove okoline, Savezni komitet za energetiku i industriju, Privredna komora Jugoslavije, Savez republičkih i pokrajinskih SIZ-a za naučnu djelatnost u SFRJ i Jugoslavenski komitet svjetske konferencije za energetiku.

Osim velikog broja stručnjaka, skupu su prisustvovali i dr Aleš Bebler, predsjednik Jugoslavenskog saveza za zaštitu i unapređenje čovjekove okoline i Dušan Ilijević, član SIV-a, predsjednik Komiteta za energetiku i industriju.

Svrha je održanog savjetovanja da se razmotri problem organiziranja i pokretanje svih društvenih snaga na sagledavanju mogućnosti naše zemlje u iskorištavanju sunčane energije.

Na skupu je podneseno 66 referata domaćih stručnjaka i 7 informativnih prikaza istraživača iz UNESCO-a, OUN, SR Njemačke, SAD i Francuske.

Iz podnesenih referata može se zaključiti da se u svijetu provodi intenzivan istraživački rad u svrhu korištenja novih izvora energije, a korištenje sunčane energije je jedno od najperspektivnije u budućnosti.

Zadnjih godina u svijetu je naglo porastao interes primjene sunčane energije u praktične svrhe, osobito od 1973. god. kada je na svjetskom tržištu naglo porasla cijena nafti, ugljenu i naftnim derivatima.

Mogućnosti Jugoslavije

Sunčana energija je neiscrpni izvor, pristupačan svim narodima u svim krajevima svijeta koji može zadovoljiti sve energetske potrebe čovječanstva.

Jugoslavija je uvrštena u zemlje s vrlo dobrim mogućnostima za tehnološko iskorištavanje sunčane energije. Ukupni globalni solarni potencijal je oko 1 000 puta veći nego svi jugoslavenski kapaciteti 1976. god.

Realna maksimalna tehničko-tehnološka mogućnost iskorištavanja ovog potencijala je oko 10%. To je 100% više nego naši dosadašnji kapaciteti, što znači da sunčeva energija Jugoslavije može zadovoljiti potrebe i u mnogostruko povećanim zahtjevima budućnosti.

Sunčana energija vrlo je pogodna i s ekološkog gledišta: ne zagađuje čovjekovu okolinu, niti mijenja klimatske uvjete na zemlji. Ispitivanjem je utvrđeno da je takva energija vrlo korisna za zagrijavanje industrijskih, stambenih i drugih objekata. Da bi se u našim prilikama te mogućnosti iskoristile, predloženo je da se pristupi gradnji nekoliko tipova zgrada u svim regijama Jugoslavije koje bi se zagrijavale sunčanom energijom. Da bi se ostvarile takve ideje, potrebno se koristiti ostvarenim inozemnim rezultatima.

Velik interes je pobudio referat u kojem je obrađen sistem iskorištavanja sunčane energije u primorskim krajevima, koji se pretežno nalaze u SR Hrvatskoj. Mogućnosti su široke: za grijanje potrošne tople vode, za zagrijavanje bazena i drugih prostorija, za kuhanje u domaćinstvima i sl.

Sunčana energija može se primijeniti i za dobivanje pitke — destilirane vode iz mora, proizvodnju morske soli i dr.

Grupa profesora Tehničkog fakulteta iz Rijeke, u suradnji s drugim stručnjacima, zaključila je da je primjena sunčane energije u primorskim krajevima moguća bez većih investicijskih ulaganja, osobito za zagrijavanje objekata. Upotreba te energije za hlađenje nešto je skuplje zbog posebnih uređaja, a amortizacija je moguća tek nakon više godina.

Zaključci savjetovanja

Nakon iscrpne diskusije o pojedinim referatima, a imajući na umu iznesene činjenice o primjeni sunčane energije, sudionici Savjetovanja su ocijenili da je Sunce energetski izvor koji u budućnosti može imati značajno mjesto u podmirenju energetskih potreba Jugoslavije.

Energetski potencijal sunčane energije u Jugoslaviji je vidljiv, ali zbog procjene raspoloživog potencijala s obzirom na mogućnosti njegova korištenja u određenim sektorima potrošnje, potrebno je sistematski nastaviti studijsko-analitički rad.

Nadalje, sudionici Savjetovanja su predložili da se pristupi sistematizaciji i kontuiniranom provođenju programa o uvođenju i razvoju sunčane energije na taj način što bi savezni i republički organi donijeli bitne programe razvoja energije za duže razdoblje u okvirima kompletne energetske bilance Jugoslavije. Isto tako su predložili Privrednoj komori Jugoslavije da u skladu s predloženim razvojem poduzme potrebne mjere da se u građevinarstvu, strojogradnji i elektroindustriji osiguraju prateći programi proizvodnje opreme i uređaja za primjenu novih izvora energije.

Posebnu pažnju treba posvetiti izobrazbi stručnog kadra koji bi obuhvatio razne profile tehničko-stručnog osoblja. Preporučeno je da se provede organizacija redovnog i postdiplomskog studija na odgovarajućim fakultetima koji će se baviti rješavanjem problematike primjene sunčane energije.

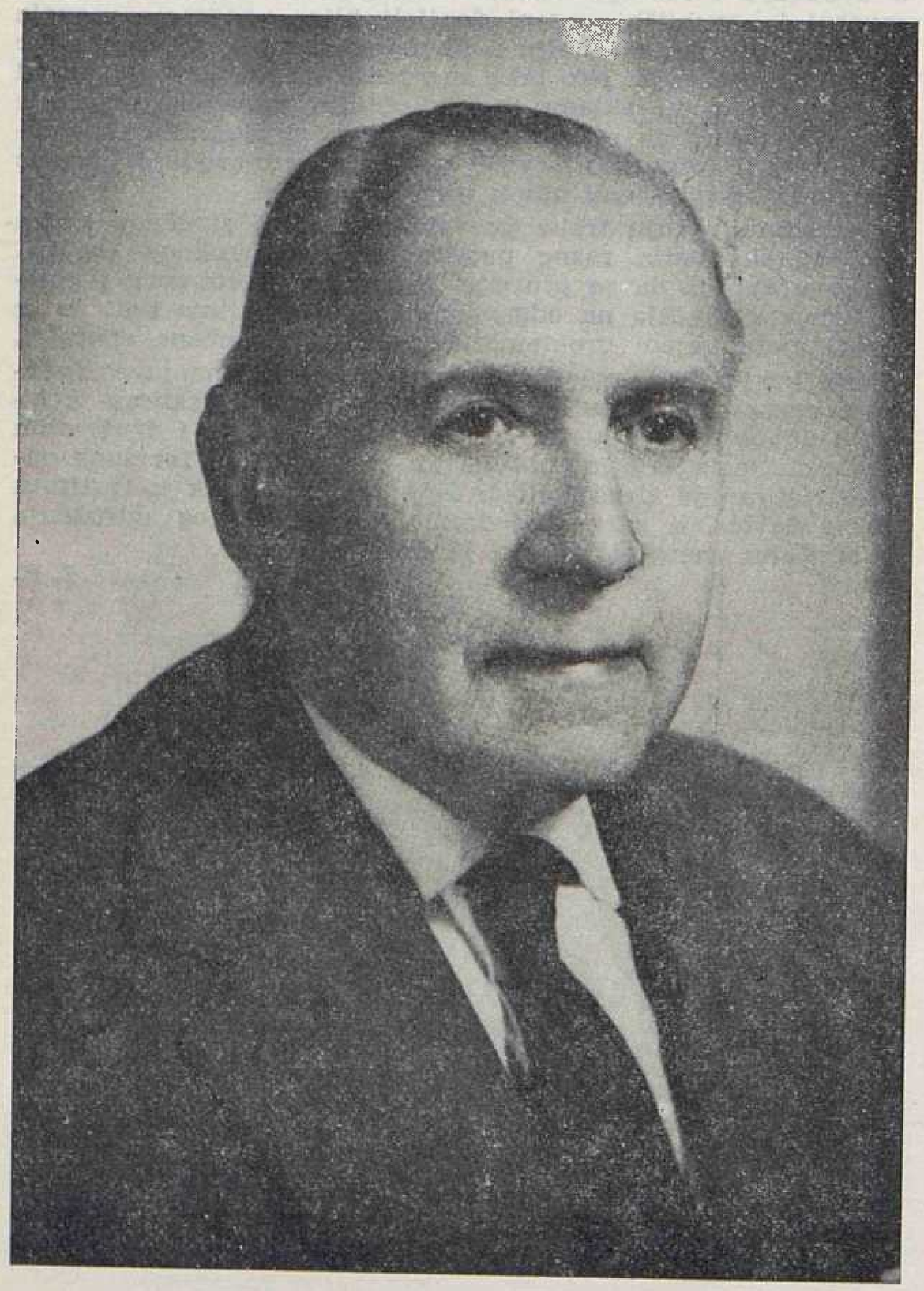
Na kraju Savjetovanja osnovana je Skupština jugoslavenskog udruženja za sunčanu energiju — JUES. Izabran je izvršni odbor u koji su ušli predstavnici stručnih i društvenih organizacija iz svih republika. Za predsjednika Izvršnog odbora izabran je Uroš Jeličić, dipl. ing. savjetnik u Institutu »Kiril Savić«, a za predsjednika Jugoslavenskog udruženja za sunčanu energiju izabran je dr Aleš Bebler.

I. R.

IN MEMORIAM

BOŽIDAR FILIPOVIĆ

U poodmakloj dobi iznenada je 3. srpnja 1977. preminuo Božidar Filipović, dipl. ing., istaknuti elektroprivredni stručnjak. Rođen je 1894. u Petrinji. Osnovnu školu i realnu gimnaziju je završio 1912. u Zagrebu. Studij je započeo na Visokoj tehničkoj školi, elektrotehnički smjer u Brnu, no zbog prvog svjetskog rata, prekida ga i odlazi u vojsku, gdje ostaje do sloma Austrougarske monarhije. Nakon rata nastavio je studij u Brnu, i diplomirao 1921. godine.



Od 1921. do 1934. zaposlen je u tvornici akumulatora, Munja i Jug. Ganz d. d. u Zagrebu. U razdoblju od 1934. do 1941. na dužnosti je šefa Odjela brojila i mreže u bivšoj Električnoj centrali grada Zagreba. Za vrijeme Drugog svjetskog rata do 1945. izvodi kao ovlašteni inženjer projekte industrijskih elektrana. Ponovno se vraća u Električnu centralu kao rukovoditelj statističke službe, kalkulacija i tarifne politike u opskrbi električnom energijom. Godine 1946. prelazi na rad u poduzeća Elpoh, zatim Minel, pa u Generalnu direkciju elektroprivrede Hrvatske, gdje rukovodi poslovima unapređenja električnog gospodarstva. Godine 1953. dolazi u Institut za elektroprivredu u Zagrebu. Umirovljen je 1963, no kao vrstan stručnjak nastavlja rad u Institutu kao honorarni suradnik sve do 1975.

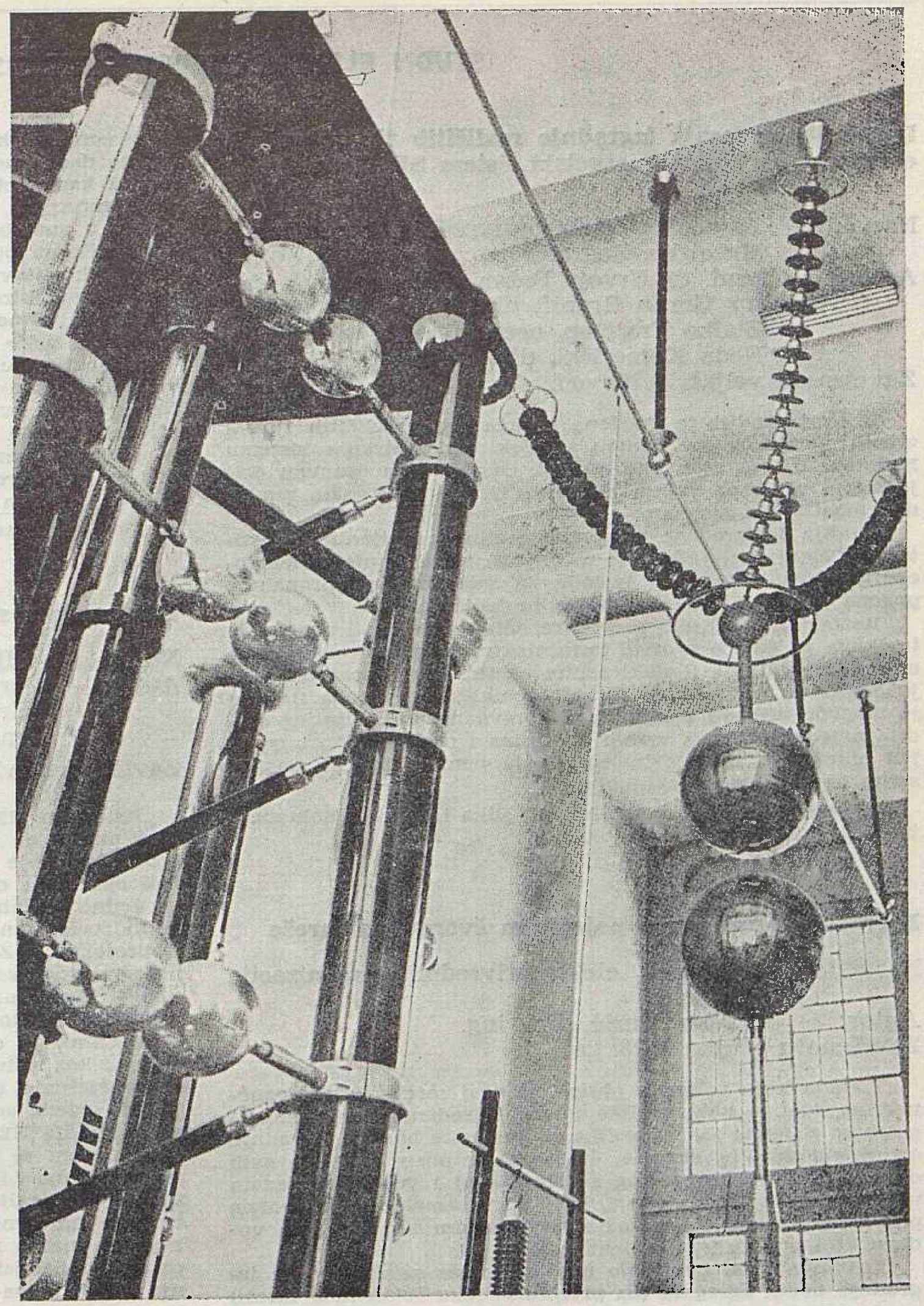
Ing. Božidar Filipović kao marljiv i vrlo uporan radnik u svojoj dugogodišnjoj djelatnosti objavio je velik broj stručnih studija, radova i članaka u domaćoj i stranoj literaturi. Od 1949. predavao je na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu gospodarstvo električne energije. Bio je glavni urednik časopisa Energija, i njegov pokretač. U tom časopisu objavljen je i velik broj njegovih studija i prikaza s područja elektroprivrednog gospodarstva.

Treba istaknuti da je ing. Filipović bio i vrlo aktivan društveni radnik. Prije rata bio je član akademskog društva »Jugoslavija« u Brnu, u Gradskoj električnoj centrali dugogodišnji športski radnik, predsjednik športskog kluba Šparta. Od 1921, pa do posljednjih dana života neumorno je radio u Savezu inženjera i tehničara, u raznim stručnim komitetima i upravama ne samo u Zagrebu, nego i u jugoslavenskim okvirima.

Od preminulog ing. Božidara Filipovića oprostili su se: u ime Elektrotehničkog društva Zagreb i Saveza inženjera i tehničara Hrvatske ing. Želimir Gojmerac, a u ime Instituta za elektroprivredu, dr Fedor Šprung, ističući 55 godišnji aktivni rad i značaj ing. Filipovića u oblasti razvoja i unapređenja naše elektroprivredne djelatnosti.

Uspomena na ing. Božidara Filipovića kao istaknutog stručnjaka ostat će u dugotrajnom sjećanju njegovih kolega, suradnika i prijatelja.

I. R.



RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1976. 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 više od dvadeset godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nosilac obrade važnih problema jugoslavenske i hrvatske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja energetskih sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana, stalni rad na studiji prespektivnog razvoja jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona, te rad na analizi potrošnje i drugim problemima razvoja razdjelnih mreža.

Osim rada na užoj problematici razvoja elektroenergetskog sistema, razvio se rad na tehnološkim elementima termoenergetike, te u tehnici visokog napona. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u zemlji. Posljednjih godina ubrzano se razvija i studij 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 osam posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokuženi djelokrug rada:

1. Studijska radna jedinica za elektroenergetske sisteme
2. Studijska radna jedinica za prijenosne mreže
3. Studijska radna jedinica za razdjelne, visokonaponske mreže i
4. Studijska radna jedinica za n. n. mreže i za projektiranje
5. Studijska radna jedinica za automatizaciju i regulaciju
6. Studijska radna jedinica za termoenergetske sisteme
7. Studijska radna jedinica Laboratorij za toplinska mjerenja
8. Studijska radna jedinica Zavod za visoki napon i jaku struju.

U daljnjem tekstu su prikazani važniji radovi iz djelovanja pojedinih grupa u 1976. godini.

STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Usporedba utjecaja izgradnje različitih tipova vršnih elektrana na elektroenergetski sistem SR Hrvatske

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Autor: prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
mr Goran Granić, dipl. ing.
Zlatko Frajman, oecc.
Neda Komerički, dipl. tehn.
Završeno u veljači 1976. god.

U ovoj studiji je izvršena komparacija različitih tipova vršnih elektrana za odnose u elektroenergetskom sistemu Hrvatske u 1986, 1990, 1995. godini. Ona je dala osnovnu orijentaciju za izbor vršnih elektrana kakve bi trebalo graditi u promatranom sistemu.

Studija je izrađena uz pomoć metoda razvijenih u Institutu za elektroprivredu, i to metoda za bilanciranje u elektroenergetskom sistemu i metode za određivanje optimalnog pogona pumpno-akumulacijskog postrojenja.

Razmatran je široki raspon različitih utjecaja i povećanja troškova za gorivo u svim termoelektranama, povećanje specifičnih investicija u nuklearnim elektranama, povećanje cijena nuklearnog goriva, utjecaj dopunskih elektrana itd., pa je moguće doći do zaključka o opravdanosti detaljnijeg studija pojedinih tipova vršnih elektrana i na taj način unaprijed eliminirati ona postrojenja koja nemaju izgleda da postanu opravdana za izgradnju.

Opseg: 155 strana, 98 tablica, 105 slika i opsežan dokumentacijski prilog.

Proračun sigurnosti u pojedinim čvorovima mreže

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
Autor: Slavko Alerić, dipl. ing.
Završeno u ožujku 1976. god.

Metoda koja uzima u obzir i utjecaj mreže daje mogućnost za analizu kako prilika u već izgrađenom elektroenergetskom sistemu, tako i prilike za varijante buduće izgradnje elektroenergetskog sistema. Uzima se u obzir kvaliteta svih dijelova elektroenergetskog sistema: broj i veličina agregata u elektranama, broj vodova, broj transformatora, međusobna povezanost dijelova sistema s prijenosnim kapacitetima vodova koji povezuju pojedina čvorišta itd.

Uzimajući sve navedeno u obzir, može se analizirati: izgradnja novih agregata (uz pretpostavljenu lokaciju u mreži) s određenom snagom, izgradnja novih vodova, udvostručenje postojećih vodova, podjela snage transformacije na više transformatora itd.

Ovakva analiza prilika omogućuje da se prilikom projektiranja proširenja elektroenergetskog sistema objektivno analiziraju varijante izgradnje s obzirom na sigurnost opskrbe potrošača u svakom čvorištu.

U elektroenergetskom sistemu Hrvatske — koji je radi lakšeg proračuna podijeljen na elektroenergetski sistem Dalmacije, Slavonije i centralni elektroenergetski sistem — učinjen je proračun za nekoliko karakterističnih čvorišta za jednu godinu i dva nivoa konzuma (ljetna i zimska sezona).

Opseg: 44 strane, 31 tablica i 58 slika.

Metodološki principi optimizacije vremena ulaska u pogon pumpno-akumulacijskih postrojenja u mješovitom elektroenergetskom sistemu

Naručitelj: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd
Autor: prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
Završeno u travnju 1976. god.

Pumpno-akumulacijsko postrojenje je hidroelektrana u kojoj se za proizvodnju električne energije iskorištava potencijalna energija vode (turbinski pogon) akumulirana u gornjem akumulacijskom bazenu pumpanjem iz donjeg akumulacijskog bazena. Promatrajući, dakle, bilančno, pumpno-akumulacijsko postrojenje je potrošač električne energije, ali u krajnjoj liniji takvo postrojenje može biti korisno u elektroenergetskom sistemu ako se pumpanje vrši u razdobljima dana kada je opterećenje nisko i kad postoji neiskorišteni kapaciteti za proizvodnju električne energije, te kad se pumpanjem akumulirana voda iskorištava za turbinski pogon u razdobljima dana kada je opterećenje visoko. Takvim načinom pogona, ako se pumpno-akumulacijsko postrojenje iskorištava na optimalan način, postiže se dvovrsna korist u elektroenergetskom sistemu: smanjuje se potreba izgradnje termoelektrana uz zadanu sigurnost opskrbe potrošača i bolje iskorištavanje termoelektrane sistema.

U studiji su razrađene metoda za određivanje potrebnih volumena pumpno-akumulacijska postrojenja, optimalnog načina pogona pumpno-akumulacijskih postrojenja i vremena ulaska u pogon pumpno-akumulacijskog postrojenja. Također je i na jednom jednostavnom modelu prikazana primjena metode za određivanje vremena ulaska u pogon pumpno-akumulacijskih postrojenja.

Opseg: 64 strane, 14 tablica i 52 slike.

Uklapanje u sistem HE Senj I

Naručitelj: Hidroelektrana Senj — Senj
Autor: prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
dr Božo Udovičić, dipl. ing.
mr Goran Granić, dipl. ing.
Završeno u svibnju 1976. god.

Postojeća HE Senj je nisko instalirana pa se zbog toga čine napori da se za budućnost nađe takvo tehničko-energetsko rješenje koje će uz najmanja financijska ulaganja dati optimalne efekte u elektroenergetskom sistemu.

Jedno od tehničkih rješenja za povećanje instalirane snage hidroelektrane Senj bez nove derivacije jest rješenje Elektroprojekta iz Zagreba, u kome se predlaže izgradnja kompenzacijskog bazena nedaleko od završenog dijela postojećeg tunela. Kompenzacijski bazen Stražbenica leži na oko 150 m višoj koti od kote Gusić-Polja.

Zadatak je ove studije — s obzirom na razvoj elektroenergetskog sistema SR Hrvatske — da pronađe za takvo tehničko rješenje optimalno energetsko rješenje.

Provedene analize su pokazale da je energetski opravdana izgradnja HE Senj I s akumulacijskim bazenom Stražbenica, kojom se bitno poboljšava kvaliteta energije proizvedene vodama Like i Gacke, te kojom se povećava proizvodnja hidroenergije u tom hidroenergetskom sistemu. To povećanje hidroenergije traži dodatnu energiju za pumpanje, koja je znatno manja od takve energije za normalno pumpno-akumulacijsko postrojenje, jer je visina pumpanja manja od pada na kojem se pumpana voda energetski iskorištava.

Opseg: 46 strana, 29 slika, 75 tablica i opsežan dokumentacijski prilog.

Opravdanost izgradnje akumulacije Ričica

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split
Autor: dr Božo Udovičić, dipl. ing.
Slavko Alerić, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1976. god .

Budući da se u elektroenergetskom sistemu gradi veći broj termoelektrana, u budućnosti treba očekivati manje značenje energije akumulirane u akumulacijskim bazenima. U sistemu s manjim udjelom hidroenergije od udjela termoenergije akumulacije su potrebne radi osiguranja snage u doba velikih opterećenja, znači da će trebati graditi manje akumulacijske bazene. Svrha ove studije je da utvrdi opravdanost izgradnje akumulacije Ričice korisnog volumena 96 hm^3. Analiza opravdanosti će se provesti u elektroenergetskom sistemu Hrvatske za dva nivoa konzuma od 18 i 22,6 TWh, uz sigurnost opskrbe potrošača od 95%, te uz osiguranje rotirajuće rezerve i remonta termoelektrana sa slijedećim pretpostavkama izgradnje HE Obrovac:

A — protočno korištenje voda (Qi = 40 m^3/sek)

B — korištenje akumulacije Ričica 96 hm^3 (Qi = 40 m^3/sek)

C — crpno-akumulacijsko postrojenje (Qi = 40 m^3/sek)

D — crpno-akumulacijsko postrojenje (Qi=60 m^3/sek).

Svrha proračuna je utvrditi potrebni crpni rad HE Obrovac, potrebne veličine gornjeg i donjeg akumulacijskog bazena, te granice investicija iznad koje se ne bi isplatilo graditi akumulaciju Ričica, odnosno crpno-akumulacijsko postrojenje.

Opseg: 35 strana i 5 slika.

Uloga HE Mratinje u elektroenergetskim sistemima SR Crna Gora i SR Srbija

Naručitelj: Kombinat aluminija, Titograd
Autor: prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
dr Božo Udovičić, dipl. ing.
Zlatko Frajman, oecc.
Završeno u lipnju 1976. god .

U studiji su analizirane slijedeće varijante i utjecaji izgradnje HE Mratinje:

Utjecaj izgradnje HE Mratinje na izgrađene hidroelektrane na Drini (HE Bajina Bašta s 4 agregata i HE Zvornik).

Prilike u elektroenergetskom sistemu Srbije bez utjecaja HE Mratinje na HE Drini (HE Bajina Bašta, 4 agregata).

Prilike u elektroenergetskom sistemu Srbije s utjecajem HE Mratinje na HE na Drini (HE Bajina Bašta, 4 agregata).

Prilike u elektroenegetskom sistemu Crne Gore u slučaju odvojenog pogona s iskorištavanjem HE Perućica i HE Mratinje.

Prilike u elektroenergetskom sistemu Crne Gore u slučaju odvojenog pogona s iskorištavanjem HE Perućice i HE Mratinje i uz preuzimanje 50% pozitivnih utjecaja na HE na Drini kao energije u doba malih opterećenja, uz isporuku 50% negativnih utjecaja na HE na Drini kao energije u doba malih opterećenja i uz isporuku 50% negativnih utjecaja na HE na Drini u doba velikih opterećenja.

Utjecaj izgradnje IV agregata u HE Bajina Bašta na mogućnost proizvodnje u HE Bajina Bašta s utjecajem HE Mratinje.

Utjecaj izgradnje IV agregata u HE Bajina Bašta na prilike u elektroenergetskom sistemu Srbije s utjecajem HE Mratinje. Analiza uz pretpostavku da su u HE Bajina Bašta izgrađena 3 agregata.

Prilike u sistemu Srbije uz pretpostavku da taj sistem preuzme potpunu opskrbu Kombinata aluminija, uz 100%-tnu garanciju, kao svojeg potrošača.

Prilike u sistemu Srbije uz pretpostavku da HE Mratinje svojom proizvodnjom u okviru svojih mogućnosti osigurava energiju za Kombinat aluminija za vrijeme velikih opterećenja sistema a) kroz 12 sati u radnom danu, b) kroz 15 sati u radnom danu i c) kroz 17,5 sati u radnom danu, a svu ostalu potrebnu energiju osigurava sistem Srbije.

Prilike u sistemu Srbije uz pretpostavku da sistem Srbije upravlja pogonom HE Mratinje uz obavezu da uz 100%-tnu garanciju osigurava opskrbu Kombinata aluminija i da preuzme svu energiju iz HE Mratinje, s tim da se varijabilna energija HE Mratinje koristi: a) 12 sati, b) 15 sati i c) 17,5 sati u radnom danu.

Prilike u sistemu Crne Gore uz pretpostavku da sistem Srbije preuzima HE Mratinje, a s tim i opskrbu Kombinata aluminija; mogućnost osiguranja preostalog konzuma Crne Gore energijom i 2 HE Perućica.

Mogućnost plasmana viškova energije iz HE Perućica za opskrbu kombinata aluminija, a radi smanjenja dobavne noćne energije iz sistema Srbije.

Određivanje neiskoristivih viškova iz HE Perućica nakon plasmana noćne energije za Kombinat aluminija.

Prilike u elektroenergetskom sistemu Srbije i Crne Gore za slučaj zajedničke koordinirane eksploatacije (uključujući i HE Perućica).

U okviru studije prikazani su na bazi dostupnih podataka odnosi elektroprivrede i elektroliza aluminija u nas i u svijetu, a osim toga mogući odnosi Kombinata aluminija i elektroenergetskog sistema Crne Gore imajući na umu rezultate provedenih analiza.

Na temelju provedenih analiza predloženi su zaključci za odnose među elektroenergetskim sistemima.

Opseg: 181 strana.

Opravdanost akumuliranja vode u toku rijeke Gacke

Naručitelj: HE Senj, Senj
Autor: dr Juraj Keglević, dipl. ing.
mr Goran Granić, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1976. god.

Svrha je ove studije odrediti uštede koje je moguće postići u elektroenergetskom sustavu Hrvatske izgradnjom sezonske akumulacije u toku rijeke Gacke. Rezutati ove studije poslužit će za usporedbu s veličinom investicija i godišnjih troškova za navedenu akumulaciju. Na temelju te usporedbe moguće je odrediti opravdanost izgradnje sezonske akumulacije u toku rijeke Gacke.

Analize su provedene za elektroenergetski sustav Hrvatske oko 1985. i 1990. god., i to uz današnje stanje izgradnje hidroelektrane Senj.

Sve analize su vršene uz dvije različite pretpostavke: jednom uz pretpostavku da se svi protoci poznaju unaprijed, a drugi put uz pretpostavku da se protoci unaprijed ne poznaju.

Za određivanje načina korištenja akumulacijskih bazena upotrijebljena je metoda koja se osniva na optimizaciji elektroenergetskog sistema (Lit. 1.).

Pri određivanju korištenja akumulacija pošlo se u prvoj iteraciji od pretpostavke da je regulirani protok jedak prirodnom dotoku, da su akumulacijski bazeni stalno puni i da je korelacijski faktor jednak 20,0. Da se dođe do rješenja koje je dovoljno blizu optimalnom rješenju proveden je proračun u 8 — 13 iteracija. Nakon svake iteracije određeni su ukupni troškovi za gorivo i štete zbog redukcije. Raspored protoka u svakom akumulacijskom bazenu se tako korigira da se stalno smanjuje zbroj troškova za gorivo i šteta zbog redukcija.

Nakon tako provedenih korektura protoka dolazi se do reguliranih protoka, stanja u akumulacijama i mogućnosti proizvodnje u hidroelektranama HE Sklope i HE Senj.

Pomoću određenih regresijskih koeficijenata i konstanata određene su moguće proizvodnje hidroelektrana, i to za sve mjesece u 40-godišnjem razdoblju (1926—1965) za pomak korelacijske ravnine 60%.

Za tako određene moguće proizvodnje hidroelektrana Senj i Sklope izračunate su elektroenergetske bilance sustava Hrvatske. Dobiveni rezultati vrijede uz pretpostavku da se protoci unaprijed ne poznaju, što odgovara stvarnosti.

Nakon određivanja mogućih proizvodnji hidroelektrana učinjene su elektroenergetske bilance sistema Hrvatske u 1985, 1990. god. za nekoliko načina korištenja akumulacije Gacka. Na temelju rezultata elektroenergetskih bilanci donesen je zaključak o ograničenim investicijama koje bi se mogle utrošiti da bi izgradnja akumulacije bila rentabilna.

Opseg: 70 strana.

Veličina izgradnje HE Zakučac III

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split
Autor: prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
dr Božo Udovičić, dipl. ing.
mr Goran Granić, dipl. ing.
Završeno u studenom 1976. god.

U ovoj studiji razmatrane su varijante izgradnje HE Zakučac III sa stajališta utjecaja izgradnje te hidroelektrane na elektroenergetski sistem Hrvatske. Zadatak je provedene analize utvrđivanje ušteda u elektroenergetskom sistemu kao posljedice izgradnje različitih varijanti rješenja izvedbe HE Zakučac III. Tako određene uštede treba da posluže kao osnova za izbor najpovoljnijeg varijantnog rješenja i za određivanje optimalne veličine izgradnje takvog rješenja. Budući da utjecaj na sistem nove elektrane ovisi o stanju razvoja sistema, analizirane su prilike u sistemu Hrvatske za tri stanja razvitka sistema koji se mogu očekivati u 1986, 1990. i 1995. god.

Razmatrane su slijedeće varijante izgradnje HE Zakučac III:

a) HE Zakučac III s akumulacijom Gata i s pumpnom stanicom Gata. Pumpnom se stanicom osigurava naime potrebni volumen u akumulaciji Gata, što nije moguće osigurati gravitacijom.

b) HE Zakučac III s akumulacijom Gata, ali bez pumpne stanice. Tada se može koristiti manji volumen akumulacije Gata, ali otpada potreba izgradnje pumpnog postrojenja.

c) HE Zakučac III s akumulacijom Gata i s nadvišenjem brane Prančevići. S tim nadvišenjem brane omogućava se punjenje bazena Gata do kote kao u slučaju izgradnje pumpne stanice Gata, pa se tako postiže dovoljno velika akumulacija na zahvatu HE Zakučac III i bez pumpanja. Takvim rješenjem ili se potpuno eliminira izgradnja HE Đale ili gradi s iskorištavanjem na manjem padu. U ovoj studiji računato je s izgradnjom HE Đale i u slučaju kad se nadvisuje i kad se ne nadvisuje brana Prančevići, kako bi se uzeo u obzir utjecaj izgradnje HE Zakučac III na iskorištenje energetskog potencijala rijeke Cetine.

d) HE Zakučac III s akumulacijom na Mosoru. Postoji, naime, mogućnost izgradnje akumulacijskog bazena na koti nešto većoj od 900 m n. m. na Mosoru. U tom bi se slučaju

voda dovedena pred postojeću HE Zakučac pumpala u visoko postavljeni bazen i iskorištavala u HE Zakučac III. Za analize u ovoj studiji nije potrebno definirati tehničko rješenje takvog postrojenja (pumpa na razini kraja cjevovoda HE Zakučac I i II, pumpa na razini strojarnice HE Zakučac III s trostrukim agregatom ili s reverzibilnim agregatom u HE Zakučac III).

Treba, međutim, napomenuti da u studiji postoje svi podaci pomoću kojih je moguće odrediti uštede u sistemu za bilo kakvu pretpostavku o specifičnim investicijama i o specifičnim troškovima za gorivo. Pri tome se mora naglasiti da promjena specifičnih troškova za gorivo utječe na eksploataciju postrojenja s pumpanjem. Prema tome rezultati dobiveni promjenom specifičnih troškova za gorivo nisu egzaktni, ali su dovoljno točni da prikažu utjecaj tih promjena. Nasuprot tome, promjena specifičnih investicija ne utječe na eksploataciju postrojenja s pumpanjem.

Opseg: 55 strana, 58 tablica i 18 slika.

STUDIJ PRIJENOSNIH MREŽA

Stanje u prijenosnoj mreži »Elektroprenosa« Zagreb u razdoblju 1975—1977. god.

Naručitelj: »Elektroprenos« Zagreb
Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Završeno u siječnju 1976. god.

Rad je rađen u tri odvojena dijela. Dva su dijela završena u 1975. god., a u ovom, trećem dijelu analizirane su prilike u mreži zagrebačkog područja za 1977. god. Zadatak je bio da se na osnovi pretpostavljenog porasta potrošnje i angažiranja izvora utvrde mogućnosti mreže i istraže prioriteti izgradnje.

Rezultati pokazuju da je na širem gradskom području potrebno izgraditi vod Mraclin — Toplana s vodičima u snopu 2 × 240/40 AlFe, posebno s obzirom na rekonstrukciju dvostrukog 110 kV voda Mraclin — Rakitje u vezi s uvođenjem u TS 380/110 kV Zagreb I. Za zadovoljenje potreba potrošnje grada u nešto daljoj perspektivi trebalo bi što prije izgraditi 110 kV vod od TS 380/110 kV Zagreb I do rasklopišta 110 kV Jug II, i to s vodičima u snopu 2 × 240/40 AlFe. U »podsistemu« Sisak-Mraclin-Kutina-Međurić potrebno je što prije izgraditi TS 220/110 kV Međurić, posebno s obzirom na mogućnosti plasmana pune proizvodnje TE Sisak. U »petlji« Mraclin-Ivanić-Koprivnica-Varaždin za sigurnost napajanja prihvaćena je kao najefikasnija varijanta izgradnje 110 kV voda Resnik-Koprivnica. U taj se vod uklapaju i buduće dvije TS 110/x kV, Dugo Selo i Križevci.

Rađena su i brojna dodatna istraživanja prema programu koji je utvrđen na recenziji i na sjednicama stručnog savjeta »Elektroprenosa«. Za ovaj rad u cjelini obavljeno je oko 220 ispitivanja, tako da se može smatrati da je za bližu perspektivu mreža zagrebačkog područja uglavnom istražena. Na osnovi ovog rada objavljeno je u stručnoj štampi i nekoliko prikaza.

Opseg (treći dio: »1977. godina«): 42 strane, 40 slika. Rad prate i protokoli s računskog stroja.

Priključak Željezare Sisak na elektroprivrednu mrežu — Varijanta »D«

Naručitelj: »Elektroprenos« Zagreb
Autor: mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Završeno u ožujku 1976. god.

Perspektivno povećanje potrošnje Željezare Sisak nametnulo je problem osiguranja te energije iz elektroprivredne mreže. Zato je izvršen niz ispitivanja elektroprivredne mreže, kako bi se utvrdio prijedlog zadovoljavajuće konfiguracije priključka Željezare u sklopu šireg područja čvora Sisak.

Dosada su razrađene tri varijante »A«, »B« i »C«, no ponovnim uviđajem na terenu, kao i u dogovoru s urbanistima utvrđeni su mogući novi koridori za postavljanje 110 kV vodova, a time i priključka Željezare.

Prema varijanti »D«, Željezaru bi trebalo povezati sa TE Sisak vodom s vodičima u snopu 2 × 360/57 AlFe, a veza sa TS Sisak I ostaje sa snopom 2 × 240/40 AlFe. Vod TE Sisak — TS Sisak I trebalo bi izvesti također snopom 2 × 360/57 AlFe, a vod TE Sisak — Rafinerija ili snopom 2 × 240/40 AlFe ili snopom 2 × 360/57 AlFe. Utvrđeno je da se promjene u 110 kV mreži malo odražavaju na 220 kV nivou. Što se tiče transformatora 220/110 kV u TE Sisak, odgovarajućim režimom rada i angažiranjem agregata u TE Sisak može se njegovo opterećenje držati u dozvoljenim granicama.

Opseg: 7 strana, 9 slika. Rad prate i protokoli s računskog stroja.

Proračun kratkog spoja u TE Sisak, godine 1976/77.

Naručitelj: TE Sisak
Autori: Miroslav Jung, dipl. ing.
Davor Nevečerel, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1976. god .

Za potrebe udešenja relejne zaštite mreže prilikom puštanja u pogon agregata 247 MVA u TE Sisak izvršeni su proračuni najvećeg mogućeg i vjerojatnih najmanjih početnih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja, kao i njihove raspodjele u mreži kod kvarova na različitim mjestima u okolišu TE Sisak.

Opseg: 2 studije.

Proračun konstanti i raspodjela najvećih struja početnog jednopolnog kratkog spoja duž trasa vodova 110 i 220 kV

Naručitelj: »Dalekovod«, Zagreb; »Elektra«, Zagreb; »Elektrolika«, Gospić; Elektroprenos«, Matulji i »Elektroprenos«, Zagreb
Autori: Miroslav Jung, dipl. ing.
Davor Nevečerel, dipl. ing.
Završeno 1976. god.

Za potrebe projektiranja nadzemnih vodova nazivnih napona 110 i 220 kV na području SR Hrvatske proveden je proračun konstanata i raspodjele najvećih struja početnog jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova na različitim mjestima duž trasa pojedinih vodova radi kontrole induciranih napona opasnosti u susjednim dojavnim vodovima.

Opseg: 9 studija.

Posolica na izolaciji postrojenja i vodova visokih napona

Naručitelj: »Elektroprivreda Dalmacije« Split
Autori: Ante Sekso, dipl. ing.
Ivo Hrs, dipl. ing.
Završeno u lipnju 1976. god .

U vezi s mogućom lokacijom nuklearne elektrane na otoku Viru bilo je potrebno istražiti kakav je utjecaj zagađenja visokonaponske izolacije morskom solju radi sigurnog i kontinuiranog rada jednog takvog objekta. Zamišljeno je da se u studiji dade cjelokupan pregled navedene problematike, počevši od teorijskog prikaza pojava koje nastaju kod preskoka na zagađenim izolatorima, preko metoda kvantitativne analize utjecaja posolice na izolaciju do pregleda tehničko-ekonomskih mjera za suzbijanje negativnih posljedica. Budući da se radilo o pionirskom radu kod nas, stupili smo u kontakt s vodećim istraživačkim centrima iz ovog područja u Evropi. Obišli smo nekoliko laboratorija, ispitnih stanica u prirodi, kao i postrojenja i vodove na kojima se provode različite zaštitne mjere. Nakon pregleda gotovo cjelokupne svjetske literature i razgovora s nekoliko vodećih evropskih eksperata zaključili smo da danas ne postoji jedinstvena i općenito prihvaćena metodologija ispitivanja utjecaja posolice na izolaciju i borbe protiv nje.

U studiji su prezentirani svi postupci kojima se ispituje utjecaj posolice na izolatore, i to u laboratorijskim i u prirodnim uvjetima. Izvršena je usporedba različitih postupaka kako bi se mogli odlučiti za metode koje su najbolje za primjenu u našim uvjetima. Od laboratorijskih metoda najpo-

voljnijim su se pokazala ispitivanja u slanoj magli zbog svojih svojstava ponovljivosti i reprezentativnosti. Budući da nijedna laboratorijska metoda ne može u potpunosti oponašati prirodne uvjete, u nizu primorskih zemalja izgrađene su ispitne stanice za praćenje utjecaja posolice na izolaciju izloženu prirodnom zasoljavanju. U studiji je predloženo da se i kod nas pristupi izgradnji jedne veće ispitne stanice u prirodi i instaliranju malih ispitnih stanica za mjerenje intenziteta zagađivanja solju. Sistematskim mjerenjima u toku najmanje nekoliko godina dobili bismo pouzdane podatke o ekonomičnom izboru izolatora i zaštitnih mjera za naše uvjete zagađivanja solju. U studiji su veoma opsežno obrađene različite zaštitne mjere kao što su npr. izbor najpovoljnijih vrsta izolatora (različiti materijali, oblici, konfiguracije lanaca itd.), zatim zaštitni premazi, različiti sistemi pranja izolatora i kombinacije nekih spomenutih mjera. Na kraju studije dan je opširan popis svih značajnijih radova iz ovog područja.

Opseg: 193 strane, 91 slika, 14 tablica.

Predstudija — analiza promjene približnog toka napona u razdoblju upuštanja elektromotora otpremnih upmpi i ostalih trošila u prvoj fazi pogona terminala Omišalj i pumpne stanice Melnice

Naručitelj: »Jugoslavenski naftovod«, Rijeka
Autori: prof. dr Berislav Jurković, dipl. ing.
Miroslav Jung, dipl. ing.
Završeno u srpnju 1976. god.

Predstudija je izrađena sa svrhom da na temelju približnih podataka o pumpama i ostalim trošilima terminala Omišalj i pumpne stanice Melnice »Jugoslavenskog naftovoda« približno utvrdi tok promjene napona na sabirnicama 35 kV u transformatorskim stanicama 110/35 kV u razdoblju upuštanja najnepovoljnijih potrošača pod najnepovoljnijim uvjetima u mreži. Ustanovljeno je da u kritičnom slučaju pad napona neće biti veći od 5% niti trajanje perturbacije dulje od 8 sekundi, pa je zaključeno da sa stajališta ostalih potrošača priključenih na istu razdjelnu mrežu pokretanje pumpi Jugoslavenskog naftovoda u Omišlju i u Melnicama neće uzrokovati nedozvoljeno velike smetnje.

Opseg: 22 strane, 8 crteža, 1 tablica.

Uzemljenje zvjezdišta mreže 35 kV priključene na TS 110/35 kV Komolac

Naručitelj: »Elektrojug«, Dalekovod
Autori: Miroslav Jung, dipl. ing.
Davor Nevečerel, dipl. ing.
Ivo Hrs, dipl. ing.
Željko Zlatar, dipl. ing.
Ante Sekso, dipl. ing.
Završeno u rujnu 1976. god.

Studija je podijeljena u četiri dijela:

I dio — Uzemljenje zvjezdišta i proračun kratkog spoja u kojem je obrađen prijelaz postojeće mreže 35 kV od pogona s izoliranim zvjezdištem na pogon sa zvjezdištem preko djelatnog otpora za ograničenje struja jednopolnog kratkog spoja na najviše 300 A, te je proveden proračun najvećih i najmanjih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja kod neistodobnih kvarova u pojedinim postrojenjima.

II dio — Relejna zaštita i automatsko ponovno uključivanje obrađuje pretpostavke za izbor relejne zaštite mreže, toplinske provjere i primjenu brzih releja, moguće vrste brzog isključenja vodova, prijedlog i obrazloženje izbora relejne zaštite mreža, analizu djelovanja i proračun udešenja odabrane relejne zaštite te relejnu zaštitu osjetljivih potrošača i primjenu automatskog ponovnog uključivanja.

III dio — Prenaponska zaštita postrojenja 35 kV obuhvatila je određivanje svojstava i izbor mjesta ugradnje odvodnika prenapona, a u skladu s tim su određene potrebne izmjene i dopune postojeće prenaponske zaštite u pojedinim TS.

IV dio — Uzemljivači postrojenja i vodova nazivnog napona 35 kV kontrolirani su u uvjetima povećanih struja kroz zemlju kod jednopolnih kratkih spojeva. Obrađena su teoretska pitanja u vezi s izvedbom uzemljivača transformatorskih stanica, a zatim su opisana mjerenja koja smo sproveli u svim pojedinim TS 35/10 kV. Dana je analiza karakteristika uzemljivača stupova i upute za njihove korekcije s obzirom na nove tehničke propise.

Opseg: 92 strane, 23 crteža, 11 tablica, protokoli računskog stroja.

Mjerenje i analiza raspodjele potencijala kod jednopolnog kratkog spoja u TS 110/35/10 kV Sučidar

Naručitelj: »Elektrodalmacija« Split
Autori: Ivo Hrs, dipl. ing.
Miroslav Jung, dipl. ing.
Ante Sekso, dipl. ing.
Dragutin Markovinović, dipl. ing.
Završeno u listopadu 1976. god.

Da bi se dobila slika o mogućoj opasnosti i načinu zaštite od prevelikih iznesenih potencijala kod nastupa jednopolnih kratkih spojeva u budućoj TS 110/10 kV Split 3, došlo se na ideju da se visina iznesenih potencijala odredi mjerenjem u jednoj postojećoj transformatorskoj stanici sličnih karakteristika. Odabrana je TS 110/35/10 kV Sučidar, jer je ona po svim karakteristikama (specifični otpor tla, struje kratkog spoja, priključena kabelska mreža itd.) veoma slična budućoj TS 110/10 kV Split 3.

Najprije su obavljena opsežna prethodna mjerenja: mjerenja otpora uzemljenja TS Sučidar, mjerenja specifičnog tla, zatim mjerenja potencijala na izabranim mjernim mjestima sa strujama dobivenim iz kućnog transformatora i mjerenja razdiobe struje kvara kod niskonaponskih ispitivanja. Izborom mjernih mjesta nastojalo se dobiti dovoljno podataka o razdiobi potencijala u okolici TS Sučidar, kao i u priključenoj kabelskoj mreži Splita. Nakon pripremnih niskonaponskih mjerenja izazvani su jednopolni kratki spojevi u vodnom polju 110 kV, i to krutom vezom jedne faze sa zemljom i ukapčanjem na kratki spoj. Promjenom konfiguracije mreže postigle su se dvije bitno različite struje kratkog spoja, što je dalo mogućnost analize ovisnosti relativnih potencijala, kao i otpora uzemljenja o veličini struje kvara.

Izvedeno je 10 pokusa kratkog spoja čiji su rezultati prikazani na oscilogramima i preglednim dijagramima. Pokazalo se da mjerenja sa strujama iz kućnog transformatora daju pogrešnu sliku i o raspodjeli potencijala i o vrijednosti otpora uzemljenja. Realne vrijednosti se mogu dobiti tek kod struja većih od 1 000 A.

Naponi dodira i koraka u okolini TS Sučidar i u kabelskoj mreži Splita su unutar dozvoljenih granica. Na temelju toga su donesene smjernice za izvedbu uzemljivača u TS Split 3, kao i za izbor vrste kabela.

Opseg: 31 strana, 17 slika, 8 tablica.

Mreža SR Hrvatske za daljnju perspektivu u 1982, 1984. i 1985. god. II dio: 1984/1985. god.

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Autori: Boris Markovčić, dipl. ing.
mr Zdenko Tonković, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1976. god.

Glavni je cilj studije bio da se ispita utjecaj lokacije druge nuklearne elektrane (Hrvatske) na mrežu. Razmatrane su dvije lokacije: Vir u Dalmaciji i Prevlaka, jugoistočno od Zagreba.

Na bazi elektroenergetskih podloga koje su razrađene za karakteristične mjesece za područje Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine, za prilike u 1984/1985. god., razrađena je mreža 220 kV i 380 kV. Osnovna 380 kV mreža uzeta je u skladu s postojećim planovima razvoja u jugoslavenskim okvirima. Za obje varijante lokacije NE analizirana je mreža u normalnom stanju i u stanju kvara pod jednakim kriterijima. Osim toga razmotrena je sigurnost napajanja zagrebačkog područja i općenito zapada Jugoslavije i sigurnosti napajanja Dalmacije. Ispitana je zatim potreba nekih vodova 380 kV izvan opsega osnovne 380 kV mreže, i to naročito onih koji povezuju centar zemlje sa zapadom i Dalmaciju sa zaleđem.

Studija je pokazala da je oko 1985. god. jugoslavenska mreža 380 kV već toliko jaka da alternative lokacije druge NE praktički nemaju utjecaja na mrežu. Tome treba dodati da se do tog zaključka došlo ne uzimajući u obzir predviđene veze s inozemstvom (veza s UCPTE).

Opseg rada: 69 strana, 44 slike. Rad prate i protokoli s računskog stroja.

Mjerenje iznošenja potencijala iz TS 110/20 kV Velika Gorica kod jednopolnih kratkih spojeva u 110 kV mreži, te prijedlog mjera za zaštitu od previsokih potencijala

Naručitelj: »Elektra« Zagreb
Autori: Ante Sekso, dipl. ing.
Ivo Hrs, dipl. ing.
Miroslav Jung, dipl. ing.
Dragutin Markovinović, dipl. ing.
doc. Ivan Plačko, dipl. ing.
mr Mladen Begović, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1976. god.

Studija je imala zadatak da odgovori na pitanja kolika je opasnost od iznošenja potencijala plaštevima kabela iz TS 110/20 (10) kV Velika Gorica i da dade općenite smjernice za rješenje ovog problema. U tu svrhu provedena su mjerenja potencijala na različitim mjestima u okolici TS Velika Gorica i u kabelskoj mreži istoimenog mjesta. Prethodno su izvršena opsežna pripremna mjerenja: određivanje razdiobe potencijala kod struje kratkog spoja napajane iz kućnog transformatora, mjerenje otpora uzemljenja, specifičnog otpora tla itd.

Nakon toga se pristupilo grupi pokusa sa stvarnim strujama kratkog spoja izazvanih uklapanjem voda 110 kV s krutom vezom jedne faze sa zemljom u TS Velika Gorica. Učinjeno je ukupno 10 pokusa pri čemu se u nekim pokusima vršilo odvajanje plašteva odlazećih kabela i zaštitnih užeta na vodovima napona 110 kV. Tom posljednjom mjerom dobilo se znatno povećanje struje kroz uzemljivač i time znatan porast potencijala. Paralelno s razdiobom potencijala mjerila se pri ovim pokusima razdioba struje kratkog spoja i otpor uzemljenja transformatorske stanice. Na osnovi dobivenih oscilograma dana je procjena opasnosti od iznesenih potencijala iz TS Velika Gorica u sadašnjem i budućem stanju mreže. Procijenjene su opasnosti koje se mogu javiti kod rada na odlazećim kabelima 20 kV i analiziran utjecaj veličine struje kratkog spoja na karakteristike uzemljivačkog sistema. Na kraju su dane opće smjernice za suzbijanje iznošenja potencijala plaštevima kabela i za zaštitu od opasnih napona.

U posljednjem poglavlju obrađen je utjecaj iznošenja potencijala u telekomunikacijski kabel i predložene mjere zaštite. Kao osnova su poslužila mjerenja na telekomunikacijskom kabelu u blizini TS Velika Gorica.

Opseg: 47 strana, 23 slike, 8 tablica.

Proračun električnih parametara nadzemnih vodova pomoću elektroničkog digitalnog računala

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb
Autor: Davor Nevečerel, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1976. god.

Dva osnovna zahtjeva: povećanje brzine proračuna i povećanje točnosti rezultata inicirala su izradu odgovarajućeg programa za elektroničko digitalno računalo. Proračun je izražen u matričnoj formi i polazi od točnih matematičkih izraza za uzdužne i poprečne konstante. Posebno je razmatran utjecaj okolice na točnost rezultata s utvrđenom opravdanošću pojedinih približenja i zanemarenja.

Program je dovoljno općenit da vrijedi za jednostruke i dvostruke vodove s jednim ili više vodiča u snopu. Protokol izlaznih rezultata obuhvaća ispise kompleksnih matrica impedancija i susceptancija, zatim njihove ekvivalentne fazne matrice i matrice simetričnih komponenata. U nastavku slijede ispisi parametara nezavisnih, odnosno zavisnih od dužine voda, posebno za direktni i nulti sistem.

U drugom dijelu je dan primjer konkretnog proračuna parametara za vodove 380 LV Ernestinovo — Zagreb i Konjsko — Melina.

Opseg: 91 strana, 13 slika, protokol računskog stroja.

STUDIJ RAZDJELNIH I NISKONAPONSKIH MREŽA

Idejno rješenje električne mreže grada Skopja I dio — 1. knjiga: Analiza postojećeg stanja električne mreže

Naručitelj: »Elektromakedonija« OOZT Skopje
Autori: Ivan Janić, dipl. ing.
Ernest Mihalek, dipl. ing.
Damir Balantin, dipl. ing.
Mara Gaura, dipl. tehn.
Ivan Posavec, dipl. tehn.
Završeno u prosincu 1976. god.

Prema zadatku u ovoj je studiji trebalo obraditi pregled postojećih elektroenergetskih objekata te analizu energetske sposobnosti i propusne moći postojeće mrže, kao i utvrđivanje njezine eventualne rezerve i mogućnosti za preuzimanje daljnjeg porasta opterećenja.

U prvom dijelu ove analize daje se pregled općih pokazatelja stanja mreže.

Današnja energetska mreža Skopja obuhvaća postrojenja na naponskim nivoima 220 kV, 110 kV, 35 kV, 10(6) kV i 0,4 kV. U ovu obradu ušla je samo srednjonaponska mreža 35 kV i 10(6) kV i »prsten« 110 kV bez niskonaponske mreže 0,4 kV.

Pojni čvorovi današnje mreže jesu

TS 220/110/35 kV SKOPJE I

TS 110/35 kV ZAPAD (SKOPJE III)

HEC MATKA (na 35 kV).

Na sabirnicama 35 kV distributivna mreža raspolaže instaliranom snagom (transformatora i generatora) od 168,25 MVA, dok je mogućnost konačne izgradnje u postojećim stanicama 110/35 kV ukupno 268,25 MVA.

Mreža 110 kV je izvedena sva s nadzemnim vodovima (alče 240 mm²) i čini jednostruki pojni »prsten« oko grada u ukupnoj duljini 53,6 km.

U mreži 35 kV ima 17 distributivnih ili industrijskih postrojenja u koja ulaze i dvije rasklopne stanice 35 kV. Instalirana snaga transformatora 35²10(6) kV iznosi ukupno 175,45 MVA s projektiranom mogućnošću konačne izgradnje od 212 MVA.

Duljina vodova 35 kV iznosi ukupno 122,15 km, od čega je kabelskih vodova 26% (kabeli IPZO 13 3 × 150 mm²) ili blizu 30 km.

Kod nadzemnih vodova 35 kV zastupljeni su vodiči od bakra i od alučelika presjeka 35, 50, 70 i 95 mm². Važno je napomenuti da do sada u toj mreži ima već oko 46% fizičkih dotrajalih vodova (oko 42,5 km) 10(6) kV mreža raspodijeljena je u 77 izvoda iz TS 35/10 kV 10 kV i 4 izvoda iz TS 35/6 kV 6 kV (od toga je 21 stanica TS 6/0,4 kV).

Ukupna duljina vodova 10 i 6 kV iznosi oko 621 km, od čega na uži dio grada otpada 49%, dok je pod naponom 6 kV oko 8% ove duljine.

Nadzemni vodovi 6 i 10 kV imaju bakrene i alučelične vodiče, ali su ovi posljednji noviji. Vodovi s bakrenim vodičima 16 mm² su uglavnom sasvim fizički dotrajali (20% od svih nadzemnih vodova). Najveći postotak čine vodovi s vodičima alče 3 × 25 mm² (gotovo 70% ukupne duljine ovih vodova).

Kabelski vodovi 10 kV nalaze se svi na užem području grada i čine 40% ukupne duljine svih vodova ili 83% duljine vodova (oko 65%). To su kabeli tipa IPO 13 presjeka vodiča uglavnom 70 mm², a zatim i tipa IPO 13-A s presjekom vodiča uglavnom 150 mm².

U drugom dijelu ovog rada analizirane su energetske sposobnosti i propusne moći postojeće mreže. Analiza stanja u mreži izvršena je pomoću programa za proračun tokova snaga i padova napona »LOAD FLOW« na elektroničkom računalu ICL 1901 S. Kao ulazni podaci služili su rezultati mjerenja koja je izvršio naručilac, i to:

— opterećenje TS 10(6)/0,4 kV mjerenja u vrijeme maksimalnih godišnjih opterećenja

— opterećenja i višegodišnji dijagrami opterećenja za TS 35/10(6) kV

—opterećenja izvoda 10(6) kV iz TS 35/10(6) kV

— opterećenja vodova 35 kV

— opterećenja vodova 110 kV.

Vodovi 110 kV opterećeni su najviše do oko 36% svoje termički dozvoljene opteretivosti. Veličina rezerve u ovoj

mreži vidi se najbolje iz podataka da je današnje vršno opterećenje distribucije oko 130 MVA, a transformatorske stanice 110/35 kV mogu se opteretiti istovremeno i bez rezerve sa (+ HEC Matka) 168,25 MVA.

Mogućnost prijenosa iz pojnih točaka putem mreže 35 kV iznosi (do term. granice opterećenja) 164 MVA, dok je istodobno mogućnost u transformaciji 35/10(6) kV 171,5 MVA.

Izvodi mreže 10 kV spojeni su uglavnom poluzamkasto, ali rade u radijalnom pogonu. Prosječna opterećenost ovih izvoda iznosi najmanje od 40% termički dozvoljene opteretivosti. S obzirom na padove napona postoje također stanoviti problemi u nadzemnoj mreži zbog velikih duljina vodova. Proračunom je također pokazano da ovaj problem u mreži 6 kV otpada s povišenjem napona na 10 kV.

Analiza je nadalje pokazala da su vodovi 35 kV i stanice 35/10(6) kV »usko grlo« za porast opterećenja jer već danas ova mreža radi na termički dozvoljenoj granici opterećenja. Čak i to je jedva postignuto zahvaljujući samo radijalnom pogonu vodova i asinhronom pogonu pojedinih stanica 35/10(6) kV (dvostruke sabirnice 35 kV) jer bi inače rad mreže bio nemoguć. Proračunom napajanja u izvanrednom pogonu (ispadi) opet je jasno pokazano da svaki ispad u toj mreži dovodi do prekida napajanja jednog dijela potrošača ili industrije. Posebno kritični dio ove mreže jesu svi izvodi 35 kV iz stanice TS 110/35 kV Skopje I. Instaliranje novih transformatora bez korjenitih zahvata samo bi ubuduće još više otežalo situaciju.

S obzirom na dosadašnji prosječni porast opterećenja od 12,5% godišnje i opterećenje mreža 10 i 110 kV vidi se da će i tu do 1980. god. biti dostignuta granica koju zbog oblika mreže ili ekonomičnosti pogona ne bi trebalo prekoračivati.

Uza sve to treba spomenuti i pitanje faktora snage ($\cos \varphi$) koji u mreži 10 kV iznosi svega 0,7 a u mreži 35 kV oko 0,8. Kompenzacijom jalovih snaga dobila bi se još jedna mogućnost povećavanja propusnih moći postojeće mreže.

Generalno uzevši, postoji nesklad u veličini kapaciteta i propusnih moći pojedinih elemenata mreže na raznim naponskim nivoima.

S obzirom na ukazanu nužnost izgradnje velikih novih kapaciteta evidentno je uvođenje tzv. direktne transformacije 110/x kV s postepenim likvidiranjem napona 35 kV iz mreže grada Skopja.

Opseg: 57 strana, 140 tablica, 62 slike.

Analiza opravdanosti, izbor optimalnih postrojenja i opravdanje etapne izgradnje za distributivne transformatorske stanice TS 110/X Kozle, TS 110/35/X Gazibaba i TS 110/X kV Aerodrom u gradu Skopju
I dio

Naručitelj: Elektromakedonija Skopje — OOZT Elektroskopje, Skopje

Autori: Ivan Janić, dipl. ing.
Josip Moser, dipl. ing.
Ernest Mihalek, dipl. ing.
Damir Balantin, dipl. ing.
Mara Gaura, dipl. tehn.

Završeno u ožujku 1976. god.

U toku izrade Idejnog rješenja električne mreže grada Skopja pokazalo se da je nužno u prijelaznom razdoblju između 1975. i 1980. god. izgraditi neke elektroenergetske objekte koji će se kasnije uklopiti u koncepciju optimalne mreže. To su TS 110/X Kozle i Aerodrom i TS 110/35/X Gazibaba. Za ove stanice izvršena je analiza potrebe izgradnje i izbor optimalnih parametara. Zbog toga je izvršen izbor nazivnih veličina, napona kratkog spoja i opsega regulacije transformatora za svaku etapu izgradnje (do 1980. god. po godinama, a zatim do 2000. god. za svaku petu godinu).

Izvršeno je optimiranje investicionih troškova i troškova gubitaka za period 1973—2000. god. za visokonaponsku mrežu Skopja za veličine TS 110 kV nazivne snage transformatora od 2×20 MVA do 4×63 MVA, za veličine TS 10(20/0,4 kV s nazivnom snagom transformatora 400, 500, 630, 800 i 1000 kVA te za presjeke kabela 10, odnosno 20 kV od 150, 185 i 240 mm² Al u tri izvedbe izolacije, i to od papira, termoplastičnom i izolacijom od umreženog polietilena. Svi ti parametri su određeni zato da se omogući izbor glavnih parametara za izradu projektnog zadatka za izgradnju ovih stanica. Uz to su dana obrazloženja izbora lokacije svake od stanica, kao i osnovne sheme, i to posebno za etapnu izgradnju 1980. god. a posebno za konačnu izgradnju stanice 2000. god. S obzirom na opću koncepciju dugoročne izgradnje 110 kV mreže grada Skopja dan je i prijedlog izvedbe navedenih stanica.

Također je dana prognoza potrošnje električne energije i vršnog opterećenja danih transformatorskih stanica za etapu 1980. i etapu 2000. god.

U izboru optimalnih parametara uspoređeno je 810 varijanti mreža za čitavo područje grada u 2000. god., a kao najpovoljnija je proizašla varijanta 110/20 kV s ovim parametrima:

— TS 110/20 kV 4×63 MVA
— kabeli 20 kV EP-48 presjeka 150 mm²
— TS 20/0,4 kV 1000 kVA.

Troškovi ove varijante oko 3% su manji od najmanjih troškova u varijanti 110/10 kV.

Opseg: 40 strana, 15 strana računske dokumentacije, 25 tablica, 10 slika.

Analiza opravdanosti izgradnje, izbor optimalnih parametara i opravdanje etapne izgradnje te investicioni program za distributivne transformatorske stanice TS 110/20 kV Kozle, TS 110/35(20)10 kV Gazibaba i TS 110/20 kV Aerodrom u gradu Skopju
Tehničko rješenje izgradnje električnog i građevinskog dijela postrojenja s ekonomskom analizom — II dio

Naručitelj: Elektromakedonija OOZT Skopje

Autori: Antun Trstenjak, dipl. ing.
Davor Pavlović, dipl. ing.
Vjekoslav Šoštarić, tehn.
Zvonko Đukić, arh.
Ivan Ladišić, arh.

Završeno u ožujku 1976. god.

U elaboratu je dana analiza jednopolnih shema i analiza izbora i opis rasklopnih postrojenja 110 kV, 35 kV, 20 kV i 10 kV TS 110/20 kV Kozle, TS 110/35(20) 10 kV Gazibaba, TS 110/20 kV Aerodrom u Skopju. Dan je prikaz rješenja uređaja za upravljanje, zaštite i informatike, uređaja za dobavu i razvod istosmjernog napona, te uređaja mrežne tonske komande.

Opisana je instalacija rasvjete te uzemljenje i gromobranska zaštita.

Također je dano i rješenje protupožarne zaštite. Na kraju je dan opis opreme s troškovnikom.

Opseg: 222 strane, 30 slika.

Osnovno rješenje gradske električne mreže Velike Gorice

Naručitelj: »Elektra« Zagreb

Autori: Vladimir Hartl, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1976. god.

Ovom je studijom zahvaćeno područje Velike Gorice s dijelovima Centar, Kurilovac, Pleso i Rakarje.

Planovima razvoja ovog područja predviđa se vrlo intenzivna stambena izgradnja i vrlo intenzivan prirast broja stanovnika s obzirom na planirani vrlo snažan ekonomski razvoj okolnog područja i vrlo dobre prometne veze s industrijskim područjem grada Zagreba.

Napajanje područja razrade vršilo bi se iz 110 kV sistema preko TS 110/20 kV Velika Gorica, a djelomično do potpunog prijelaza priključaka na postojeću stanicu 35/10 kV Gradići. Planirano je da se potpuni prijelaz sa sadašnjeg razdjelnog napona 10 kV na napon 20 kV izvrši do 1980. god. Tada će biti napajanje iz TS 35/10 kV Gradići nepotrebno i ta će stanica do tog vremena biti likvidirana.

Buduće elektroenergetske potrebe u razrađivanom području procijenjene su u prvoj etapi (1980) sa 16,4 MW vršnog opterećenja i 60 GWh potrošnje električne energije, odnosno sa 39 MW vršnog opterećenja i 152,8 GWh potrošnje sa 2000. god.

Već od 1973. god. srednjonaponska mreža razvija se kabelima i vodovima za napon 20 kV, iako čitav sistem radi s naponom od 10 kV. Na području razrade ovom studijom predviđena je isključiva upotreba podzemne kabelske mreže kabelima EHP 48 — A 3 ($1 \times 150/16$).

Transformatorske stanice 20/0,4 kV predviđene su za razdoblje do 1980. god. u izvedbi prefabriciranih betonskih ili kombinacije betonskih i poliesterskih elemenata. Za kasniji

period predviđena je upotreba ovakvih stanica samo u području visokogradnji, dok je u području individualne izgradnje predviđena upotreba poliesterskih mini-stanica. Sve planirane transformatorske stanice su za konačnu instaliranu snagu transformatora od 630 kVA. Stvarno instalirana snaga transformatora u pojedinim etapama razvoja ovisit će o toku porasta opterećenja.

Opseg: 36 strana, 22 tablice, 28 slika.

Uklapanje novih generatora u EL-TO Zagorska na električnu mrežu

Naručitelj: Elektrana — Toplana, Zagreb, Zagorska 1
Autori: Rihard Schenner, dipl. ing.
Završeno u prosincu 1976. god.

Zbog povećanja instalirane snage generatora u EL-TO, morao se analizirati priključak tih generatora na električnu mrežu.

U konačnoj izgradnji predviđa se priključak svih generatora na mrežu 110 kV. Međutim, u prvoj etapi priključak generatora od 30 MW bit će na mrežu 30 kV. Ostali generatori u daljnjim etapama priključit će se na mrežu 110 kV. Priključak generatora od 30 MW na 110 kV mrežu uslijedit će nakon odumiranja mreže 30 kV. Razlozi ovakvog priključka prvog generatora su vrlo teška trasa za kabelski vod 110 kV do 1980. god., jer je trasa vezana za izgradnju jedne prometnice i potreba snage za napajanje mreže 30 kV.

Opseg: 27 strana, 10 slika.

Idejno rješenje distribucije električne mreže za napajanje naselja Vrbani, Gajevo-Staglišće, Jarun

Naručitelj: Urbanistički zavod grada Zagreba
Autori: Ivan Janić, dipl. ing.
Rudolf Šimunec, dipl. tehn.
Završeno u studenom 1976. god.

Naselje Vrbani, Gajevo — Staglišće, Jarun napaja se sada električnom energijom iz 6 transformatorskih stanica 10/0,4 kV koje su jednim kabelskim vodom 10 kV vezane na TS 110/30/10 kV Jarun.

Izgradnjom naselja i pratećih sadržaja te porastom potreba za električnom energijom, čije bi elektroenergetske potrebe dosegle 28 MW, u perspektivi će biti potrebno ukupno 78 transformatorski stanica 10/0,4 kV. Za njihovo napajanje bit će potrebno 12 kabelskih izvoda 3×185 mm² Al iz pojnih točaka. Kako je broj vodnih polja 10 kV u TS 110/30/10 kV Jarun samo 5, ona će napajati samo jedan dio naselja. Drugi dio naselja napajat će se sa 7 kabelskih izvoda iz nove TS 110/10 kV »Zapad«.

Opseg: 11 strana, 4 tablice, 3 slike.

Idejno rješenje distributivne električne mreže za napajanje naselja Južna Dubrava — Poljanice

Naručitelj: Urbanistički zavod grada Zagreba
Autori: Ivan Janić, dipl. ing.
Ivan Vlahović, dipl. tehn.
Završeno u studenom 1976. god.

Naselja Južna Dubrava i Poljanice locirana su na području zagrebačke općine Dubrava.

Pojna točka postojeće električne mreže jest transformatorska stanica 30/10 kV Uklopna XIV koja se napaja električnom energijom preko dva kabela 30 kV iz TS 110/30 kV Resnik.

Elektroenergetske potrebe obrađivanog područja, prema rezultatima ove studije, dosegla bi na razini pojne točke područja oko 33,7 MW, što prelazi mogućnosti postojeće pojne točke TS 30/10 kV Uklopna XIV. Time se nameće potreba izgradnje već predviđene nove TS 110/30/10 kV Dubrava, na lokaciji sjeverno od naselja Poljanice.

Na promatranom području predviđa se ukupno 90 transformatorskih stanica 10/0,4 kV. Iz TS 30/10 kV Uklopna XIV predviđeno je 10 kabelskih izvoda 3×185 mm² Al, a iz nove TS 110/30/10 kV Dubrava 5.

Opseg: 12 strana, 6 tablica, 5 slika.

Kompenzacija jalovih snaga u distributivnoj mreži na području TS 110/35 kV Sisak-Pračno
I dio — **Osnovni energetski i ekonomski pokazatelji opravdanosti kompenzacije**

Naručitelj: »Elektra« — Sisak
Autori: Nikola Vagić, dipl .ing.
Nikola Lastrić, dipl. ing.
mr Petar Bodlović, dipl. ing.
Ivica Vlahović, dipl. tehn.
Završeno u siječnju 1976. god.

Obrada podataka je obuhvatila pokazatelje o srednjim satnim radnim i jalovim snagama te naponima trećim srijedama u mjesecima, te kvartalno i nedjeljama iza trećih srijeda u mjesecu za razdoblje od listopada 1973. do rujna 1974. god. a kao financijski pokazatelji su uzete u obzir cijene energije i snage, te ulaganja u kompenzatorska postrojenja, što je detaljno izneseno u priloženim podlogama i danim analitičkim osvrtima.

Upotrijebljene bi se kondezatorske baterije prema toj analitičko-statističkoj procjeni mogle isplatiti u roku od 45 mjeseci ako provode kompenzaciju osnovnih jalovih snaga u I etapi 3,0 MVAr (u konačnici 4,8 MVAr), a da se ne uzmu u obzir i ostali poželjni sekundarni efekti ovakve kompenzacije.

Opseg: 36 strana, 12 tablica, 30 dijagrama.

Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži na području TS 110/35 kV Rijeka-Katarina
I dio — **Osnovni energetski i ekonomski pokazatelji opravdanosti kompenzacije**

Naručitelj: »Elektroprimorje« — Rijeka
Autori: Nikola Vagić, dipl. ing.
Milan Muždalo, dipl. ing.
mr Petar Bodlović, dipl. ing.
Ivan Vlahović, dipl. tehn.
Završeno u veljači 1976. god.

Osnovni energetski pokazatelji konzuma i opravdanosti kompenzacije dobiveni su statističkom razradom satnih protoka radnih i jalovih energija i trenutnih naponskih stanja registriranih punim satom trećom srijedom u mjesecu, te kvartalno još i nedjeljama iza treće srijede u mjesecu u razdoblju od listopada 1973. do rujna 1974. god., dok su odogovrajući ekonomski pokazatelji kalkulirani na temelju podataka o energiji preuzetoj u ovoj stanici za vrijeme 1974. god., dobavnih uvjeta koji su na snazi, tarifi za preuzetu energiju i na temelju ponuda za izvođenje kompenzatorskih postrojenja.

Iz priloženih podloga i danih analitičkih osvrta proizlazi da bi trebalo provesti kompenzaciju dijela osnovnih jalovih snaga s kondenzatorskim baterijama ukupne snage 1,8 MVAr (u konačnici 4,0 MVAr), pa bi se tako na račun ušteda u troškovima za prekomjerno preuzetu jalovu energiju isplatila ulaganja u kompenzaciju već za 26 mjeseci, ne uzimajući u obzir i ostale efekte.

Opseg: 24 strane, 7 tablica, 30 dijagrama.

Primjena sistema elektroničkog računala ICL 1900S — ERC Dalekovod Zagreb, te programskog jezika fortran za tabelarno i grafičko prikazivanje mogućih prijenosa opterećenja po električnim vodovima

Autori: Ivan Čauš, dipl. el. ing. i oec.
Mirjana Rimac, dipl. el. ing.
Slavko Marić, dipl. el. ing.
Završeno u ožujku 1976. god.

Prikazani sistem programa za prikazivanje mogućih prijenosa opterećenja po električnim vodovima omogućava tablični i grafički izlaz traženih rezultata tako da se dobiju tablice A, B i C ovisno o izabranom težištu opterećenja voda uz crtanje odgovarajućih krivulja prijenosa na graph-plotteru sređeno u tri dijagrama s parametrom presjeka voda.

U pogledu kapaciteta obrade može se u jednom ciklusu provesti proračun dijagrama mogućeg prijenosa snage električnim vodovima za 15 standardiziranih presjeka voda, 15 naponskih nivoa, 15 različitih padova napona uz 4 različita intervala udaljenosti i za 2 temperature okoline. Time još uvijek nisu u potpunosti iscrpljene sve mogućnosti i kapaciteti izabranog elektroničkog računala.

Opseg: 8 stranica, 7 slika, 27 priloga s elektroničkog računala.

Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži na području TS 110/30 kV Matulji
I dio — Osnovni energetski i ekonomski pokazatelji opravdanosti kompenzacije

Naručitelj: »Elektroprimorje« — Rijeka
Autori: Nikola Vagić, dipl. ing.
Milan Muždalo, dipl. ing.
mr Petar Bodlović, dipl. ing.
Ivan Vlahović, dipl. tehn.
Završeno u svibnju 1976. god.

Promatrano je razdoblje od listopada 1973. do rujna 1974. god. u pogledu snaga i napona trećom srijedom u mjesecu te nedjeljom iza treće srijede kvartalno kao energetskih podataka, dok su ekonomski pokazatelji kalkulirani na osnovi podataka o preuzetoj energiji, dobavnim uvjetima, tarifnim stavovima i ponuda za izvođenje kompenzatorskih postrojenja.

Na temelju priloženih podloga i danih analitičkih osvrta zaključeno je da bi ugrađene kondenzatorske baterije kompenzirale tek dio osnovnih jalovih snaga do 0,8 MVAr (u konačnici 2,4 MVAr), pa bi se to postrojenje samo na račun ušteda u troškovima za prekomjerno preuzetu jalovu energiju isplatilo već nakon 26 mjeseci.

Opseg: 23 stranice, 38 tablica, 30 dijagrama.

Dopuna programskom sistemu za obradu elektroenergetskih podataka na elektroničkom računalu ICL 1900 i konstrukcija sheme obrade podataka mjerenja provedenih u mreži 35 kV i 10 kV na području TS 110/35 kV Pehlin

Naručitelj: »Institut za elektroprivredu« — Zagreb
Autori: mr Petar Bodlović, dipl. ing.
Završeno u svibnju 1976. god.

Ovaj programski sistem za obradu na elektroničkom računalu ICL 1900 koncipiran je tako da je vrlo općenit što se tiče organizacije obrade i prikaza izlaznih rezultata. Sadrži posebne programe pomoću kojih se unosi konstrukcija sheme obrade, a ta je opet hijerarhijska kao što je to bio slučaj i kod ranijeg sistema.

Ipak za razliku od ranije razvijenog programskog sistema za elektroničko računalo IBM 1130, koje je imalo manje mogućnosti zbog uskog graph-plottera, sada je zbog znatno šireg graph-plottera kod ICL 1900 lako protegnuti iz serijskog rasporeda još i u drugu dimenziju željene dijagramske prikaze podataka i rezultata. To otvara korisniku niz novih kombinatornih mogućnosti pri ilustraciji rješenja.

Konkretne mogućnosti ovog dopunjenog programskog sistema prikazane su na ilustrativnom primjeru obrade podataka mjerenja provedenih u mreži 35 kV i 10 kV na području TS 110/35 kV Pehlin.

Opseg: 18 stranica, 53 priloga s elektroničkog računala.

Kompenzacija jalovih snaga u distributivnoj mreži na području TS 110/35/6 kV Sisak-Rafinerija
I dio: Osnovni energetski i ekonomski pokazatelji opravdanosti kompenzacije

Naručitelj: »Elektra« — Sisak
Autori: Nikola Vagić, dipl. ing.
Nikola Lastrić, dipl. ing.
mr Petar Bodlović, dipl. ing.
Krešimir Mehičić, dipl. tehn.
Završeno u kolovozu 1976. god.

Za ovu studiju opravdanosti kompenzacije uzeti su u obzir podaci o radnim i jalovim snagama te naponima dobiveni direktnim mjerenjem u razdoblju od 24. XII 1975. do 8. I. 1976. god. kao energetski pokazatelji, dok su oni ekonomski kalkulirani na osnovi podataka o preuzetoj energiji, dobavnim uvjetima, tarifnim stavovima i ponudama za kompenzatorska postrojenja.

U priloženim podlogama i analitičkim osvrtima izneseni su pokazatelji provedene razrade, prema čemu bi se ulaganja u I etapu kompenzacije sa snagom kondenzatorskih baterija od ukupno 5,4 MVAr isplatila na račun ušteda od manje prekomjerno preuzete energije u roku od 51 mjeseca, ako se ne uzmu u obzir i sekundarni utjecaji kompenziranja kao što je povećanje kapaciteta postrojenja i svi efekti uvjetovani kvalitetnijom isporukom električne energije.

Opseg: 34 strane, 26 tablica, 15 dijagrama.

STUDIJE I PROJEKTI KLIMATIZACIJE I TERMOUREĐAJA

Studija o optimalnom rješenju klimatizacije i ventilacije HE Zakučac 2

Naručitelj: »Termofriz« — Split
Investitor: »Elektrodalmacija« Split
Autor: Ratko Pećarić, dipl. ing.
Završeno u srpnju 1976. god.

Ugradnjom dviju jedinica konačne faze nametnuo se je problem povećanja učina klimatizacije i ventilacije. Hlađenje zraka vrši se rashladnom vodom, a dohlađivanje za klimatizirane prostorije hladnom vodom. Dohlađivanje zraka u kabelskom rovu provodi se aerosolnim raspršavanjem vode s pneumatskim sapnicama, što je znatno povoljnije od rješenja s lokalnim hladionicama.

Opseg: 30 strana, 1 slika, 6 crteža.

Studija o optimalnom rješenju klimatizacije i ventilacije ATC Dugo Selo

Naručitelj: P. B. »Delnice«
Investitor: PTT — Zagreb
Autor: Ratko Pećarić, dipl. ing.
Završeno u veljači 1976. god.

Klimatizacija je provedena s kišnim humatom bez primjene rashladnog uređaja.

Obrađen je problem prirodne ventilacije plinske kotlovnice.

Opseg: 20 strana, 2 slike, 3 crteža.

Studija o optimalnom rješenju aerotermo uređaja u tvornici »M. Badel — Vinoprodukt« Zagreb

Naručitelj: P. B. Zagreb
Investitor: »M. Badel — Vinoprodukt« Zagreb
Autori: Ratko Pećarić, dipl. ing.
Završeno u kolovozu 1976. god.

Primijenjena je upotreba otpadne topline za grijanje prostorija i pripremu potrošne tople vode.

Razmatrane su mogućnosti povraćaja otpadne topline ventilacijskog zraka pomoću regenerativnih rotacijskih izmjenjivača topline.

Opseg: 40 strana, 2 slike, 5 crteža.

Studija o opimalnom rješenju prijelaza za UNP na zemni plin kotlovnice MIK Križevci

Naručitelj: MIK — Križevci
Investitor: MIK — Križevci
Autor: Ratko Pećarić, dipl. ing.
Završeno u travnju 1976. god.

Primjenom proračuna s Wobbeovim, izvršene su potrebne promjene na redukcijsko-mjernoj stanici i gorioniku.

Opseg: 45 strana, 1 slika, 5 crteža.

Popis glavnih projekata termo i aerotermo-uređaja i instalacija izrađenih u 1976. god.

1. Aerotermo-uređaji i instalacije ATC i POŠTE DUGO SELO
2. Aerotermo-uređaji i instalacije VINARIJE M. BADEL — VINOPRODUKT ZAGREB
3. Aerotermo-uređaji i instalacije u pristanišnoj zgradi AERODROMA ZAGREB
4. Aerotermo-instalacije upravne zgrade ŽTP KNIN.

STUDIJ TEMOENERGETSKIH SISTEMA

Razni radovi

Naručitelji: Razni
Autori: Kolektiv studijske jedinice

Na zahtjev elektroprivrednih i drugih organizacija vršena su u toku 1976. god. ispitivanja termoenergetske opreme.
Značajni su radovi na tom području:

- primopredajna ispitivanja termoenergetske opreme u TE Tuzla
- primopredajna ispitivanja termoenergetske opreme u TE Sisak II
- normativna ispitivanja termoenergetske opreme u TE Sisak II
- ispitivanja kotlova elektrofiltara u tvornici sulfatne celuloze i natron-papira »Natron«, Maglaj
- primopredajna ispitivanja plinske turbine u TE Jertovec
- primopredajna ispitivanja termoenergetske opreme u PTE Osijek
- na temelju rješenja Sekretarijata za zdravstvenu zaštitu grada Zagreba broj 07-524/2-74 od 10. VI 1974. god. izdanog na temelju člana 7. Odluke o mjerama za zaštitu zraka od zagađivanja produktima sagorijevanja obavljena je kontrola izgaranja u ložištima većim od 1 Gcal/h
- kontinuirano se vršila kontrola kvalitete strojarske opreme pri izgradnji NE Krško.

Osim navedenih radova u toku 1976. god. izvršeno je niz mjerenja manjeg opsega na parnim kotlovima radi provjere garantiranih vrijednosti ili radi poboljšanja ekonomije postrojenja.

Izvještaj o istraživanjima na prototipnom goraču

Naručitelj: TPK, Zagreb
Autori: mr Dubravko Matanić, dipl. ing.

Prototipni gorač rezultat je zajedničkog rada Instituta za elektroprivredu u Zagrebu i TPK, Zagreb.

Sve veći razvoj energetike donio je sa sobom i spaljivanje sve većih količina fosilnih goriva na termoenergetskim postrojenjima. Logično je da se kod tako naglog porasta korištenja fosilnih goriva, koji ujedno izazivaju i sve veće zagađivanje čovjekove okoline produktima izgaranja, postavljaju sve oštriji zahtjevi na uređaje za izgaranja, a koji upravo svojim konstruktivnim i tehnološkim karakteristikama mogu bitno pridonijeti smanjenju zagađenosti čovjekove okoline i boljem iskorištenju goriva.

S obzirom na veliki broj procesa, kemijskih i fizikalnih, koji se javljaju kod procesa izgaranja, potrebno je kod razvoja uređaja za loženje (gorača) ispitati utjecaj niza različitih faktora na proces i kvalitetu izgaranja.

U radu su dani rezultati istraživanja na kombiniranom plinsko-uljnom goraču što su ga zajednički razvili Institut i TPK za potrebe termoenergetskih postrojenja. Prikazan je tok istraživanja, rezultati istraživanja i analiza tumačenja rezultata.

Na kraju su dani zaključci o mogućim putovima daljnjeg poboljšanja ostvarene kvalitete izgaranja.

Metoda vrednovanja toplanskih jedinica u elektroenergetskom i toplinskom sistemu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
Autori: mr Duško Čorak, dipl. ing.
Završeno krajem 1976. god.

Mogućnost opskrbe toplinskog sistema osim jedinicama izravnog procesa i jedinicama spojnog procesa nameće za potrebu određivanje metode vrednovanja jedinica spojnog procesa u elektroenergetskom i toplinskom sistemu. Opravdanost uključivanja proizvodnih jedinica spojnog procesa u elektroenergetskom i toplinskom sistemu vrlo je značajna sa stajališta općih interesa društva.

U okviru ovog rada dan je postupak za traženje optimuma za zajedničku proizvodnju toplinske i električne energije. Također je određen postupak za utvrđivanje optimalne snage oduzimanja proizvodnih jedinica spojnog procesa pri čemu su uzeta u obzir tehnička rješenja za moguću supstituciju za proizvodnju električne i toplinske energije.

Rad u završnim poglavljima ilustrira numeričkim primjerima uklapanje proizvodnih jedinica spojnog procesa u toplinskom i elektroenergetskom sistemu.

Opseg: 165 strana, 58 slika i dijagrama te prilozi proračuna na računskom stroju.

Problematika stvaranja i emisija NO_x iz ložišta termoenergetskih postrojenja

Naručitelj: »Elektroprivreda« Zagreb
Autori: mr Dubravko Matanić, dipl. ing.
Završeno krajem 1976. god.

Upotreba sve većih količina fosilnih goriva izaziva i određene negativne efekte. S razvojem industrijalizacije negativni efekti postaju sve značajniji ograničavajući faktor. Dušični oksidi (NO, NO_2, N_2O_5), uobičajenog naziva NO_x, zagađivači su koji nastaju prilikom izgaranja krutih, tekućih i plinovitih goriva. Do sada se izučavanju stvaranja i emisije NO_x nije pridavalo tako veliko značenje. Međutim sa sve većim količinama spaljenog goriva i tom se problemu pristupa sve studioznije.

Ova studija na temelju stručne literature daje prikaz o procesima stvaranja NO_x, emisiji NO_x iz termoenergetskih postrojenja, o mjerama za smanjenje emisije NO_x te prikazuje strane propise o emisiji NO_x iz temoenergetskih postrojenja.

Opseg: 84 strane teksta i 60 slika i dijagrama.

Oblik toplog mlaza i eksperimentalno određivanje koeficijenta difuzije

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
Autori: Niko Malbaša, dipl. ing.
suradnici i konzultanti u eksperimentalnom dijelu:
osoblje S. J. VI.
Završeno krajem 1976. god.

Studija je vezana za probleme toplinskog opterećenja vodotoka pri radu termoelektrane u protočnom sistemu hlađenja. Specijalno se razmatra zona u neposrednoj blizini izljeva rashladne vode. Najprije je razrađen matematički model miješanja za različite uvjete, a zatim su u kombinaciji s obradom eksperimentalnih podataka izmjerenim u području termoelektrane Sisak određeni koeficijenti difuzije.

Na kraju je dana diskusija o primjenjivosti modela u različitim uvjetima.

Opseg: 139 strana teksta, slika i tabličnih prikaza.

Istraživanje sirovinske baze i aktualizacije podataka o količinama i cijenama krutog, tekućeg i plinovitog goriva za potrebe TE (I dio)

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
Autori: Hrvoje Brkić, dipl. ing.
Ivan Šimurina, ing.
Završeno krajem 1976. god.

S obzirom na sve veće značenje fosilnog goriva i sve nestabilniju svjetsku situaciju u vezi s opskrbom goriva, ovaj rad je doprinos jasnijem sagledavanju zaliha u nas, posebno za potrebe TE postrojenja.

Prvi dio studije daje pregled krutog, tekućeg i plinovitog goriva u pogledu proizvodnje i potrošnje te stanje zaliha. Dana je ocjena buduće proizvodnje i potrošnje fosilnih goriva i mogućnosti uvoza.

Opseg: 93 strane teksta i tabličnih prikaza.

Izvještaj o kontroli kvalitete strojarske opreme (rotacioni strojevi) za PTE Osijek

Naručitelj: »Elektroslavonija«, Osijek
Autori: osoblje Studijske jedinice za termoenergetske sisteme
Završeno sredinom 1976. god.

Prilikom izgradnje PTE Osijek kontrolirana je kvaltiteta isporučene opreme uz prikupljanje potrebne atestne doku-

POPIS ZNAČAJNIJIH RADOVA S. J. ZA TERMOENERGET-SKE SISTEME TOKOM 1976. GODINE

mentacije. Usluge investitorske kontrole vršene su u toku cijele izgradnje PTE, a rezime rada sažet je i u izvještaju koji je sastavni dio dokumentacije potrebne za izdavanje uporabne dozvole.

Opseg: oko 200 strana teksta i sredene atestne dokumentacije.

Razvoj toplifikacije Slavonskog Broda do 2000. god.

Naručitelj: »Elektroslavonija«, Osijek
Autori: mr Duško Čorak, dipl. ing.
Florijan Rigler, dipl. ing.
Hrvoje Brkić, dipl. ing.
Miroslav Juretić, dipl. ing.
Zlatko Komerički, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. oecc
Marijan Sarajlija, dipl. tehn.
Završeno u svibnju 1976. god.

Razvoj toplifikacije u urbanim sredinama složen je problem kojemu se u današnjim uvjetima mora studioznije prilaziti. Praksa stihijskog razvoja je neprihvatljiva zbog sve većih zahtjeva društva za racionalnijim trošenjem sredstava i sve većih zahtjeva za očuvanjem zdrave i čiste čovjekove okoline.

Metoda minimalnih troškova izgradnje i eksploatacije toplinskih izvora uz postizavanje maksimalnog komfora grijanja i minimalnog zagađivanja čovjekove okoline osnovne su značajke ovog studijskog rada. Varijantna rješenja uz navedene metode rada daju planerima dobar putokaz daljnjeg usmjeravanja opskrbe grada, toplinom.

Opseg: 197 strana; 51 slika i dijagram i prilozi proračuna na računskom stroju.

POPIS ZNAČAJNIJIH RADOVA S. J. ZA TERMO ENERGETSKE SISTEME TOKOM 1976. GODINE
LABORATORIJ ZA TOPLINSKA MJERENJA

Hidraulički proračun vrelovodne mreže grada Zagreba na elektroničnom računalu ICL-1901 S (II dio studije)

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb
OOUR Toplinske mreže
Autori: Miroslav Juretić, dipl. ing.
Zlatko Komerički, dipl. ing.
Završeno krajem 1976.

Logičan nastavak I dijela studije je uvođenje u proračun vrelovodne mreže ekonomskih pokazatelja koji čistim tehničkim rezultatima proračuna daju novu kvalitetu.

Metoda optimalizacije promjera vrelovodne mreže omogućuje sagledavanje varijanti rješenja budućih trasa uz minimalne ukupne troškove eksploatacije. Upotreba elektroničkog računala omogućava da se u vrlo kratkom vremenu upozna niz varijantnih rješenja i da se prilikom proračuna variraju utjecajni faktori.

Opseg: 18 strana teksta; 2 dijagrama i prilozi proračuna na elektroničkom računalu.

Izvještaj o sušenju statorskog namota faznog kompenzatora Mraclin

Naručitelj: »Elektroprenos«, Zagreb
Autori: Bubanović Zdravko, inž.
Hohnjec Emica, viši stručni tehničar
Završeno u ožujku 1976. god.

U izvještaju je opisana metoda difuznog sušenja namota faznog kompenzatora prvi put primijenjena bez upotrebe vakuuma. Gradijent parcijalnog tlaka vlage u namotu realiziran je preko gradijenta temperature izolacije statorskog namota iznutra prema van. Grijanje je obavljeno preko štapova statorskog namota, tako da je proračunata odgovarajuća struja i adaptiran odgovarajući izvor s pripadnom zaštitom. Temperature su kontrolirane jedanput preko otpornih termometara u namotu i drugi put preko otpora namota kao funkcije temperature. Metoda je omogućila izvršenje rada u četiri puta kraćem trajanju u odnosu na trajanje klasičnim načinom sušenja pomoću zagrijanog zraka.

Opseg: 10 strana, 3 tablice, 6 dijagrama.

Utjecaj parametara na kapacitet dimovodnih kanala kod etažnog dovođenja dimnih plinova

Naručitelj: »Vranica«, Sarajevo
Autori: dr Fedor Šprung, dipl. inž.
Matković Marko, inž.
Završeno u lipnju 1976. god .

U elaboratu su razmotreni parametri koji utječu na propusnu moć dimovodnih kanala s etažnim priključcima na matematičkom modelu kanala. Uvjeti, primijenjeni na matematički model, odnosili su se na promjenljivi tlak i relativnu vlažnost okolnog zraka, kao i na promjenljivu temperaturu uzevši u obzir najnepovoljnije vrste goriva u pogledu sastava i količine dimnih plinova. Krajnja svrha matematičkog modela bila je da se, uz dane pretpostavke korištenja goriva i peći i u očekivanom dijapazonu atmosferskih promjena, odredi maksimalni broj etaža koje se mogu priključiti na dimovodni kanal s etažnim dovođenjem.

Opseg: 14 strana, 7 tablica, 1 slika.

Ispitivanje utjecaja sastava dimnih plinova na elemente izmjene topline kotlova elektroprivrede

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb i SIZ I. za znanost
Autor: dr Fedor Šprung, dipl. inž.
Završeno u travnju 1976. god.

Elaborat je završni rad na studijskoj temi, koju su sufinancirali Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Republički savjet za naučni rad SRH. U studiji je obrađen način mjerenja i metode korištenja rezultata mjerenja utjecaja goriva različitih sastava na korozionu otpornost komponenti kotlova pri upotrebi tekućih goriva.

Opseg: 110 strana, 46 slika, 2 nacrta.

Termička obrada zavarenih spojeva

Naručitelji: razni
Autori: Bubanović Zdravko, inž.
Hohnjec Emica, viši stručni tehničar
Gojković Željko, tehničar
Završeno u 1976. god.

O termičkoj obradi zavarenih spojeva napisano je 25 izvještaja, koji se odnose na reperaturne zavare investicionih objekata od čeličnog lijeva, valjanih limova, te prešanih i kovanih objekata do 250 tona mase odjednom na pojedinom objektu.

Opseg: 88 strana, 40 slika, 122 dijagrama.

Akustičke osobine stambenih objekata

Naručitelji: razni
Autori: dr Fedor Šprung, dipl. inž.
Hohnjec Emica, viši stručni tehničar
Završeno u 1976. god.

Izvještaji sadrže tekstove i dijagrame s komentarima rezultata ispitivanja akustičnih svojstava stambenih objekata važnih u kontroli proizvodnje.

Opseg: 48 strana, 20 tablica, 20 slika.

Ispitivanja otpornosti protiv požara materijala i konstrukcija

Naručitelji: razni
Autori: Matković Marko, inž.
Sonns Kurt, viši stručni tehničar
Završeno u 1976. god.

Objavljena su i u izvještajima prikazana ispitivanja požarnih svojstava materijala, konstrukcija i objekata, u smislu ISO preporuka, te njemačkih i jugoslavenskih standarda. Obrađena svojstva su gorivost, prostiranje požara i otpornost konstrukcija u pogledu požara. Pretežno su ispitani dimnjaci kod kojih je dokazan značajni tehnički napredak u odnosu na ranije izvedbe.

Opseg: 55 strana, 9 slika, 20 dijagrama.

ZAVOD ZA VISOKI NAPON I JAKU STRUJU

Mjerenje uzemljenja TS 10/0,4 kV grada Zagreba, vezanih na TS 30/10 kV Uklopna XIV Dubrava

Naručitelj: »Elektra«, Zagreb
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.
Suradnici: Josip Mužny, dipl. ing.
Svetolik Subotić, ing.

Rad obuhvaća mjerenje otpora uzemljivača TS 10/0,4 kV s obzirom na to da se priprema uzemljenje zvjezdišta na mreži 10 kV u TS 30/10 kV Uklopna XIV Dubrava, preko malog otpora uz ograničenje struje zemljospoja 300 A i vrijeme iskapčanja 0,2 s. Budući da napon na uzemljivaču ne smije prijeći 125 V, rezultati mjerenja grupirani su u nekoliko skupina s obzirom na izvedbu mreže, kabelska, zračna ili kabelsko-zračno.

Opseg: 22 strane, 3 tablice i 4 slike.

Utjecaj na okolinu struje jednopolnog kratkog spoja prije puštanja u pogon II faze TE Sisak

Naručitelj: OOUR Termoelektrana Sisak
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.
Suradnici: Svetolik Subotić, ing.
Ivan Konfic, viši teh.

Rad obuhvaća mjerenje napona koraka i dodira za slučaj nastanka jednopolnog kratkog spoja, kao i preporuke za uklanjanje opasnih napona koraka i dodira, te raspodjelu potencijala oko uzemljivača i njegov utjecaj na okolinu.

Opseg: 31 strana i 3 slike.

Analiza ispitivanja opreme sovjetske proizvodnje za drugu fazu TE Sisak

Naručitelj: OOUR Termoelektrana Sisak
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.
Suradnici: Svetolik Subotić, ing.

Rad obuhvaća mjerenje izolacije i visokonaponska ispitivanja prije puštanja u pogon pojedinih dijelova postrojenja, kao i snimanje radnih karakteristika, i to asinhronih motora 6 kV, energetskih transformatora 6/0,4 kV, sabirnice 0,4 i 6 i 15,75 kV, provodnih izolatora, sklopke 6 kV, naponskih mjernih transformatora 6 i 15 kV, strujnih mjernih transformatora 0,4, 6 i 15,75 kV.

Opseg: 76 strana i 128 dijagrama (u 7 posebnih izvještaja).

Istraživanje raspodjele potencijala s armaturom duž izolatorskog lanca sa staklenim izolatorima KT-120 za DV 110 kV

Naručitelj: Dalekovod — Zagreb
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Rad obuhvaća mjerenje i ispitivanje raspodjele potencijala u lancu s ovjesnom opremom i armaturom proizvodnje Dalekovod — Zagreb i staklenim izolatorima KT-120 proizvodnje Aranđelovac za dalekovode 110 kV.

Opseg: 8 strana i 2 dijagrama.

Analiza ispitivanja primarnih releja WI_D-40 u TS 2, 3 i 4 Aerodroma Zagreb

Naručitelj: »Aerodrom«, Zagreb
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.
Suradnici: Đuro Juretić, viši teh.

Rad obuhvaća mjerenje i udešavanje primarnih releja za zaštitu u TS 2,3 i 4 Aerodroma Zagreb, kao i preporuke za sanaciju, odnosno poboljšanje zaštite s obzirom na selektivnost i ispravno djelovanje.

Opseg: 8 strana.

Raspodjela potencijala oko stupa br. 550 na DV 110 kV Vinodol — Rakitje

Naručitelj: »Dalekovod«, Zagreb
Autor: Josip Kučak, dipl. ing.

Rad obuhvaća mjerenje raspodjele potencijala oko stupa br. 550 na DV 110 kV Vinodol — Rakitje, koji se nalazi u krugu tvornice Pliva (Kalinovica).

Na temelju rezultata mjerenja za slučaj zemnog spoja dana je preporuka za sanaciju opasnog dodirnog napona i napona koraka uz sam stup.

Opseg: 10 strana i 7 slika.

Kabelski vod 20 kV »Partizanski dom« — »Vrh Velike Kape«

Naručitelj: »Elka«, Zagreb
Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

Za napajanje turističkih objekata na dijelu Pohorja iznad Slovenjgradeca koristi se kabelska mreža napona 20 kV, izvedena kabelima EHP-48-A, proizvodnje »Elka« Zagreb (tvornički naziv kabela: ELKALEN 20). Zbog djelovanja atmosferskih prenapona nastajali su česti prekidi u napajanju električnom energijom važnih turističkih objekata (hoteli, žičare i sl.).

Razrađen je sistem zaštite od atmosferskih prenapona za taj tip kabela. Ujedno je predložen novi tip kabela koji bi bez ikakvih dodatnih zaštitnih mjera zadovoljavao uvjete polaganja u planinskim predjelima izloženim čestim i snažnim atmosferskim pražnjenjima.

Opseg: 18 strana, 14 slika i dijagrama.

Mogućnost primjene opreme nazivnog napona 10 kV kod prijelaza na napon 20 kV

Naručitelj: »Elektra«, Sisak
Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

Rastom potrošnje električne energije pojavila se potreba uvođenja nazivnog napona 20 kV u distributivnim mrežama. Osim novih distributivnih mreža napona 20 kV, i pojedini dijelovi sada postojećih 10 kV mreža morat će se pregraditi za napon 20 kV. Kako bi se ubrzala pregradnja 10 kV mreža na nazivni napon 20 kV, a ujedno smanjila početna investiciona ulaganja, odgovarajućim naponskim ispitivanjima ustanovljeno je koji se dijelovi i aparati 10 kV mreža mogu bez ikakvih preinaka primijeniti i u 20 kV mrežama i postrojenjima trajno ili u jednom prijelaznom periodu.

Opseg: 40 strana.

Mjerenje putujućih valova u kabelima uzrokovanih parcijalnim izbijanjem u izolaciji

Naručitelj: Republički fond za znanstveni rad SRH
Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

Uobičajene metode mjerenja parcijalnih izbijanja određuju samo maksimalnu amplitudu izbijanja, a ne i mjesto (izvor) nedozvoljenih izbijanja. Naročito opasna izbijanja mogu se javljati u spojnom priboru (spojnice, glave). Očito je da uz indikacije opasne veličine parcijalnih izbijanja, mora postojati i njezine lokacije. Mogućnosti lokacije mjesta parcijalnih izbijanja u kabelu pružaju njima uzrokovani putujući valovi i njihove refleksije na krajevima kabela. Na taj način može se ukloniti dio neispravnog kabela.

Opseg: 37 strana i 20 slika.

Prenaponska zaštita zračno-kabelskog voda Rizvanuša — Panos

Naručitelji: razni
Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

Pojedini objekti na vrhovima planina imaju velike poteškoće u opskrbi električnom energijom. Naročito velik problem s obzirom na atmosferska pražnjenja javlja se u zračno-kabelskim mrežama. Rad daje rješenje prenaponske zaštite za situaciju koja se javlja u zračno-kabelskom vodu Rizvanuša — Panos.

Opseg: 25 stranica, 20 crteža.

Uređaj za ispitivanje usmjerene zaštite

Naručitelj: Institut za elektroprivredu, Zagreb
Autor: Josip Mužny, dipl. ing.

Razrađena je konstrukcija i prototip uređaja za ispitivanje usmjerene zaštite. Uređaj omogućava ispitivanje i podešavanje usmjerene zaštite primarno ili sekundarno. Karakte-

ristike uređaja: regulacija struje 2 mA — 2000 A kontinuirano; regulacija napona 0,01 — 250 V kontinuirano; regulacija pomaka 0 — 360° kontinuirano. Uređaj ujedno omogućava i mjerenja vremena zatezanja. Na osnovi prototipa izrađen je niz uređaja koji se već primijenjuju u elektroenergetskim pogonima.

Razni radovi

Naručitelji: razni
Autori: kolektiv studijske jedinice

Ispitivanje kabela

Ispitivani su kabeli radi ispitivanja kvalitete i određivanja karakterističnih konstanti.

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. Značaj takvih ispitivanja je velik, jer se pravodobno mogu otkriti pogreške učinjene prilikom polaganja i izbjeći kasniji prekidi pogona.

Ispitivane su kabelske glave i spojnice. Ispitivanja su obuhvatila naponska ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponima, kao i nepropusnost na mjestima brtvljenja. Također su ispitivane kabelske mase i razna ulja.

Mjerenje napona koraka i dodira

Prilikom zemljospoja ili jednopolnog spoja na uzemljivaču i u njegovoj okolini mogu se pojaviti naponi dodira i koraka opasni za ljude. Radi toga su neophodna mjerenja kojima će se takvi naponi otkriti i otkloniti odgovarajućom rekonstrukcijom uzemljivača.

Unatoč visokom specifičnom otporu tla i visokom otporu uzemljivača, pogodnim oblikovanjem uzemljivača se može 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 električare ispitivati svakih šest mjeseci, a ako su neupotrijebljene na skladištu, svakih 12 mjeseci. Sva ta zaštitna sredstva koja su zadovoljila atestirana 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 električke opreme i materijala

Ispitivane su sklopke, priključni pribor, niskonaponski razvodni uređaji, kondenzatori snage, automatski regulatori, prekostrujni i diferencijalni releji, visokoučinski osigurači, izolatori, ovjesni materijal, stezaljke, i dr.

Ispitivani su plastični materijali, razna ulja, kabelske 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 ukazalo 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.

Primopredajna ispitivanja

Obavljeno je kvalitativno preuzimanje staklenih izolatora, učinskih i mjernih transformatora i ostale opreme za elektroenergetska postrojenja.

U toku je preuzimanje opreme 220 kV za TS Meline.

Laboratorij je surađivao s investitorima pri izboru odgovarajuće elektrotehničke opreme za postrojenja, kao i kod određivanja karakteristika opreme pri sklapanju ugovora s tvornicama.

Ispitivana je električna oprema u TE Sisak II prije puštanja u pogon.

Ispitivanje kvalitete

Obavljena su ispitivanja i atestiranje električnih štednjaka, bojlera i ostale opreme za široku potrošnju.

Ispitivanje odvodnika prenapona

Povremeno ispitivanje odvodnika obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog proradnog napona.

Za ocjenu stanja odvodnika prenapona neophodna su ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponom, jer se 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 mjerenja.

Uređaji za ispitivanje kabela IPKN-10

Ispitivanje ovim uređajima obavlja se istosmjernom strujom, što ima prednost, jer je uređaj lakši, i podesniji za pronalaženje eventualne pogreške u kabelu. Za što točnije ustanovljenje mjesta pogreške potrebno je, naime, da na tom povređenom mjestu bude što manji otpor izolacije, tj. što bolji spoj. To se postiže tzv. propaljivanjem kabela tako, da se, nakon što je ispitivanjem ili pak za vrijeme pogona ustanovljena pogreška u izolaciji kabela, s dovoljno jakom strujom i dovoljno visokim naponom propaljuje kabel, dok se na povređenom mjestu ne postigne karbonizirani spoj minimalnog otpora. Nakon toga nije teško odrediti mjesto pogreške bilo kojom poznatom metodom.

Prema tome, uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela napona 10 kV poslije polaganja. Također omogućuje brzo i točno pronalaženje mjesta pogreške u kabelima bilo kojom od poznatih metoda, a može se upotrijebiti u granicama svojih karakteristika i u druge svrhe.

Uređaj za ispitivanje kabela IPKN-1

Ovaj uređaj namijenjen je za ispitivanje kabela do 1 kV. U izvjesnim slučajevima njime se mogu propaljivati i kabeli do 10 kV, a da prethodno nisu obrađivani visokonaponskim dijelom uređaja IPKN-10.

Uređaj IR-2 S 50 A

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i udešavanje sekundarnih neusmjerenih nadstrujnih releja i njihovih vremenskih članova. Proizvodi struju od 5, 15 i 50 A, čija se vrijednost može kontinuirano mijenjati. Može se koristiti i kao 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 udešavanje sekundarnih usmjerenih nadstrujnih, zemljospojnih i sličnih releja i njihovih vremenskih članova.

Uz dodatak IR-1000 A i IR-2000 A mogu se obaviti primarna ispitivanja spomenutih releja. Fazni pomak između struje i napona može se grubo mijenjati po 120° 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 uređajima IR-2 S 50 A i IR-UZ, pa imaju kontinuiranu regulaciju i mjerenje struja do 1000 A, 2000 A, i više.

Uređaj za mjerenje napona koraka i dodira

Elektronski voltmetar, osim za mjerenje napona koraka i dodira može se, s obzirom na veliku ulaznu impedanciju, koristiti za snimanje potencijalnih lijevaka, ekvipotencijalnih linija i za mjerenje otpora uzemljenja UI-metodom.

Uređaj je smješten u ukusno izrađenoj kutiji, koja se pomoću remena objesi tako da su ispitivaču slobodne ruke, pa je uređaj zbog svoje funkcionalnosti i male težine vrlo pogodan za terenska ispitivanja.

»RADE KONČAR«

TROFAZNI TRANSFORMATORI

50 do 1600 kVA

ZA VAŠE POTREBE

Projektirali smo standardni niz distributivnih transformatora koji su pouzdani u pogonu i potpuno u skladu s novim propisima

NAŠE RJEŠENJE

Transformatori se izrađuju i ispituju prema JUS N.H. 1. 010/020

Din 42500 do 630 kVA uk — 4%
1000 . . . 1600 kVA uk — 6%

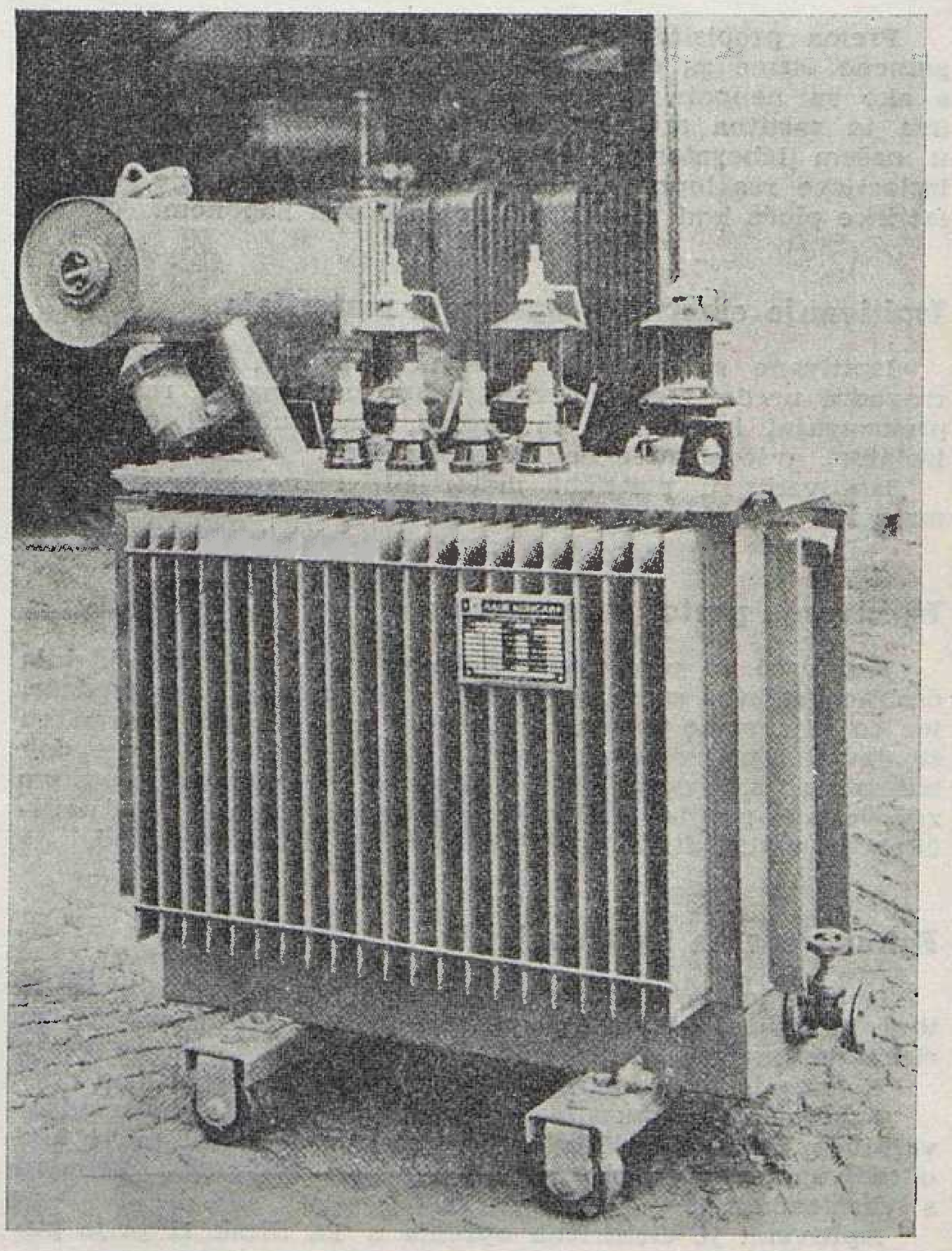
Osim standardnih izvedbi na poseban zahtjev izrađujemo transformatore s drugačijim tehničkim karakteristikama i u drugačijoj izvedbi (prespojivi na VN strani, veći opseg regulacije, kabelski priključci, sniženi gubici i slično).

VAŠ PROBITAK

Pouzdani u pogonu
Otpornost na sile kratkog spoja
Otpornost na udarni napon
Kompaktna gradnja
Čvrst kotao
Kvalitetna antikorozna zaštita
Male vanjske dimenzije

SERIJA

2TBN — 12
2BTN — 24
2BTN — 24x



TRANSFORMATOR 2TBN — KOTAO OD VALOVITOG LIMA

GOD. 26 (1977) energija BROJ 9—10

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

VALORIZACIJA ZAJEDNIČKE PROIZVODNJE TOPLINE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Duško Čorak, Zagreb

Izgradnja proizvodnih jedinica spojnog procesa u uvjetima zajedničkog rada elektroenergetskog i toplinskog sistema utječe na troškove u oba sistema pa je kriterij za optimalno rješenje definiran kao minimum troškova u zajedničkom pogonu dvaju energetskih sistema, bez obzira u kojem se sistemu javljaju troškovi. Na taj način je u problemu eliminiran utjecaj podjele troškova između proizvodnje topline i električne energije. U članku je cjelovito prikazana valorizacija zajedničke proizvodnje topline i električne energije, kao i model za optimalizaciju centraliziranog toplinskog sistema neovisno o vrsti proizvodnih jedinica. Na kraju je prikazana primjena modela za valorizaciju proizvodnje topline i električne energije u nuklearnim elektranama ovisno o udaljenosti od centra toplinskog konzuma.

DK 621. 311. 22:621. 31

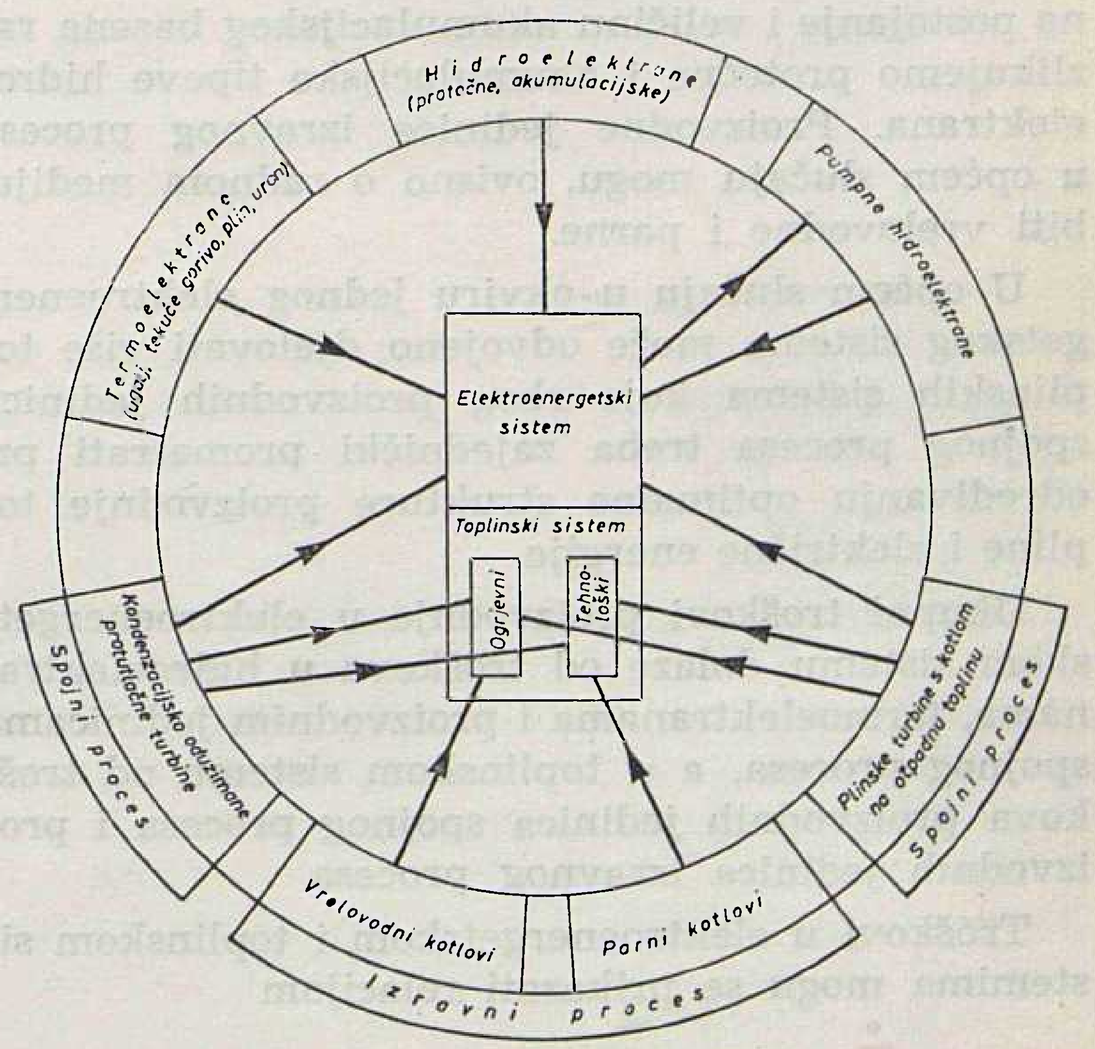
Izgradnja neke proizvodne jedinice u elektroenergetskom sistemu utječe na sve ostale proizvodne jedinice u elektroenergetskom sistemu. U slučaju izgradnje proizvodne jedinice spojnog procesa utjecaj se proširuje i na sve proizvodne jedinice u toplinskom sistemu u kojem će raditi. Uloga proizvodne jedinice spojnog procesa u elektroenergetskom sistemu ovisi o njezinim karakteristikama, karakteristikama ostalih proizvodnih jedinica u elektroenergetskom sistemu, karakteristikama elektroenergetskog sistema, karakteristikama proizvodnih jedinica u toplinskom sistemu te karakteristikama samog toplinskog sistema. Da bi se utvrdila uloga proizvodne jedinice spojnog procesa u toplinskom i elektroenergetskom sistemu, potrebne su detaljne analize u oba sistema, pri čemu je potrebno uzeti u obzir i utjecaj povećanja konzuma u oba sistema.

Mogućnost proizvodnje protutlačne električne energije u slučaju toplinskog ogrijevnog sistema ovisi o klimatskim prilikama koje se u nizu promatranih godina mijenjaju. Potrebna proizvodnja termoelektrana ovisi o mogućnosti proizvodnje hidroelektrana, a ona je pak ovisna o hidrološkim prilikama koje se u nizu promatranih godina mijenjaju.

Između promjena ogrjevnih prilika u nizu promatranih godina i promjena hidroloških prilika u odgovarajućim godinama ne mora, ali može postojati korelacijska ovisnost, pa je pri analizi prilika u elektroenergetskom i toplinskom sistemu potrebno promatrati isti višegodišnji period, kako bi se povezale odgovarajuće ogrjevne s odgovarajućim hidrološkim prilikama.

Potrebe električnog konzuma u elektroenergetskom i toplinskog konzuma u toplinskom sistemu mogu se zadovoljiti s različitim tipovima proizvodnih izvora. Izgradnjom hidroelektrana ili termoelektrana mogu se zadovoljiti potrebe elektroenergetskog sistema. Potrebe toplinskog sistema mogu se zadovoljiti proizvodnim jedinicama izravnog procesa. Proizvodnim jedinicama spojnog procesa može se zadovoljiti potražnja toplinskih korisnika, ali i potražnja električnih korisnika.

Izgradnjom proizvodne jedinice spojnog procesa utječe se na troškove u elektroenergetskom i tro-



Sl. 1. Pojednostavnjeni energetski model elektroenergetskog i toplinskog sistema

škove u toplinskom sistemu. Analizom prilika u elektroenergetskom i analizom prilika u toplinskom sistemu za različita rješenja izgradnje novih proizvodnih izvora i različitih nivoa električnog i toplinskog konzuma moguće je odrediti optimalnu strukturu proizvodnih jedinica u elektroenergetskom i toplinskom sistemu. Usporedbom troškova odvojene proizvodnje i električne energije — topline u proizvodnim jedinicama izravnog procesa, električne energije u hidroelektranama i termoelektranama, a zajedničke proizvodnje topline i električne energije u proizvodnim jedinicama spojnog procesa — moguće je utvrditi opravdanost, odnosno neopravdanost zajedničke proizvodnje topline i električne energije u proizvodnim jedinicama spojnog procesa. Očito je u traženju optimalnog rješenja potrebno zajedničko promatranje elektroenergetskog i toplinskog sistema. Pojednostavnjeni energetski model ovih dvaju sistema prikazan je na slici 1.

OSNOVA METODE VREDNOVANJA ZAJEDNIČKE PROIZVODNJE TOPLINE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Odrediti optimalnu strukturu proizvodnje električne i toplinske energije u elektroenergetskom i toplinskom sistemu za zadanu sigurnost opskrbe korisnika energije svodi se na određivanje sastava termoelektrana, hidroelektrana i proizvodnih jedinica spojnog procesa u elektroenergetskom sistemu, a proizvodnih jedinica spojnog procesa i izravnog procesa u toplinskom sistemu, koji zajedno daju minimalne ukupne troškove u oba sistema. Proizvodne jedinice kondenzacijskih termoelektrana mogu biti različitog tipa s obzirom na vrstu goriva i termodinamičke parametre. Kod proizvodnih jedinica spojnog procesa važna je još podjela na protutlačne i kondenzacijsko oduzimne. S obzirom na postojanje i veličinu akumulacijskog bazena razlikujemo protočne i akumulacijske tipove hidroelektrana. Proizvodne jedinice izravnog procesa u općem slučaju mogu, ovisno o radnom mediju, biti vrelovodne i parne.

U općem slučaju u okviru jednog elektroenergetskog sistema može odvojeno djelovati više toplinskih sistema koje zbog proizvodnih jedinica spojnog procesa treba zajednički promatrati pri određivanju optimalne strukture proizvodnje topline i električne energije.

Ukupni troškovi proizvodnje u elektroenergetskom sistemu dolaze od troškova u hidroelektranama, termoelektranama i proizvodnim jedinicama spojnog procesa, a u toplinskom sistemu od troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa i proizvodnih jedinica izravnog procesa.

Troškovi u elektroenergetskom i toplinskom sistemima mogu se prikazati relacijom

$$K = K_e + K_T + K_{sp}, \qquad (1)$$

gdje su:

K [din] — ukupni troškovi u elektroenegetskom i toplinskom sistemu

K_e [din] — ukupni troškovi u clektroenergetskom sistemu, bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa

K_T [din] — ukupni troškovi u toplinskim sistemima bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa

K_{sp} [din] — ukupni troškovi proizvodnih jedinica spojnog procesa u toplinskim sistemima i elektroenegetskom sistemu.

Troškovi K_e, K_T i K_{sp} mogu se prikazati ovim relacijama:

— troškovi u elektroenergetskom sistemu bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa

$$K_e = K_{ho} + K_{to} + K_h + K_t + K_{td} + K_{eb} + K_{mo} + K_m, \qquad (2)$$

gdje su:

K_{ho} [din] — stalni troškovi u postojećim hidroelektranama

K_{to} [din] — stalni troškovi u postojećim termoelektranama

K_h [din] — stalni troškovi u novoj hidroelektrani ili novim hidroelektranama za koje se razmatra opravdanost izgradnje

K_t [din] — stalni troškovi u novoj termoelektrani ili novim termoelektranama za koje se promatra opravdanost izgradnje

K_{td} [din] — stalni troškovi u novim dodatnim termoelektranama pored promatranih novih termoelektrana

K_{eb} [din] — troškovi za gorivo u postojećim i novim termoelektranama

K_{mo} [din] — stalni troškovi postojeće prijenosne mreže

K_m [din] — stalni troškovi nove prijenosne mreže

— troškovi u toplinskom sistemu bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa

$$K_T = K_{Tg} + K_{Tt}, \qquad (3)$$

gdje su:

K_{Tg} [din] — ukupni troškovi u ogrjevnom sistemu bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa

K_{Tt} [din] — ukupni troškovi u tehnološkom toplinskom sistemu bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa.

Ako u elektroenergetskom sistemu ima više toplinskih sistema, tada relacija (3) predstavlja ukupne troškove u svim toplinskim sistemima.

Ukupni troškóvi u ogrjevnom toplinskom sistemu bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa mogu se prikazati relacijom:

$$K_{Tg} = K_{gvo} + K_{gv} + K_{gvd} + K_{gbv} + K_{gmo} + K_{gm}, \quad (4)$$

gdje su:

K_{gvo} [din] — stalni troškovi u postojećim proizvodnim jedinicama izravnog procesa

K_{gv} [din] — stalni troškovi u novim proizvodnim jedinicama izravnog procesa

K_{gvd} [din] — stalni troškovi u novim dodatnim proizvodnim jedinicama izravnog procesa pored promatranih novih

K_{gbv} [din] — troškovi za gorivo u postojećim i novim proizvodnim jedinicama izravnog procesa

K_{gmo} [din] — stalni troškovi postojeće toplinske mreže

K_{gm} [din] — stalni troškovi nove toplinske mreže.

Ukupni troškovi u tehnološkom toplinskom sistemu bez troškova proizvodnih jedinica spojnog procesa mogu se također prikazati relacijom (4). Za tehnološki toplinski sistem odgovarajući članovi u relaciji (4) poprimit će oznake K_{tvo}, K_{tv}, K_{tvd}, K_{tbv}, K_{tmo} i K_{tm}.

$$K_{Tt} = K_{tvo} + K_{tv} + K_{tvd} + K_{tbv} + K_{tmo} + K_{bm} \quad (5)$$

Na kraju, ukupni troškovi proizvodnih jedinica spojnog procesa mogu se prikazati relacijom:

$$K_{sp} = K_{spo} + K_{sp} + K_{gbs} + K_{tbs} + K_{ebs}, \quad (6)$$

gdje su:

K_{spo} [din] — stalni troškovi u postojećim proizvodnim jedinicama spojnog procesa

K_{sp} [din] — stalni troškovi u novim proizvodnim jedinicama spojnog procesa

K_{sbs} [din] — troškovi za gorivo proizvodnih jedinica spojnog procesa u ogrjevnom sistemu

K_{tbs} [din] — troškovi za gorivo proizvodnih jedinica spojnog procesa u tehnološkom toplinskom sistemu

K_{ebse} [din] — troškovi za gorivo proizvodne jedinice spojnog procesa u elektroenergetskom sistemu.

Stalni troškovi K_{ho}, K_{to}, K_{mo}, K_{gvo}, K_{gmo}, K_{tvo}, K_{tmo}, i K_{spo} u relacijama (2), (4), (5) i (6) konstantne su vrijednosti, pa se pri traženju minimuma od K mogu izostaviti iz razmatranja.

Stalni troškovi K_t, K_{gv}, K_{tv} i K_{sp} ovise o tipu proizvodne jedinice, načinu hlađenja, načinu oduzimanja te lokacijskim i drugim uvjetima koji utječu na stalne troškove. Za definiranu proizvodnu jedinicu stalni troškovi su konstanta koja ne ovisi o prilikama u toplinskom ili elektroenergetskom sistemu. Ti se troškovi ne mogu isključiti iz razmatranja, jer se tek na temelju njihovih vrijednosti treba odrediti da li će se graditi određeni tip proizvodne jedinice.

Sve što je rečeno za troškove K_t, K_{gv}, K_{tv} i K_{sp}, vrijedi i za K_h, osim što vrijednost K_h ovisi i o drugim parametrima (topografskim i geološkim uvjetima, lokacijskim uvjetima, veličini brane itd.), ali za određenu hidroelektranu ta vrijednost je konstantna.

Pri određivanju potrebne instalirane snage proizvodnih jedinica u elektroenergetskom i toplinskom sistemu za određenu sigurnost opskrbe korisnika energije nije uvijek unaprijed moguće predvidjeti koliko novih proizvodnih jedinica treba izgraditi, pa je zbog toga potrebno predvidjeti dodatne termoelektrane u elektroenergetskom sistemu, a dodatne proizvodne jedinice izravnog procesa u toplinskom sistemu. Za dodatne proizvodne jedinice pretpostavlja se da nema ograničenja u pogledu mogućnosti izgradnje. Stalni troškovi u dodatnim proizvodnim jedinicama definiraju se ovisno o tipu i karakteristikama termoelektrana (K_{td}) o tipu i karakteristikama proizvodnih jedinica izravnog procesa (K_{gvd}) i (K_{tvd}).

Troškovi za gorivo K_{eb}, K_{gbv}, K_{tbv}, K_{ebs}, K_{gbs}, i K_{gbt} ovise o karakteristikama postojećih, novih i dodatnih proizvodnih jedinica termoelektrana, proizvodnih jedinica spojnog i izravnog procesa te karakteristikama hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu.

Troškovi mreže u elektroenergetskom sistemu (K_m) koji ne ovise o redoslijedu izgradnje elektrane treba uključiti u razmatranje. Troškovi toplinske mreže (K_{gm}) i (K_{tm}) znatno utječu na ukupne troškove topline u toplinskom sistemu. U uvjetima kad se centralizirani sistem opskrbe uspoređuje s drugim sistemima toplinske opskrbe koji su na manjem nivou povezivanja (blokovske kotlovnice, kućne kotlovnice, individualno grijanje) troškove mreže treba uključiti u razmatranje, a ako to nije slučaj, tada se radi o usporedbi pojedinih tipova proizvodnih jedinica unutar toplinskog sistema pa se ti troškovi mogu izostaviti.

Uz pomoć relacije (1) te relacija (2), (4), (5) i (6) moguće je ako se pozna proizvodnja električne i toplinske energije po proizvodnim jedinicama, utvrditi ukupne troškove u elektroenergetskom i toplinskom sistemu. Kod uključivanja novih proizvodnih jedinica veličine K_h, K_t, K_{sp}, K_{sv}, K_{tv}, uz definiranu karakteristiku proizvodne jedinice, predstavljaju parametar čiji će se utjecaj promatrati radi minimiziranja ukupnih troškova. Proizvodne jedinice spojnog procesa svojom prsutnošću utječu na troškove u elektroenergetskom i toplinskom sistemu. Promatramo li elektroenergetski toplinski sistem jednom uz pretpostavku da je izgrađena proizvodna jedinica spojnog procesa, a drugi put da se njezina proizvodnja u elektroenergetskom i toplinskom sistemu supstituira s drugim proizvodnim jedinicama, termoelektranama ili hidroele-

ktranama za proizvodnju električne energije, a proizvodnim jedinicama izravnog procesa za proizvodnju topline — moguće je utvrditi opravdanost zajedničke proizvodnje i njezin bonitet.

ODREĐIVANJE OPTIMALNE INSTALIRANE SNAGE PROIZVODNE JEDINICE SPOJNOG PROCESA

Pokrivanje toplinskog opterećenja u ogrjevnom ili tehnološkom toplinskom sistemu moguće je obaviti proizvodnim jedinicama spojnog i izravnog procesa. Neovisno o udjelu toplinske snage iz spojnog ili izravnog procesa ukupna potrebna toplina toplinskih korisnika koja je definirana krivuljom trajanja toplinskog opterećenja (slika 3) bit će zadovoljena

$$EQ = ET_v + ET_{sp}, \tag{7}$$

EQ [Gcal] — ukupna potrebna toplina prema dijagramu trajanja toplinskog opterećenja

ET_v [Gcal] — ukupna proizvodnja topline u proizvodnim jedinicama izravnog procesa

ET_{sp} [Gcal] — ukupna proizvodnja topline u proizvodnim jedinicama spojnog procesa.

U elektroenergetskom sistemu ukupna potrebna energija bit će zadovoljena proizvodnjom u hidroelektranama, termoelektranama i proizvodnim jedinicama spojnog procesa:

$$W = W_h + W_{te} + W_{sp}, \tag{8}$$

gdje su:

W_h [kWh] — ukupna proizvodnja u hidroelektranama

W_t [kWh] — ukupna proizvodnja u termoelektranama

W_{sp} [kWh] — ukupna proizvodnja u proizvodnim jedinicama spojnog procesa.

Razmotrimo prilike u toplinskom i elektroenergetskom sistemu kojima zbog porasta potrošnje treba graditi nove proizvodne jedinice. Povećana potrošnja može biti zadovoljena izgradnjom: proizvodnih jedinica spojnog procesa, termoelektrana, hidroelektrana i proizvodnih jedinica izravnog procesa za zadovoljenje samo toplinske potražnje. Ako se između ostalog odlučimo i za gradnju proizvodnih jedinica spojnog procesa, tada je jasno da se povećana potražnja u toplinskom sistemu može u potpunosti zadovoljiti, a potražnja u elektroenergetskom sistemu može biti veća ili manja od moguće proizvodnje proizvodne jedinice spojnog procesa. Iako se u toplinskom sistemu može zadovoljiti ukupna povećana potražnja izgradnjom samo proizvodnih jedinica spojnog procesa, razumno je s obzirom na oblik dijagrama opterećenja i znatne razlike u investicijskim ulaganjima između proizvodnih jedinica spojnog i izravnog procesa, postaviti pitanje da li se na taj način postižu minimalni troškovi u sistemu.

Zbog povećane potražnje potrebno je dakle izgraditi nove proizvodne kapacitete u spojnom ili izravnom procesu

$$T = T_{sp} + T_v. \tag{9}$$

Ako udio snage spojnog procesa u ukupnoj potrebnoj toplinskoj snazi toplinskog sistema obilježimo s

$$\alpha_T = \frac{T_{sp}}{Q_x},$$

tada se pitanje svodi na traženje optimalne vrijednosti α_T. Kad se površina ispod krivulje trajanja integrira i postavi u ovisnost α_T (slika 2), tada se može vidjeti da s toplinskom snagom u spojnom procesu $\alpha_T = 0{,}4$, proizvodimo 87% ukupne potrebne topline i s $\alpha_T = 0{,}5$, 93%. Računski se može pokazati da nije opravdano takozvanu vršnu proizvodnju osigurati u skupnim proizvodnim kapacitetima.

Pretpostavimo da u toplinskom sistemu za prvi moment nema izgrađenih proizvodnih jedinica i da se postavlja zadatak određivanje optimalne strukture.

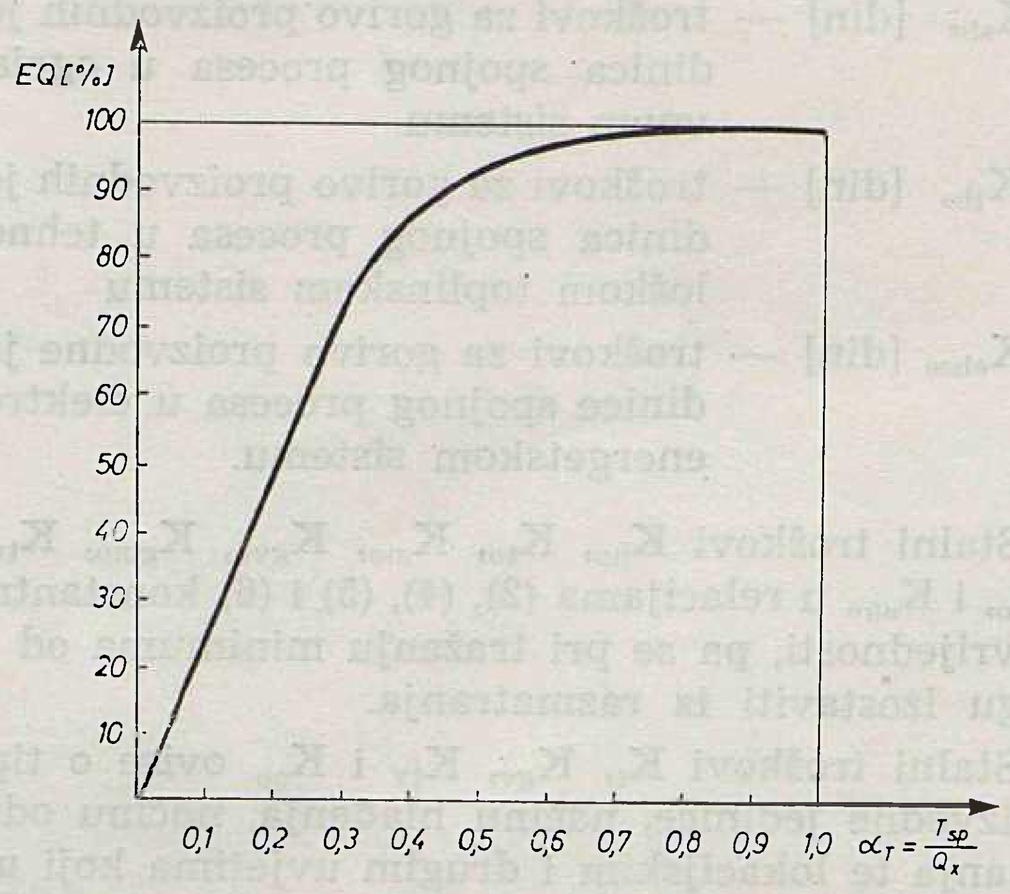
Zbog povećanja proizvodnje ukupni troškovi u sistemu elektroenergetskom i toplinskom sistemu povećat će se

$$K = K_{ho} + K_t + K_{sp} + K_v, \tag{10}$$

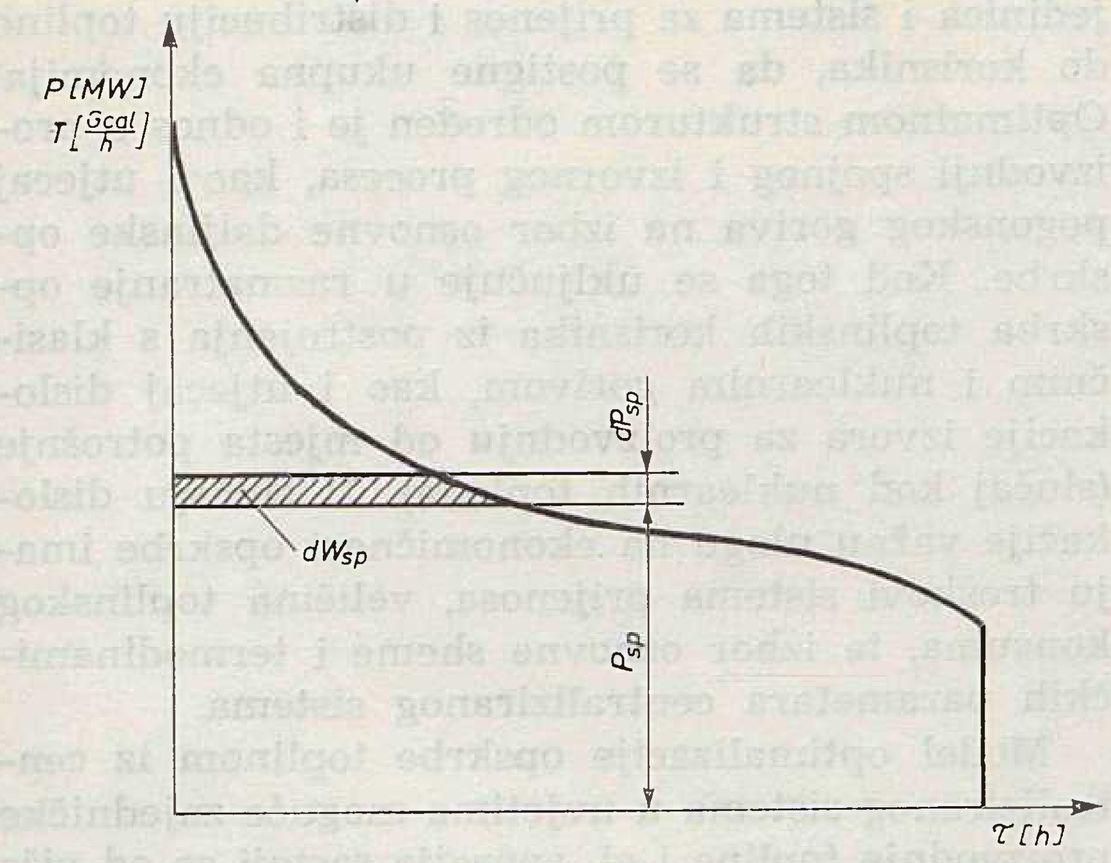
gdje su:

K_{ho} [din] — ukupni troškovi u postojećim hidroelektranama

K_t [din] — ukupni troškovi u postojećim i novim termoelektranama



Sl. 2. Ovisnost proizvodnje u spojenom procesu o koeficijentu α_r



Sl. 3. Krivulja trajanja toplinskog opterećenja u toplinskom sistemu

K_{sp} [din] — ukupni troškovi proizvodnih jedinica spojnog procesa

K_v [din] — ukupni troškovi proizvodnih jedinica izravnog procesa.

Specifični promjenljivi troškovi proizvodnje električne energije u termoelektranama k_{bte} i proizvodnim jedinicama spojnog procesa k_{bsp} su različiti $k_{bte} \neq k_{bspe}$, kao i njihovi specifični stalni troškovi $b_{te} \neq b_{sp}$. Ako specifične promjenljive troškove u toplinskom sistemu u proizvodnim jedinicama izravnog procesa obilježimo k_{bv} a spojnog procesa k_{bspt}, specifične stalne troškove s b_v, tada se troškovi mogu napisati u obliku

$$K = K_{ho} + \rho\,[b_{te}\,.\,(P_t - P_{sp}) + b_{sp}\,P_{sp}] + k_{bte}\,(W_t - W_{sp} + k_{bspe}\,W_{sp} + \varphi b_v\,(T - T_{sp}) + k_{bv}\,[EQ - ET_{sp} + k_{bspt}\,ET_{sp}], \quad (11)$$

gdje su:

$$W_t = W_{te} + W_{sp} \quad (12)$$

W_{te} [kWh] — proizvodnja u kondenzacijskim termoelektranama

P_t [kW] — potrebna raspoloživa snaga termoelektrana.

Potrebnu snagu termoelektrana možemo prikazati isto kao zbroj potrebne snage u kondenzacijskim termoelektranama P_{te} i snage u proizvodnim jedinicama spojnog procesa P_{sp}

$$P_t = P_{te} + P_{sp}. \quad (13)$$

S ρ je obilježen faktor rezerve u elektroenergetskom sistemu, a s φ faktor rezerve u toplinskom sistemu.

Toplinska snaga oduzimanja T_{sp} i proizvodnja topline ET_{sp} s protutlačnom snagom P_{sp} i proizvodnjom W_{sp} povezane su s koeficijentom proizvodnje električne energije e_T.

$$T_{sp} = \frac{P_{sp}}{e_T} \quad (14)$$

$$ET_{sp} = \frac{W_{sp}}{e_T}. \quad (15)$$

Optimum u toplinskom i elektroenergetskom sistemu bit će postignut kad ukupni troškovi budu minimalni, a to znači da treba odrediti veličinu izgradnje proizvodne jedinice spojnog procesa kondenzacijskih termoelektrana i proizvodnih jedinica izravnog procesa kojima se može postići opskrba toplinskih i električnih korisnika uz minimalne troškove.

Izgradnja proizvodne jedinice spojnog procesa ne utječe na troškove u postojećim hidroelektranama K_{ho} niti na proizvodnju u hidroelektranama. Specifične stalne troškove u termoelektranama, proizvodnim jedinicama spojnog i izravnog procesa pretpostavimo da su konstante i da ne ovise o izgradnji veličine P_{sp}. Faktori rezerve ρ i φ također se mogu staviti da ne ovise o veličini izgradnje P_{sp}, ako proizvodne jedinice koje mogu supstituirati izgradnju P_{sp} imaju iste tehničke i energetske karakteristike, što se može i pretpostaviti.

Ukupni troškovi nove proizvodne jedinice spojnog procesa u funkcijskoj su ovisnosti o njezinoj proizvodnji električne energije.

$$K_{sp} = f\,(W_{sp}), \quad (16)$$

a, s druge strane, proizvodnja električne energije u funkcijskoj je ovisnosti snage proizvodne jedinice spojenog procesa:

$$P_{sp} = f\,(W_{sp}), \quad (17)$$

Na temelju relacije (16) i (17) ukupni troškovi K u funkcijskoj su ovisnosti o proizvodnji W_{sp}, pa se deriviranjem relacije (11) po W_{sp} može odrediti uvjet za minimum troškova.

Kako je najčešće kod energetske podjele troškova goriva $k_{bspt} \sim k_{bv}$, tada funkcija (11) može imati svoj minimum ako je ispunjen uvjet

$$k_{bte} > k_{bsp} \quad (18)$$

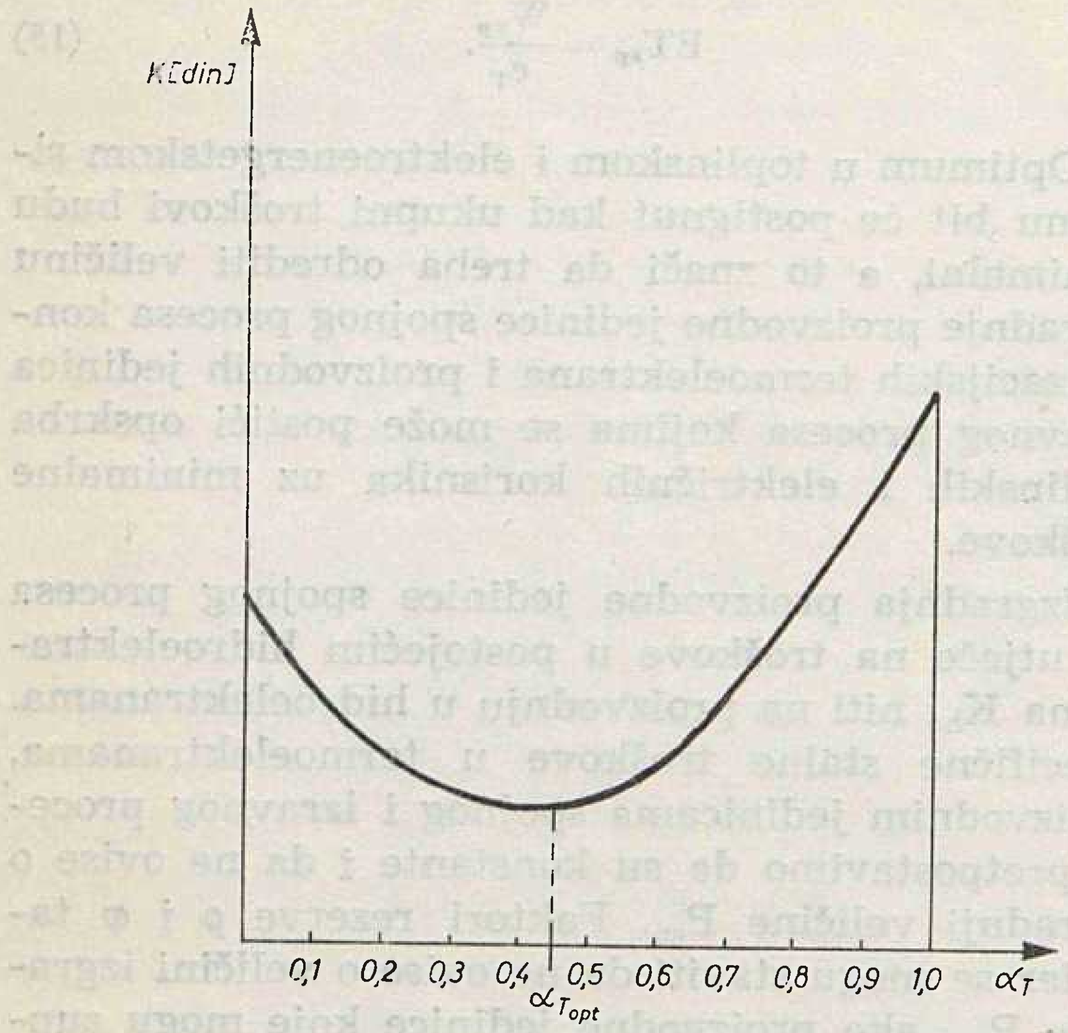
a druga derivacija je pozitivna.

Druga derivacija bit će pozitivna ako je

$$b_{sp} < b_{te} + \frac{\varphi}{\rho}\,\frac{b_v}{e_T}. \quad (19)$$

Ako je ispunjen uvjet (18) i (19), grafičko-analitičkim putem može se odrediti kod koje vrijednosti P_{sp} funkcija (11) poprima minimalnu vrijednost. Vrijednost P_{sp} kod koje funkcija (11) poprima minimalnu vrijednost predstavlja optimalnu vrijednost snage proizvodne jedinice spojnog procesa (slika 4).

U slučaju kad nije ispunjen uvjet (18), tada funkcija (11) može imati svoj minimum ako nije ispunjen uvjet (19). Drugim riječima, povećane stalne troškove u spojnom procesu, u odnosu na moguće supstituirano rješenje, treba pokriti razlikom u troškovima goriva, a ako se pak ne pojavljuje razlika u troškovima goriva, tada se samo u



Sl. 4. Određivanje optimalne vrijednosti toplinske snage proizvodne jedinice spojnog procesa.

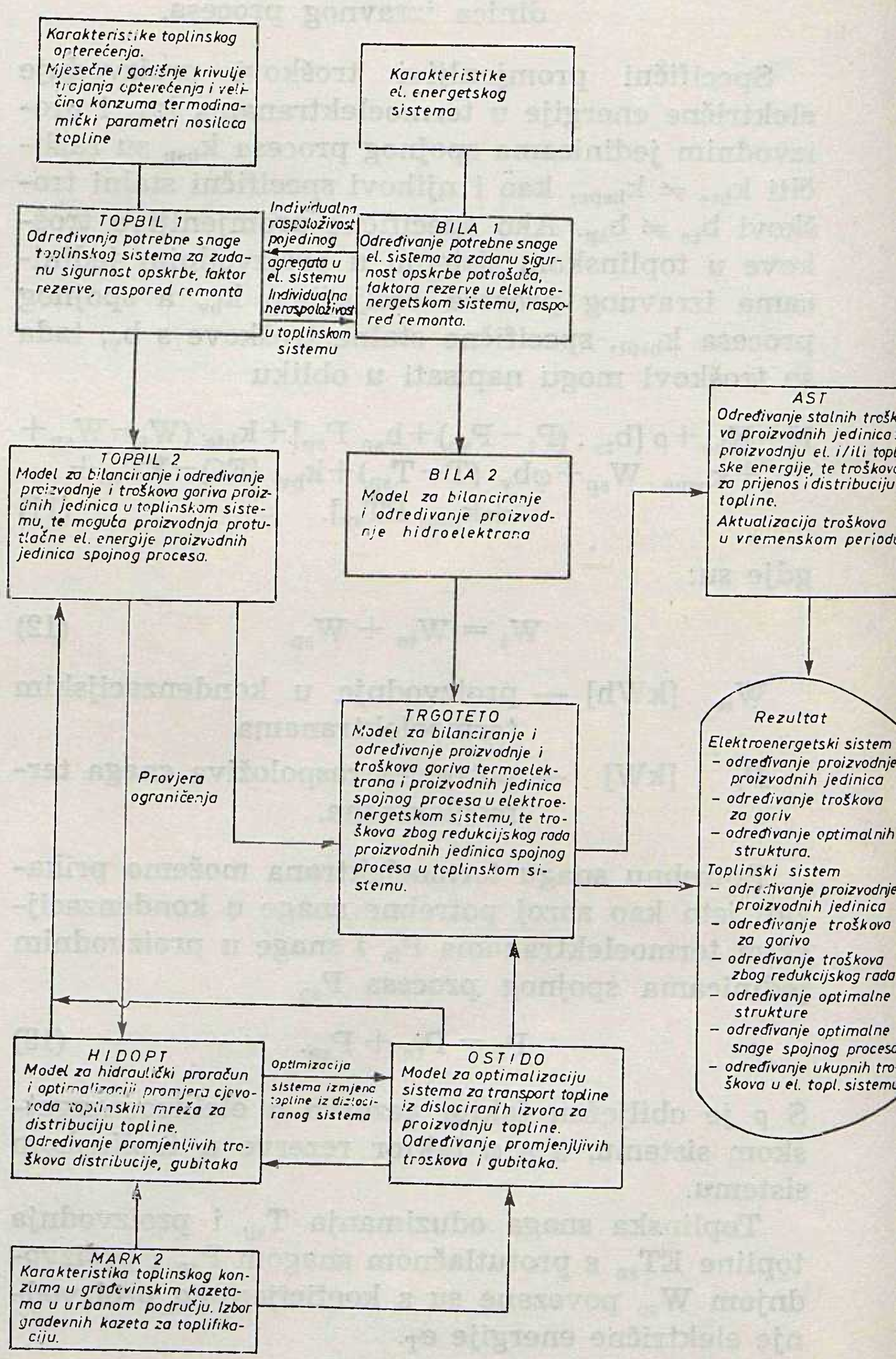
slučaju ako spojni proces dovodi do manjih stalnih troškova od supstituiranih rješenja može opravdati zajednička proizvodnja topline i električne energije .

OPTIMALIZACIJA OPSKRBE TOPLINOM IZ CENTRALIZIRANOG SISTEMA

Jedan sveukupni program optimalizacije opskrbe toplinom korisnika u uvjetima moguće zajedničke proizvodnje topline i električne energije — uključujući različite proizvodne jedinice spojnog procesa za proizvodnju električne i toplinske energije, te proizvodnih jedinica izravnog procesa za proizvodnju topline, a termoelektrana nuklearnih elektrana i hidroelektrana za proizvodnju električne energije, te sistema za prijenos i distribuciju topline — razvijen je u Institutu za elektroprivredu. Program je napravljen tako da je moguća optimalizacija željenih parametara, dok se ostatak promatra kao konstanta. Optimalizacija se provodi s mjesecom kao osnovnim vremenskim razdobljem u godišnjem periodu promatranja, tako da se uzima u obzir sezonska varijacija potreba za toplinskom i električnom energijom. Utjecaj hidroloških prilika promatra se u nizu od 40 godina. Programom se minimiziraju troškovi u elektroenergetskom i toplinskom sistemu. U slučaju većeg broja toplinskih sistema optimalizacija se proteže na sve toplinske sisteme koji se promatraju.

Prilikom optimalizacije promatraju se i gubici topline u sistemu prijenosa i distribucije, te utjecaj porasta konzuma u elektroenergetskom i toplinskom sistemu. Računski model postavljen je tako da se minimiziraju ukupni troškovi, što znači da je potrebno izgraditi strukturu proizvodnih jedinica i sistema za prijenos i distribuciju topline do korisnika, da se postigne ukupna ekonomija. Optimalnom strukturom određen je i odnos u proizvodnji spojnog i izvornog procesa, kao i utjecaj pogonskog goriva na izbor osnovne daljinske opskrbe. Kod toga se uključuje u razmatranje opskrba toplinskih korisnika iz postrojenja s klasičnim i nuklearnim gorivom, kao i utjecaj dislokacije izvora za proizvodnju od mjesta potrošnje (slučaj kod nuklearnih toplana). U slučaju dislokacije važnu ulogu na ekonomičnost opskrbe imaju troškovi sistema prijenosa, veličina toplinskog konzuma, te izbor osnovne sheme i termodinamičkih parametara centraliziranog sistema.

Model optimalizacije opskrbe toplinom iz centraliziranog sistema u uvjetima moguće zajedničke proizvodnje topline i el. energije sastoji se od više programa koji su međusobno povezani, tako da se mogu koristiti kao cjelina ili kao odvojeni programi za separatnu optimalizaciju. Shematski prikaz sveukupnog modela optimalizacije dan je na sl. 5.



Sl. 5. Model za optimalizaciju proizvodnje el. energije u elektroenergetskom sistemu i topline u toplinskom sistemu

Osnovne komponente modela optimalizacije zajedničke proizvodnje topline i el. energije

Model je postavljen tako da je moguće promatrati različita rješenja za zadovoljenje opskrbe korisnika u toplinskom i elektroenergetskom sistemu. Promatranja se protežu na izbor vrste postrojenja, izravni ili spojni proces za zadovoljenje toplinskih korisnika u toplinskom sistemu, termoelektrane, hidroelektrane i proizvodne jedinice spojnog procesa za zadovoljenje potreba u elektroenergetskom sistemu. Utjecaj veličina i vrsta postrojenja s obzirom na pogonsko gorivo moguće je promatrati navedenim modelom.

Za svaku alternativu pomoću modela TOPBIL određuje se potrebna snaga proizvodnih jedinica za zadanu sigurnost opskrbe u toplinskom sistemu, proizvodnja topline proizvodnih jedinica spojnog i izravnog procesa, te troškovi goriva u toplinskom sistemu.

Modelom BILA optimira se angažiranje i određuje potrebna snaga termoelektrana za zadanu sigurnost opskrbe potrošača u elektroenergetskom sistemu. Za svaku alternativu promatra se utjecaj hidroloških prilika na potrebnu snagu proizvodnje termoelektrana. Ovim modelom može se promatrati utjecaj veličine agregata termoelektrana na potrebnu snagu termoelektrana u sistemu.

Međuzavisnost između toplinskog i elektroenergetskom sistema obuhvaćena je modelom TRGO TETO. Modelom TOPBIL određuje se moguća proizvodnja topline proizvodnih jedinica spojnog procesa u toplinskom sistemu, pa se na temelju prilika u elektroenergetskom sistemu može pomoću modela TRGO TETO odrediti prihvaćena proizvodnja protutlačne i kondenzacijske enegije, proizvodnih jedinica spojnog procesa, ako ona postoji. U okviru ovog modela postavljena je ovisnost proizvodnje protutlačne el. energije o toplinskoj potražnji i termodinamičkim parametrima nosioca topline.

Razlike u raspoloživostima proizvodnih jedinica u toplinskom i el. energetskom sistemu, dovode do povećanih troškova u toplinskom sistemu zbog djelomične proizvodnje preko redukcijskih stanica.

U slučaju kad se dio moguće proizvodnje ne angažira u elektroenergetskom sistemu pojavljuju se dodatni troškovi kod proizvodnje topline u istoj proizvodnoj jedinici jer se ostvaruje preko redukcijske stanice. Ovim modelom utvrđuju se troškovi za gorivo u elektroenergetskom sistemu i dodatni troškovi zbog rada redukcijskih stanica kod proizvodnih jedinica spojnog procesa.

Model TOPBIL i BILA daju sve potrebne podatke za provedbu programa TRGO TETO.

U uvjetima urbane sredine potrebno je odgovoriti na pitanje koje je građevinske kazete opravdano centralizirano opskrbljivati kod uključenih troškova distribucije topline. Usporedba se obavlja prema ostalim načinima grijanja, pri čemu je potrebno uključiti sva ograničenja koja postoje u pogledu raspoloživih količina goriva po vrstama, te dozvoljene koncepcije zagađenja (najčešće SO_2). Odgovor na ovo pitanje postiže se korištenjem računskog modela MARK 2.

Nakon što se modelom MARK 2 odrede građevinske kazete koje će se opravdano centralizirano opskrbljivati toplinom, modelom HIDOPT utvrđuje se optimalna konfiguracija distributivne toplinske mreže. Ovim modelom optimira se hidraulika, promjeri cjevovoda, promjenljivi troškovi i gubici topline.

Kod dislociranih izvora za proizvodnju topline, (najčešće su to nuklearne toplane) pojavljuje se sistem za prijenos topline od izvora do urbane sredine (mjesto potrošnje). Udaljenost izvora od mjesta potrošnje kreće se do 50 km, a toplinska snaga koja se prenosi 300 do 1 000 Gcal/h. Radi se o prijenosu velikih količina energije na relativno velike udaljenosti. U slučaju spojnog procesa kao izvora za proizvodnju topline, pojavljuje se raskorak između zahtjeva koji proizlaze iz investicijskih troškova cjevovoda koji rade s visokim temperaturama nositelja topline u težnji da se minimiziraju troškovi i zahtjevi koji dolaze od izvora za proizvodnju topline gdje je težnja za održanje niske polazne temperature nositelja topline zbog povećanja proizvodnje el. energije. Modenl OSTIDO uključuje varijable koje definiraju troškove cjevovoda ovisno o udaljenosti, polaznoj temperaturi nosioca topline, troškova pumpnih stanica, promjenljivih troškova transporta i gubitka topline sa strane sistema za prijenos, a investicijske troškove i troškove goriva u elektroenergetskom i toplinskom sistemu ovisno o polaznoj temperaturi nositelja topline izvora.

Alternativna rješenja za opskrbu toplinskih korisnika u toplinskom i električnih u elektroenergetskom sistemu, dovode do različitih investicijskih i pogonskih troškova.

Veća investicijska ulaganja u pravilu iziskuju niže troškove goriva i radne snage, a niža veće troškove goriva i radne snage. Ako se pak pođe od pretpostavke da novac ima sposobnost da s vremenom donosi zaradu, to znači da on posjeduje vrijednost u funkciji vremena, odnosno da iznos novca u sadašnjosti vrijedi više nego ista vrijednost novaca u budućnosti, tada je potrebno evaluirati vrijednost pojedinog varijantnog rješenja uzimajući u obzir sve troškove i sve prihode. U promatranju energetskih objekata polazi se od toga da prihodi moraju pokrivati rashode. Prednost odnosno povoljnost pojedinog rješenja ocjenjuje se veličinom minimalnih ukupnih troškova kroz vijek objekta, svedenih na današnju vrijednost. Model AST omogućuje proračun aktualiziranih troškova za svako alternativno rješenje uz variranja utjecaja stope inflacije i stope aktualizacije.

Opisanim komponentama modela moguće je tražiti energetski optimum u zajedničkom energetskom sistemu (toplinski + elektroenergetski) uključujući sva alternativna rješenja za proizvodne jedinice, termoelektrana, hidroelektrana te proizvodnih jedinica spojnog procesa. Kod ovih posljednjih može se promatrati utjecaj izbora protutlačne ili kondenzacijsko oduzimne proizvodne jedinice, veličine električne i toplinske snage, veličine termodinamičkih parametara, vrste goriva, veličine toplinskog konzuma, te niz drugih parametara koji od slučaja do slučaja mogu biti od posebnog interesa.

Neki rezultati dobiveni primjenom modela

Pomoću predstavljenog modela prikazat će se utjecaj različitih parametara na ekonomiju korištenja topline iz nuklearne elektrane za daljinsku opskrbu ogrjevnih korisnika topline. Osnovna shema daljinske opskrbe postavljena je tako da se iz nuklearne elektrane pokriva temeljno toplinsko opterećenje, dok se vršno opterećenje pokriva iz lokalnih gradskih toplana čije su proizvodne jedinice vrelovodni kotlovi ili već izgrađene proizvodne jedinice spojnog procesa, sl. 6. Vrela voda se iz nuklearne toplane transportira (primarni sistem) do lokalnog distributivnog sistema (sekundarni sistem). Toplina iz primarnog sistema predaje se u izmjenjivaču sekundarnom sistemu, koji je vezan s lokalnim izvorima topline i toplinskim korisnicima.

Ukoliko je temperatura vrele vode u primarnom sistemu niža od projektne temperature u sekundarnom sistemu, tada u seriju vezani lokalni izvori dovode temperaturu vrele vode u sekundarnom sistemu na potrebnu vrijednost.

Osnovne pretpostavke za promatrani slučaj

Ogrjevni toplinski konzum u okviru kojeg se promatra korištenje topline iz nuklearne toplane uvjetno je uzet s vrijednosti 1 150 Gcal/h, a pretpostavljen je u toplinskom sistemu Zagreba. Od postojećih proizvodnih toplinskih jedinica u trenutku promatranja za eventualno korištenje nuklearne toplane pretpostavlja se da će biti u pogonu kondenzacijsko oduzimni toplifikacijski blok 120 MW, s oduzimanjem topline za ogrjevne korisnike od 174 Gcal/h, protutlačno oduzimni blok 30 MW, s oduzimanjem topline za ogrjevne korisnike od 40 Gcal/h, te pet vrelovodnih kotlova a 50 Gcal/h. Nuklearna toplana (NTO) pretpostavljena je s reaktorom PWR tipa. Nazivna električna snaga elektrane iznosi 900 MW. Korištenje elektrane kao toplane promatrano je u dvije osnovne varijante:

a) Električna snaga elektrane je promjenljiva ovisno o količini oduzimanja pare za toplinske korisnike, dok je učin generatora pare konstantan.

b) Elekrična snaga elektrane je konstantna i iznosi 900 MW na generatoru, a učin generatora pare varira o ovisnosti o količini oduzimanja pare za toplinske korisnike.

Količina oduzimanja pare za toplinske korisnike varirana je u području 300 do 900 Gcal/h. Ovisno u učešću toplinske snage oduzimanja u toplinskom sistemu određena je dodatna snaga vrelovodnih kotlova potrebna za zadovoljenje potrebe toplinskih korisnika. Sigurnost opskrbe toplinskih korisnika u svim varijantama je jednaka.

Promatran je elektroenergetski sistem SRH sa strukturom elektrana koji se očekuje u 1985. god.

Uspoređene varijante toplinske opskrbe, varijante iz nuklearne toplane uzete su alternativno:

a) K postojećim toplifikacijskim blokovima 120 MW_e i 30 MW_e, te vrelovodnim kotlovima 2 × 50 Gcal/h dodaje se potrebna snaga za zadanu sigurnost opskrbe toplinskih korisnika nove proizvodne jedinice vrelovodni kotlovi.

b) K postojećim toplifikacijskim blokovima i vrelovodnim kotolovima dodaje se 2 × 120 MW_e toplifikacijskog bloka, toplinske snage á 174 Gcal/h i vrelovodni kotlovi.

Sigurnost opskrbe toplinskih i električnih korisnika u toplinskom i elektroenergetskom sistemu u svim varijantama je jednaka.

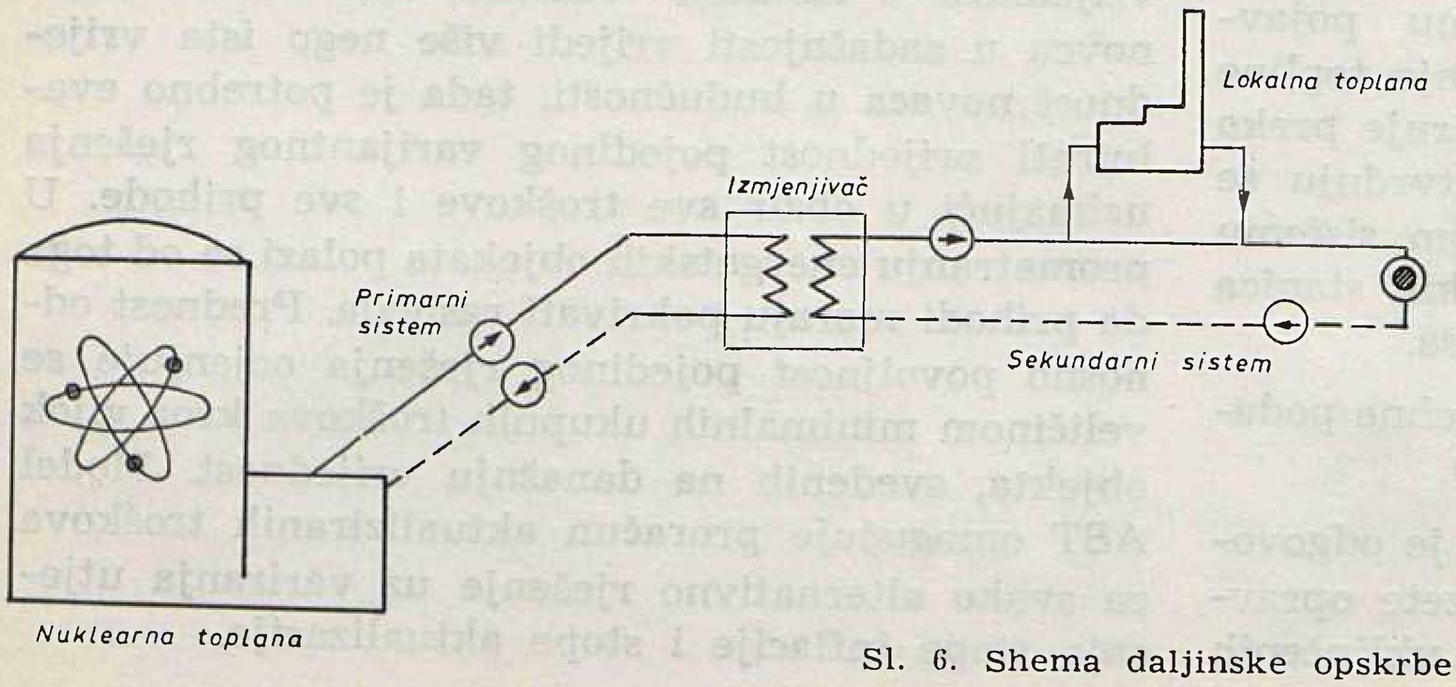
Promatrani su utjecaji različitih udaljenosti NTO od mjesta potrošnje.

Prijenos topline od nuklearne toplane (NTO) promatran je uz uvjete korištenja klasične tehnike izgradnje magistralnih vrelovoda izvedenih u dvocijevnoj izvedbi.

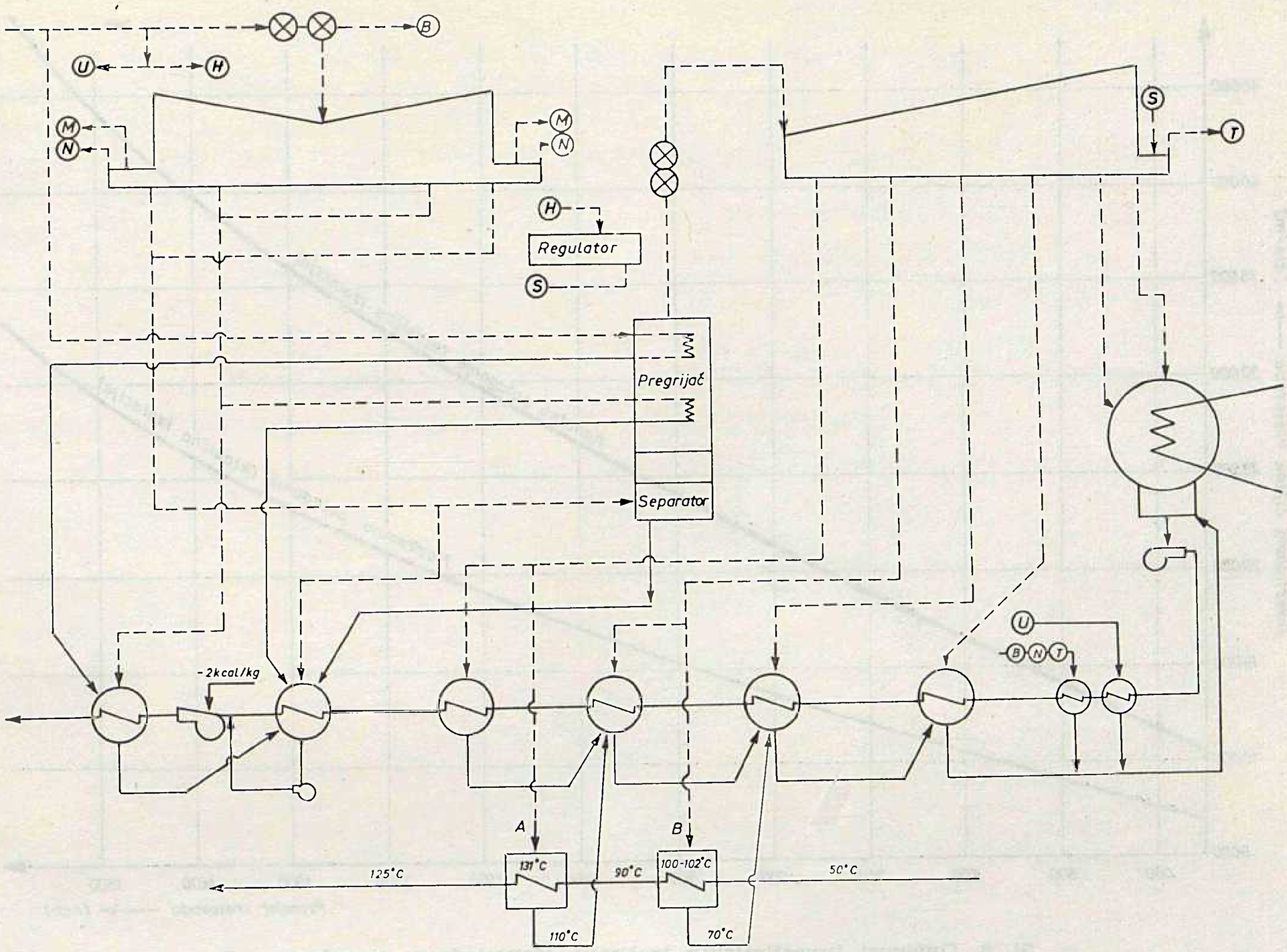
Kod klasične tehnike pretpostavljen je čelični cjevovod postavljen:

a) podzemno u betonske kanale

b) nadzemno na betonske stupove.



Sl. 6. Shema daljinske opskrbe toplinskih korisnika iz nuklearne toplane



Sl. 7. Shema turbinskog ciklusa sa zagrijačima za zagrijavanje vrele vode

Projektirana temperatura nositelja topline u sekundarnom sistemu (distributivna mreža) iznosi 150 °C. U primarnom sistemu projektirana temperatura nositelja topline u serijskoj shemi rada NTO s lokalnim toplanama može biti niža od projektirane temperature u sekundarnom sistemu. Kad spojnim procesom pokrivamo temeljno opterećenje s povećanjem temperature nositelja topline u primarnom sistemu smanjuje se protutlačna električna proizvodnja, ali se smanjuju investicijski troškovi transportnog sistema. Raskorak između želje za smanjenje investicijskih troškova i povećanja protutlačne proizvodnje el. energije naveo je na promatranje utjecaja polazne temperature u primarnom sistemu na ukupnu ekonomiju.

Razmatrane su slijedeće polazne temperature u primarnom sistemu: 165, 125 i 95 °C. Povratna temperatura uvjetno je uzeta s 50 °C. Osnovna shema turbinskog ciklusa i sistema za zagrijavanje vode u primarnom sistemu prikazana je na sl. 7.

Distributivna mreža neovisno o izgradnji NTO bit će izgrađena tako da zadovolji toplinske korisnike za ukupni pretpostavljeni konzum.

Prema pretpostavljenom, distributivna mreža nema utjecaja ni na jedno alternativno rješenje, pa je izostavljena iz razmatranja.

Investicijski troškovi

Kod usporedbe alternativnih rješenja pogodno je promatrati dodatno povećanje investicija u odnosu na osnovnu usporednu varijantu. U ovom je slučaju osnovna usporedna varijanta izgradnja nuklearne elektrane snage 900 MW u elektroenergetskom sistemu i vrelovodnih kotlova u toplinskom sistemu. U ovisnosti o rješenju NTO pojavljuju se slijedeće dodatne investicije zbog:

I. Električna snaga nuklearne elektrane je promjenljiva

a) vrelovodnih zagrijača u NTO

b) dodatnih cjevovoda sa armaturama NTO

c) povećanje cijene NT dijela turbine zbog toplifikacijskih oduzimanja

d) povećanje dijela cjevovoda

e) izmjenjivača toplina za izmjenu topline između primarnog i sekundarnog sistema u Zagrebu

f) transportnih cjevovoda i pumpne stanice.

II. Električna snaga nuklearne elektrane je konstantna neovisno o oduzimanju topline

U odnosu na varijantu I, pojavljuju se još ove dodatne investicije:

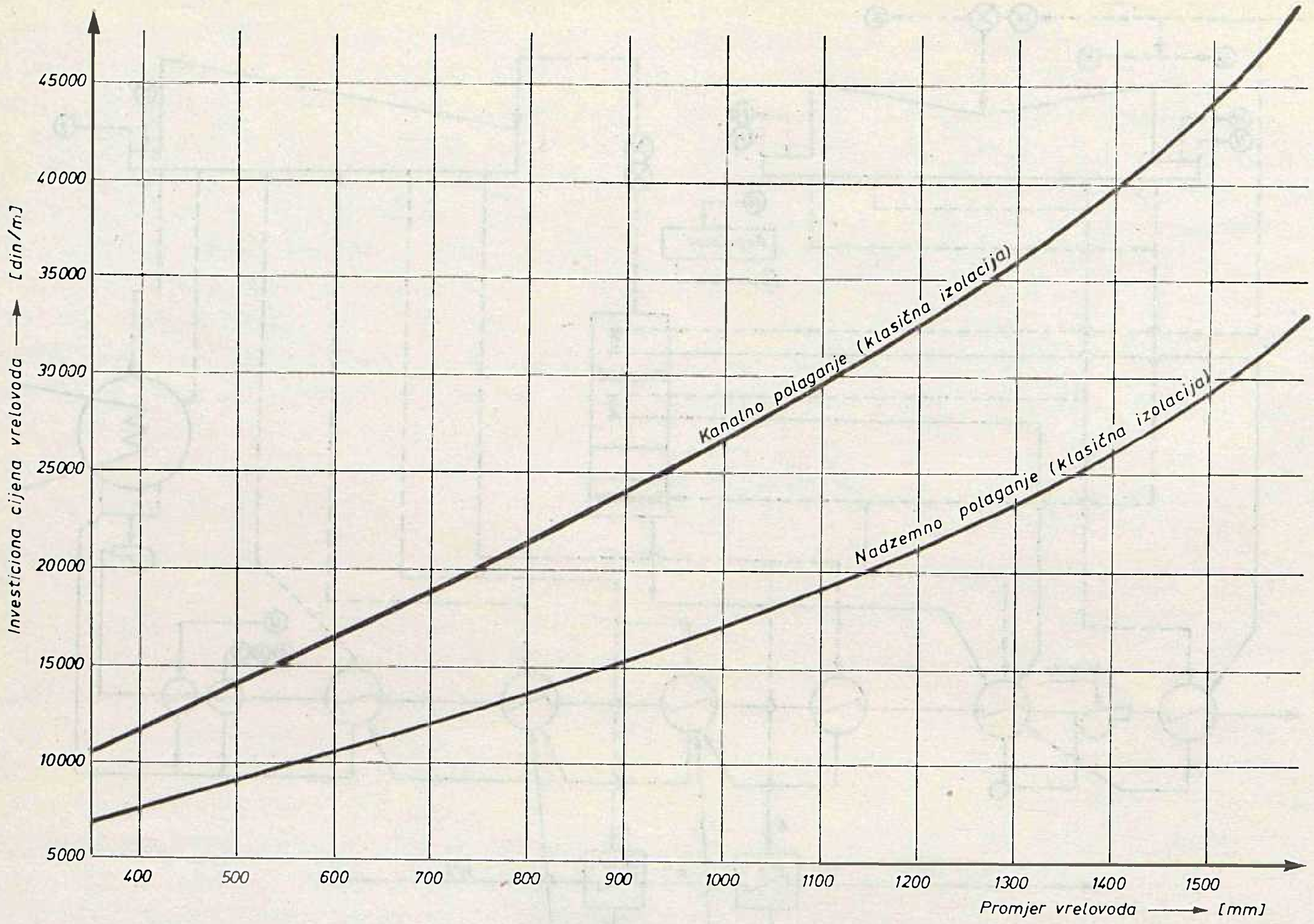
g) generatori pare i reaktor

h) visokotlačni dio turbine

i) zagrijači pojne vode

j) pumpe kondenzata i pumpe pojne vode.

Osnovna podloga za utvrđivanje investicijskih troškova za dodatnu opremu bili su investicijski podaci za NE Krško i podloge tvrtke Westinghouse.



Sl. 8. Ovisnost investicijskih troškova cjevovoda o promjeru

Troškovi transportnog cjevovoda jedna su od najznačajnijih stavki u ukupnim dodatnim investicijama. Na sl. 8. prikazana je ovisnost investicijskih troškova o promjeru cjevovoda.

Ukupni dodatni investicijski troškovi za promatrane varijante prikazani su u slijedećoj tablici. Investicije za transportni cjevovod utvrđene su za optimalni promjer, utvrđen modelom OSTIDO. Potrebna snaga proizvodnih jedinica izravnog procesa (vrelovodnih kotlova) utvrđena je modelom BILA 1.

Ukupni troškovi

Za konačno razmatranje, tj. utvrđivanje optimalnog rješenja, potrebno je poznavati stalne i promjenljive troškove. Promjenljive (troškove goriva) potrebno je utvrditi za prilike u toplinskom i elektroenergetskom sistemu. Troškovi goriva u ovisnosti su o proizvodnji hidroelektrana, pa je za energetsko-ekonomske analize potrebno promatrati hidrološke prilike u višegodišnjem periodu (u našem slučaju 40 god.). Primjenom računskih modela TOPBIL, BILA i TRGOTETO utvrđeni su troškovi

Varijanta br.	Temperaturni nivo u primarnom sistemu °C	Toplinska snaga oduzimanja Gcal/h	Dodatna toplinska snaga vrelovodnih kotlova u toplinskom sistemu Gcal/h	Električna snaga na generatoru MW	Toplinska snaga na genratoru MWt	Specifična proizv. el. energ. po jedinici oduzete topline kWh/Gcal	Optimalni promjer transportnog cjevovoda mm	Povećane investicije u odnosu na osnovnu varijantu (10^6 din)					
								kanalno polaganje dulj. 20 km	nadzemno polaganje dulj. 20 km	kanalno polaganje dulj. 30 km	nadzemno polaganje dulj. 30 km	kanalno polaganje dulj. 60 km	nadzemno polaganje dulj. 60 km
1	165/50	900	2 00	900	3260	155	1300	1633,6	1513,6	1928,6	1784,6	2836,6	2453,6
2	165/50	700	2 00	900	3103	155	1300	1368,0	1158,0	1579,0	1348,0	2400,1	1918,0
3	165/50		2 00	900	2980	155	1300	936,0		1150,0	965,5	1809,0	1423,0
4	125/50	700	2 00	900	3012	220	1300	1290,4	1110,4	1615,4	1345,4	2615,3	2050,4
5	125/50	500	2 00	900	2891	220	1100	936,0	809,0	1230,0	999,0	2052,0	1944,4
6	125/50	300	4 00	900	2752	220	1100	707,1	584,2	921,1	736,6	1579,4	1179,2
7	95/50	500	2 00	900	2849	270	1100	1189,3	981,4	1586,8	1274,8	2806,5	2155,4
8	95/50	300	4 00	900	2703	270	1100	755,5	601,6	1022,5	791,8	1844,5	1361,6
9	165/50	900	2 00	614	2548,6	155	1100	473,9	354,0	868,9	688,9	1676,7	1294,0
10	165/50	700	2 00	679	2548,6	155	900	407,8	253,8	774,8	543,8	1495,9	1013,8
11	165/50	500	2 00	745	2548,6	155	900	290,8	167,8	604,8	420,3	1163,8	777,8
12	125/50	700	2 00	747	2548,6	220	900	541,2	361,2	966,2	696,2	1866,1	1301,2
13	125/50	500	2 00	806	2548,6	220	900	410,6	256,6	777,6	546,6	1499,6	1016,6
14	125/50	300	4 00	853	2548,6	220	900	381,8	258,8	695,8	511,3	1254,1	868,8
15	95/50	500	2 00	818	2548,6	270	1500	708,9	501,0	1206,4	894,4	2325,6	1675,0
16	95/50	300	4 00	867	2548,6	270	1500	510,4	356,4	877,4	646,4	1599,4	1116,4
17	—	—	6 00	900	2548,6	—	—	—			—		

goriva u elektroenergetskom i toplinskom sistemu za sve usporedne varijante. Zbog različitih investicijskih troškova i troškova goriva u pojedinim varijantama pojavljuju se različiti ukupni troškovi. Vremensko promatranje uzeto je 25 godina što odgovara vijeku trajanja nuklearne toplane. Ukupni troškovi kroz 25-godišnji period svedeni su na današnju vrijednost. Proračuni su izvedeni u dvije varijante vrijednosti stope inflacije i stope aktualizacije.

a) stopa inflacije 5%, stopa aktualizacije 7%

b) stopa inflacije 10%, stopa aktualizacije 12%

Pretpostavljeni su ovi kreditni uvjeti:

a) za domaće kredite

— kamatna stopa 7%

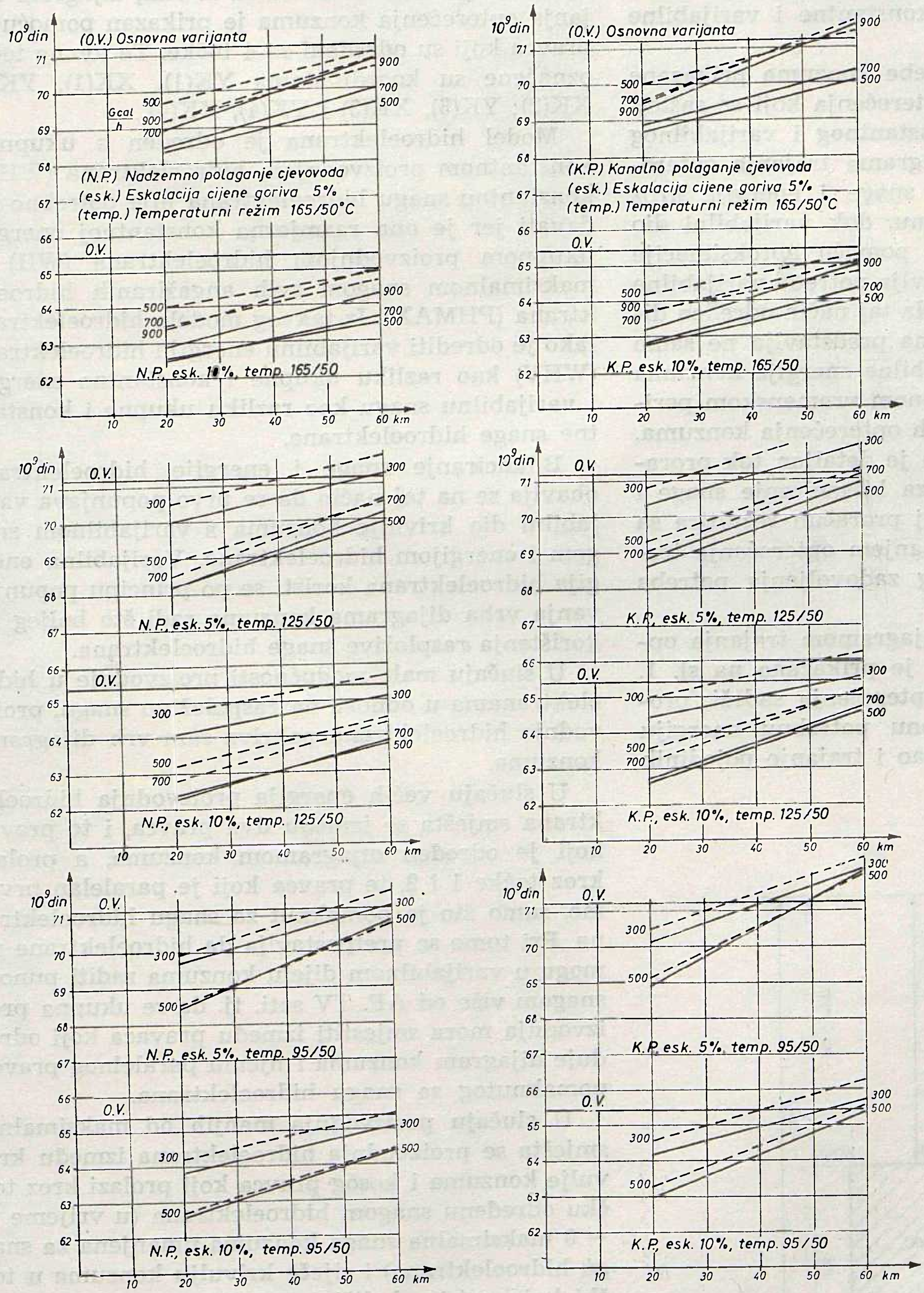
— rok vraćanja kredita 15 god.

b) za inozemne kredite

— kamatna stopa 9,25%

— rok vraćanja kredita 10 godina.

Rezultati aktualiziranih vrijednosti ukupnih troškova za sve promatrane varijante prikazani su na dijagramu sl. 9.



Sl. 9.

Naslov pisca:

Dr Duško Čorak, dipl. ing.

Institut za elektroprivredu u Zagrebu

PRIKAZ POBOLJŠANE METODE KONSTANTNE I VARIJABILNE ENERGIJE ZA ANALIZU PRILIKA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Boris Kalan, Zagreb

Prikazana je poboljšana metoda konstantne i varijabilne energije za analzu prilika u elektroenergetskom sistemu prilagođena proračunu na elktroničkom računalu. Poboljšanja se odnose na točnije određivanje potrebne snage i proizvodnje termoelektrana, ukupnih troškova goriva, kao i na dodatna ograničenja za vrijeme rada termoelektrana u toku velikih opterećenja.

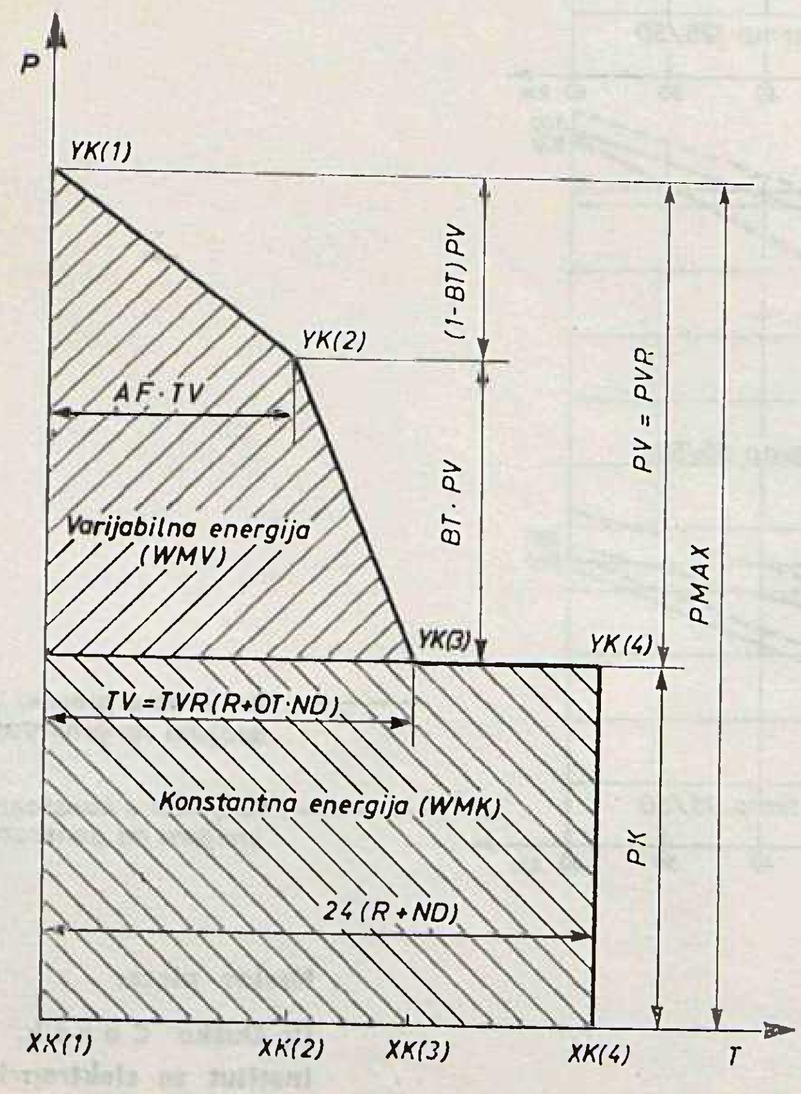
DK 621.31.001 : 621.311.1

Za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu, razvijena je metoda konstantne i varijabilne energije (L. 1).

Prema toj metodi, potrebe konzuma prikazane su dijagramom trajanja opterećenja koji se sastoji od dva dijela, i to od konstantnog i varijabilnog dijela. Konstantni dio dijagrama trajanja opterećenja predstavlja potrebe snage i energije kroz svih 24 sata u jednom danu, dok varijabilni dio dijagrama, koji je izveden pomoću aproksimacije sa tri pravca (L. 1), predstavlja potrebe varijabilne energije i snage konzuma. Na taj način određen dijagram opterećenja konzuma predstavlja ne samo potrebe konstantne i varijabilne energije konzuma te potrebne snage u određenom vremenskom periodu, već i trajanje pojedinih opterećenja konzuma.

U ovom članku prikazan je detaljan tok proračuna, s dijagramom toka, za bilanciranje snage i energije hidroelektrana. Taj proračun rezultira sa potrebnom energijom i trajanjem opterećenja termoelektrana radi potpunog zadovoljenja potreba konzuma.

Konzum je prikazan s dijagramom trajanja opterećenja (L1, L2), kao što je prikazano na sl. 1. Takav dijagram trajanja opterećenja sadrži, proporcionalno površini, ukupnu potrebnu energiju za zadovoljenje konzuma, kao i trajanje pojedinih opterećenja. Kao što se na sl. 1. vidi, dijagram trajanja opterećenja konzuma je prikazan pomoću tri pravca koji su određeni sa 4 točke. Te lomne točke označene su koordinatama YK(1), XK(1), YK(2), XK(2); YK(3), XK(3) i YK(4), XK(4).



Sl. 1. Aproksimacija tjednog dijagrama opterećenja

Model hidroelektrana je određen s ukupnom konstantnom proizvodnjom hidroelektrana (WHK), konstantnu snagu hidroelektrana nije potrebno zadavati jer je ona razmjerna konstantnoj energiji, ukupnom proizvodnjom hidroelektrana (WH) te maksimalnom snagom svih angažiranih hidroelektrana (PHMAX). Iz takvog modela hidroelektrana lako je odrediti varijabilnu energiju hidroelektrana (WHV) kao razliku ukupne i konstantne energije i varijabilnu snagu kao razliku ukupne i konstantne snage hidroelektrana.

Bilanciranje snage i energije hidroelektrana obavlja se na taj način da se prvo popunjava varijabilni dio krivulje konzuma s varijabilnom snagom i energijom hidroelektrana. Varijabilna energija hidroelektrana koristi se po principu popunjavanja vrha dijagrama konzuma radi što boljeg iskorištenja raspložive snage hidroelektrana.

U slučaju male mogućnosti proizvodnje u hidro elektranama u odnosu na raspoloživu snagu, proizvodnja hidroelektrana pokriva sam vrh dijagrama konzuma.

U slučaju većih energija proizvodnja hidroelektrana smješta se između dva pravca, i to pravca koji je određen dijagramom konzuma, a prolazi kroz točke 1 i 2, te pravca koji je paralelan prvome, samo što je pomaknut za snagu hidroelektrana. Pri tome se pretpostavlja da hidroelektrane ne mogu u varijabilnom dijelu konzuma raditi punom snagom više od AF. TV sati, tj. da se ukupna proizvodnja mora smjestiti između pravaca koji određuje dijagram konzuma i njemu paralelnog pravca pomaknutog za snagu hidroelektrana.

U slučaju proizvodnja manjih od maksimalne, smješta se proizvodnja hidroelektrana između krivulje konzuma i kosog pravca koji prolazi kroz točku određenu snagom hidroelektrana (u vrijeme T = 0 maksimalna snaga konzuma umanjena za snagu hidroelektrana) i siječe krivulju konzuma u točki koja ovisi o količini energije.

Budući da se može dogoditi da varijabilna energija hidroelektrana bude veća od one koja se može smjestiti u varijabilni dio dijagrama konzuma, potrebno je dio te energije prebaciti u konstantnu

proizvodnju kako ne bi došlo do preljeva. Za to prebacivanje potrebno je angažirati dodatnu varijabilnu snagu termoelektrana (L1). Određivanje te potrebne snage termoelektrana nije izvedeno iteracionim postupkom kao u (L1), već geometrijskim putem, kao što je opisano u slijedećoj točki.

Smještanjem proizvodnje hidroelektrana između kosih pravaca uspjelo se postići da angažirana snaga hidroelektrana u nijednom trenutku trajanja opterećenja ne bude veća od maksimalno raspoložive, pa je potrebna snaga iz termoelektrana, koja se određuje u vrijeme T = 0, određena s potpunom sigurnošću.

2. DIJAGRAM TOKA ZA BILANCIRANJE SNAGE I ENERGIJE HIDROELEKTRANA

Dijagram toka proračuna za bilanciranje snage i energije hidroelektrana nalazi se na sl. 18, dok su pojedini slučajevi mogućih proizvodnji hidroelektrana prikazani na slikama od 2. do 16.

U dijagramu toka i u ovom opisu koriste se, radi jednostavnijeg prikaza, pojedine funkcije (PO, XE, XF, XG, YF) kojih je detaljan opis i izvod naveden u Dodatku.

Polazi se od dijagrama trajanja opterećenja konzuma u koji se smješta proizvodnja hidroelektrana. Iz energetskih karakteristika hidroelektrana određuje se varijabilna energija iz izraza

$$WHV = WH - WHK, \tag{2.1}$$

dok se varijabilna snaga hidroelektrana određuje iz izraza

$$PHV = PHMAX - \frac{WHK}{TKON}. \tag{2.2}$$

Prema dijagramu toka na sl. 18., u izrazu 001, određuje se ordinata na krivulji konzuma (YH) koja odgovara maksimalnoj angažiranoj varijabilnoj snazi hidroelektrana prema izrazu:

$$YH = YK\,(1) - PHV. \tag{2.3}$$

Zatim se u 002 i 003 ispituje da li je varijabilna snaga hidroelektrana veća od varijabilne snage konzuma i je li energije hidroelektrana veća od potrebne varijabilne energije konzuma, tj. provjerava se da li su zadovoljene nejednakosti

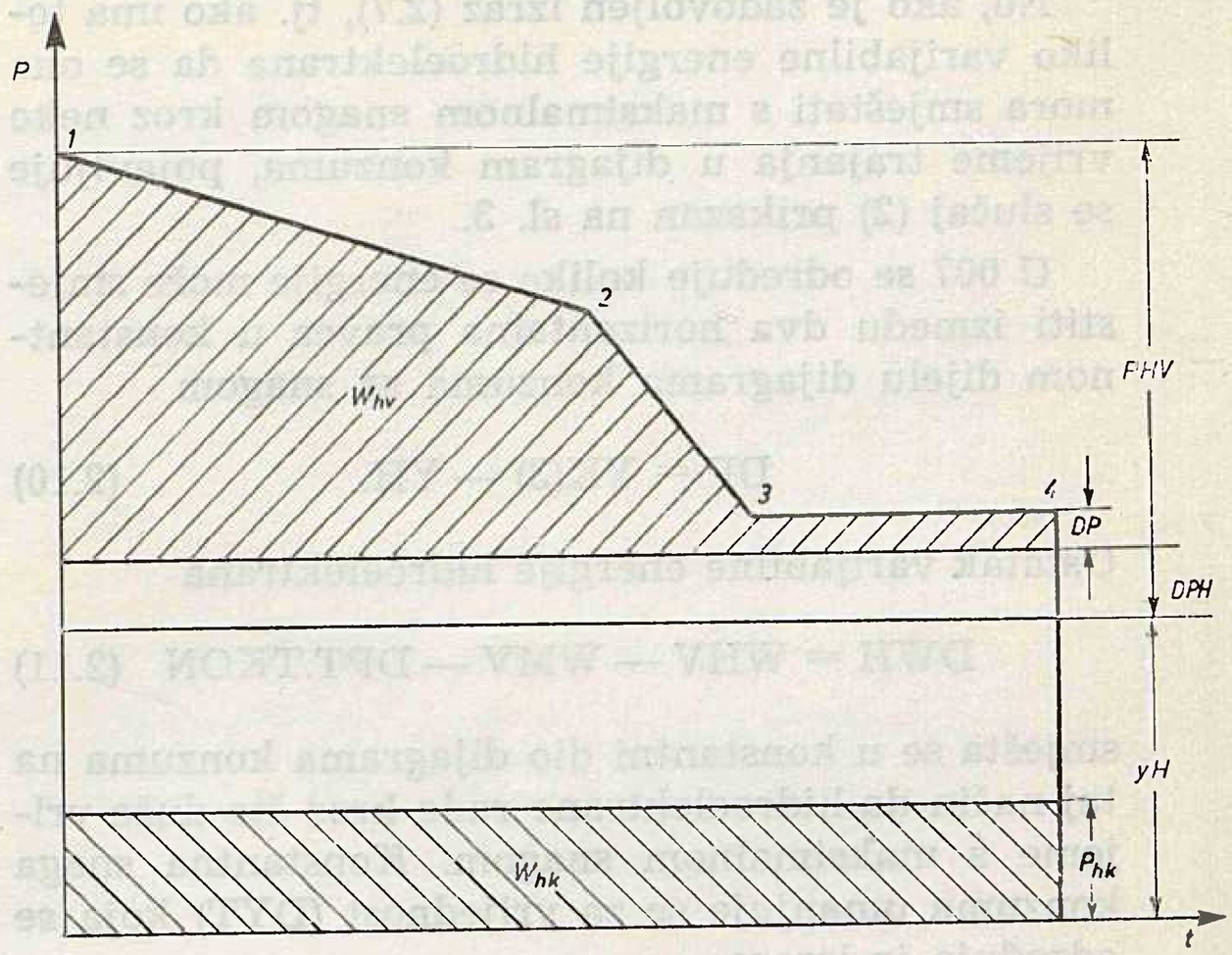
$$YH > YK\,(3) \tag{2.4}$$

$$WMV > WHV. \tag{2.5}$$

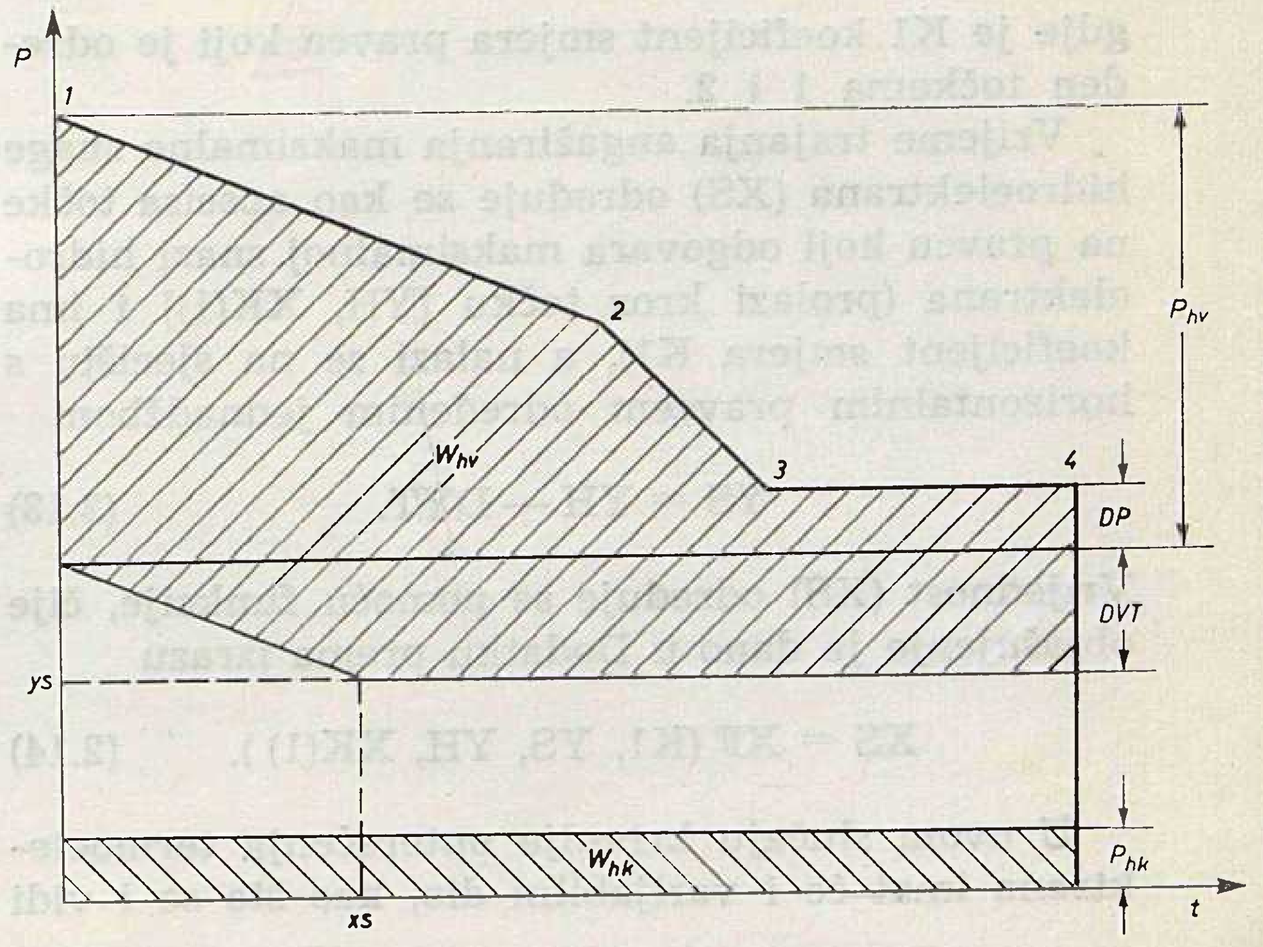
Ako postoji višak varijabilne snage i energije hidroelektrana, tada se pojavljuju slučajevi (1) i (2) prikazani na sl. 2. i 3.

U 004 određuje se koliko je potrebna snaga za smještanje viška energije hidroelektrana u konstantni dio dijagrama, i to prema izrazu

$$DP = (WHV - WMV)/TKON. \tag{2.6}$$



Sl. 2. Primjer bilnace za slučaj (1)



Sl. 3. Primjer bilance za slučaj (2)

Pošto je zadovoljena varijabilna potreba konzuma, nema potrebe da termoelektrane proizvode varijabilnu energiju. U 005 se provjerava je li snaga DP veća od viška varijabilne snage

$$DP > YK(3) - YH \tag{2.7}$$

i ako uvjet (2.7) nije ispunjen, tada se javlja slučaj (1) koji je prikazan na sl. 2. U tom se slučaju javlja dio neiskorištene snage hidroelektrana:

$$DPH = YK(3) - YH - DPT, \tag{2.8}$$

a dijagram opterećenja termoelektrana prikazan je horizontalnim pravcem. Radi daljih potreba računanja uzima se da je broj točaka u varijabilnom dijelu krivulje jednak

$$IV = 1. \tag{2.9}$$

No, ako je zadovoljen izraz (2.7), tj. ako ima toliko varijabilne energije hidroelektrana da se ona mora smještati s maksimalnom snagom kroz neko vrijeme trajanja u dijagram konzuma, pojavljuje se slučaj (2) prikazan na sl. 3.

U 007 se određuje koliko se energije može smjestiti između dva horizontalna pravca u konstantnom dijelu dijagrama konzuma sa snagom

$$DP = YK(3) - YH. \quad (2.10)$$

Ostatak varijabilne energije hidroelektrana

$$DWH = WHV - WMV - DPT.TKON \quad (2.11)$$

smješta se u konstantni dio dijagrama konzuma na taj način da hidroelektrane rade kroz što duže vrijeme s maksimalnom snagom. Konstantna snaga konzuma umanjuje se za vrijednost (DYT) koja se određuje iz izraza

$$DYT = -K1.TKON - \sqrt{(K1.TKON)^2 + 2K1.DWH}, \quad (2,12)$$

gdje je K1 koeficijent smjera pravca koji je određen točkama 1 i 2.

Vrijeme trajanja angažiranja maksimalne snage hidroelektrana (XS) određuje se kao apscisa točke na pravcu koji odgovara maksimalnoj snazi hidroelektrana (prolazi kroz točku [YH, XK(1)] i ima koeficijent smjera K1), a nalazi se na sjecištu s horizontalnim pravcem određenim jednadžbom

$$YS = YH - DYT. \quad (2.13)$$

Vrijednost (XS) određuje se pomoću funkcije, čije objašnjenje je dano u Dodatku prema izrazu

$$XS = XF(K1, YS, YH, XK(1)). \quad (2.14)$$

U ovom slučaju krivulja opterećenja termoelektrana imat će i varijabilni dio, kao što se i vidi na sl. 3. pa se određuje broj točaka u varijabilnom dijelu te krivulje

$$IV = 2, \quad (2.15)$$

a konstantna snaga termoelektrana, zbog viška varijabilne energije hidroelektrana, smanjuje se za ukupnu snagu (DP) prema izrazu

$$DP = DP + DYT. \quad (2.16)$$

U slučaju da su ispunjene nejednadžbe u izrazima 002 i 003, tj. da je varijabilna snaga hidroelektrana manja od varijabilne snage konzuma ili da je varijabilna energija hidroelektrana manja od varijabilne energije konzuma, vrši se ispitivanje da li je varijabilna snaga hidroelektrana veća od snage (1 — BT) PV prema sl. 1., tj. provjerava se zadovoljenje nejednakosti

$$YH < YK(2). \quad (2.17)$$

Ako nije ispunjena nejednadžba (2.17), pojavljuju se slučajevi od (3) do (10) koji su prikazani na slikama od broja 4 do broja 12.

Slučaj (3), koji je prikazan na sl. 4., pojavljuje se ako je varijabilna energija hidroelektrana (WHV) manja od energije (WA) kojom se može prekriti vrh dijagrama konzuma s snagom angažiranja PHV. Potrebna energija za pokrivanje vrha dijagrama konzuma određuje se kao površina trokuta koji se dobije ako se vrh dijagrama siječe horizontalnim pravcem na visini YH (2.3). U 009 se određuje sjecište (XS) dijagrama konzuma opisanog horizontalnog pravca prema izrazu

$$XS = XF(K1, YH, YK(2), XK(2)). \quad (2.18)$$

Potrebna energija se određuje kao površina trokuta određenog sa tri točke, a prema izrazu:

$$WA = PO(XK(1), XS, XK(1), YH, YH, YK(1)). \quad (2.19)$$

Ako nije ispunjena nejednakost. u 010 javlja se slučaj (3). Koordinate sjecišta koje odgovara angažiranoj snazi hidroelektrana određuju se iz izraza

$$YS = YK(1) - \sqrt{2.WHV.|K1|} \quad (2.20)$$

$$XS = XF(K1, YS, YK(2), XK(2)). \quad (2.21)$$

U tom se slučaju javlja i neiskorištena snaga hidroelektrana

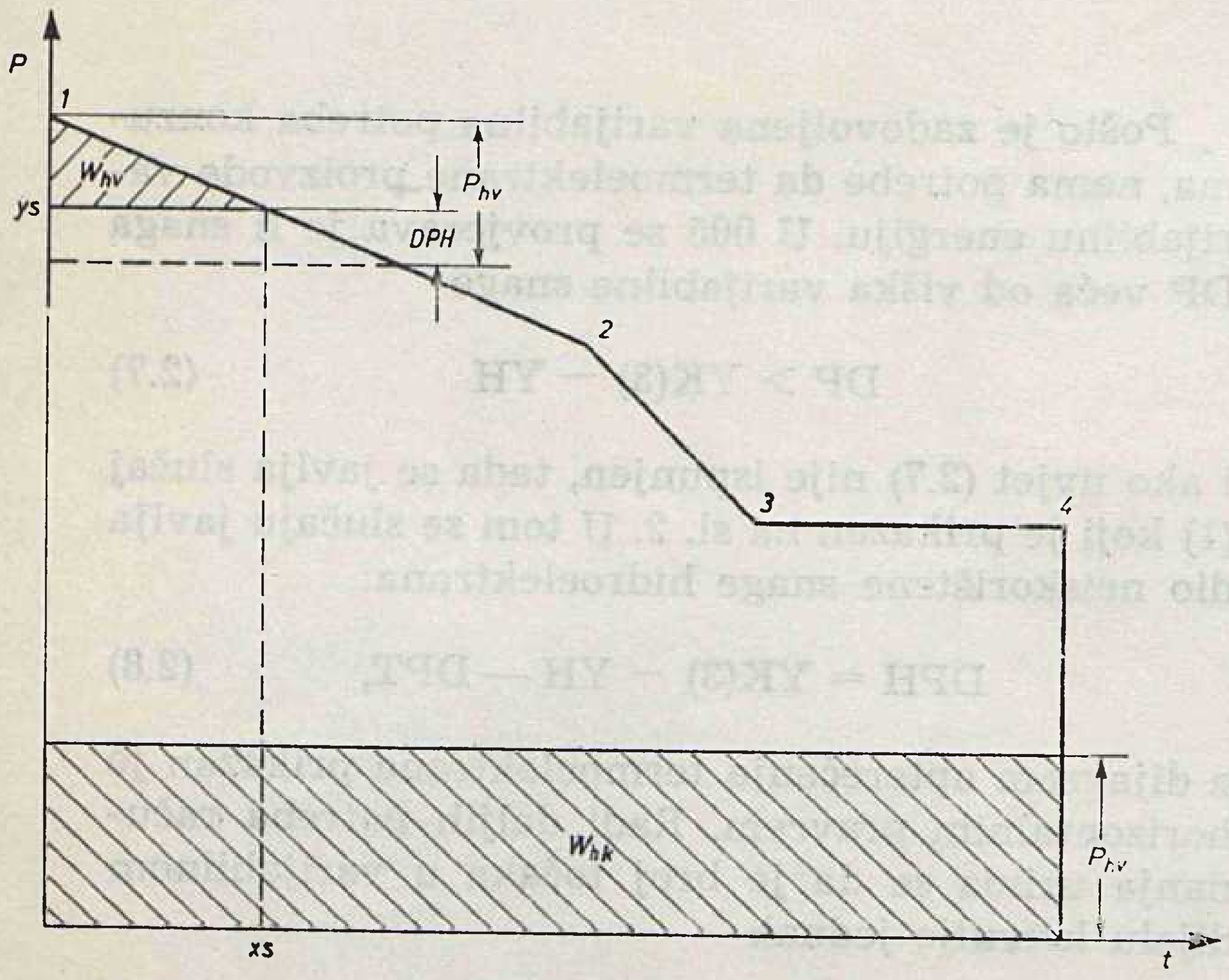
$$DPH = YS - YH, \quad (2.22)$$

dok je varijabilni dio dijagrama opterećenja određen sa tri pravca, pa je broj točaka u varijablnom dijelu krivulje

$$IV = 4. \quad (2.23)$$

Ako je ispunjena nejednadžba u 010, tj. ako je varijabilna energija hidroelektrana veća od potrebne energije WA (2.19), u 012 se računa ostatak varijabilne energije.

Određuje se energija koja se može smjestiti u dijagram opterećenja između točaka [XK(1), YH];



Sl. 4. Primjer bilance za slučaj (3)

[XK(2), YK(2)]; [XS, YH], gdje je XS određen prema (2.18), prema izrazu

$$WA = PO\,(XK(1), XK(2), XS, YH, YK(2), YH) \qquad (2.24)$$

Slučaj (4), prikazan na sl. 5., javlja se ako nije ispunjena nejednakost u 013, tj. ako je ostatak varijabilne energije hidroelektrana manji od potrebne energije WA (2.24).

Koordinate sjecišta (XS, YS) određuju se iz izraza

$$XS = XE\,(WHE, K1, XK(1), XS, YH, YH) \qquad (2.25)$$

$$YS = YF\,(K1, XS, YK(2), XK(2)\,). \qquad (2.26)$$

Varijabilni dio dijagrama opterećenja termoelektrana određen je sa tri pravca pa je broj točaka u varijabilnom dijelu krivulje

$$IV = 4. \qquad (2.27)$$

Ako je ispunjena nejednakost u 013, tada se u 015 računa ostatak varijabilne energije

$$WHV = WHV - WA, \qquad (2.28)$$

gdje su WHV i WA na desnoj strani izraza određeni u 012. U slijedećem se koraku traži apscisa sjecišta pravca koji odgovara maksimalnoj angažiranoj snazi hidroelektrana (prolazi kroz točku [XK(1), YH] i ima koeficijent smjera (K1), i pravca koji određuje strmiji dio varijabilnog dijela dijagrama konzuma (prolazi kroz točku [XK(2), YK(2)] i ima koeficijent smjera K2). Sjecište (XS) se određuje iz izraza

$$XS = XG\,(K1, K2, XK(1), XK(2), YH, YK(2)\,). \qquad (2.29)$$

U 016 se ispituje je li vrijednost XS veća od vremena trajanja varijabilne snage konzuma (TV), tj. da li je ispunjena nejednadžba

$$XS > XK(3). \qquad (2.30)$$

Ako nejednakost u 016 nije ispunjena, tada se u 017 računa ordinata sjecišta gore opisanih pravaca

$$YS = YF\,(K2, XS, YK(2), XK(2)\,) \qquad (2.31)$$

i potrebna energija za popunjenje tog dijela dijagrama konzuma

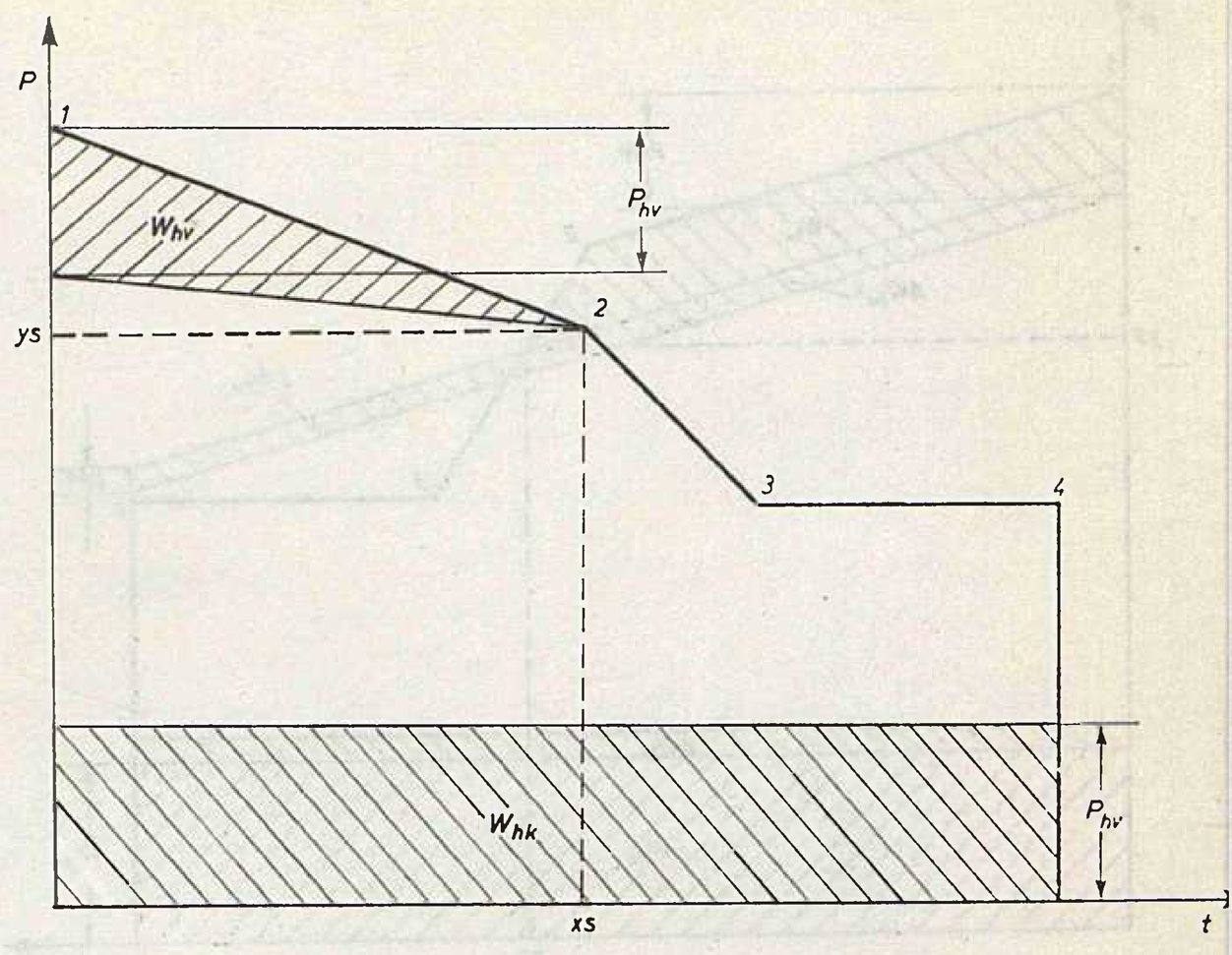
$$WA = PO\,(XK(1), XS, X2, YH, YS, Y2). \qquad (2.32)$$

U 018 se provjerava je li ostatak varijabilne energije hidroelektrana veći od potrebne energije WA (2.32). Ako nejednakost u 018 nije ispunjena, tada se pojavljuje slučaj (5) koji je prikazan na sl. 7.

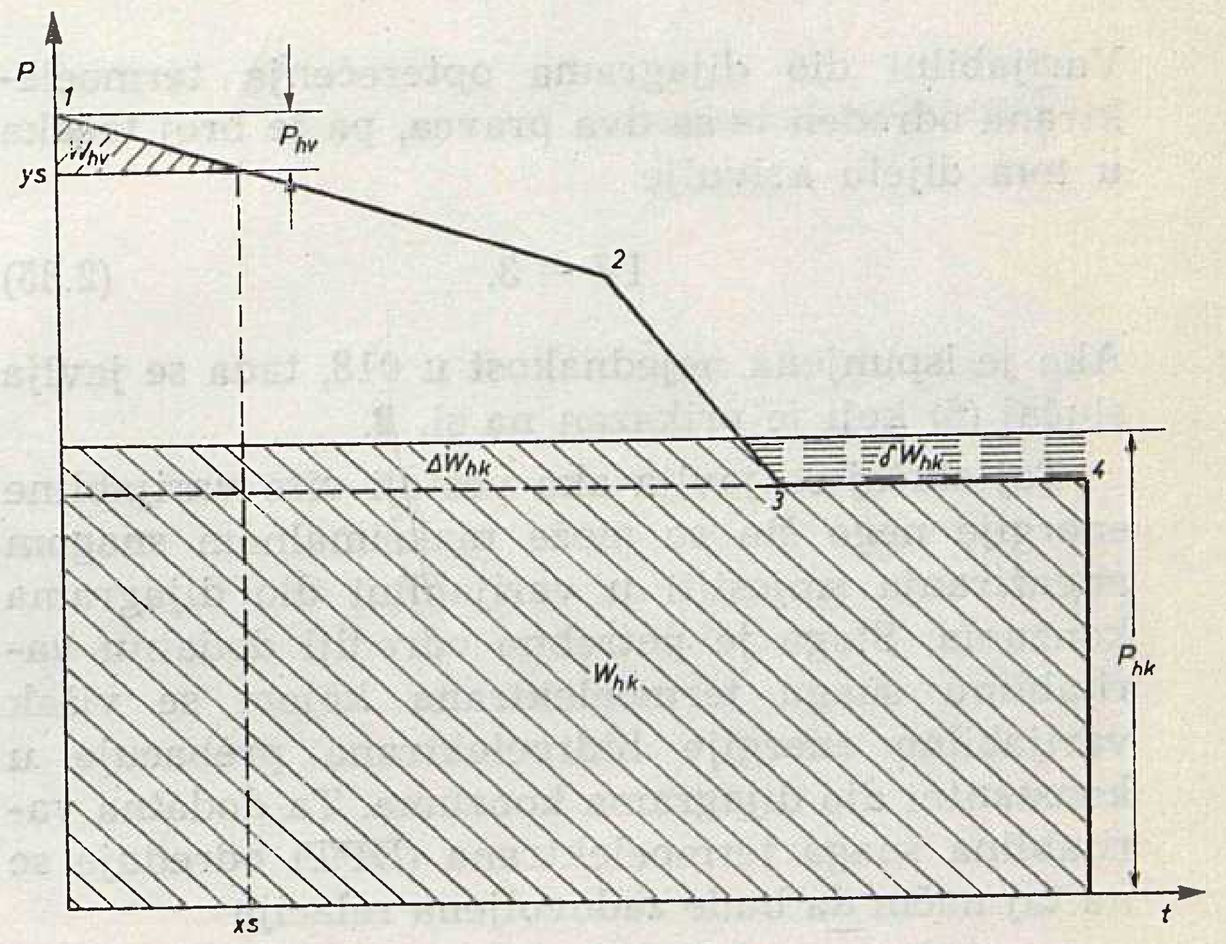
U 019 se računaju koordinate sjecišta prema izrazima

$$XS = XE\,(WHV, K2\ X2, XK(1), X2, YH, Y2) \qquad (2.33)$$

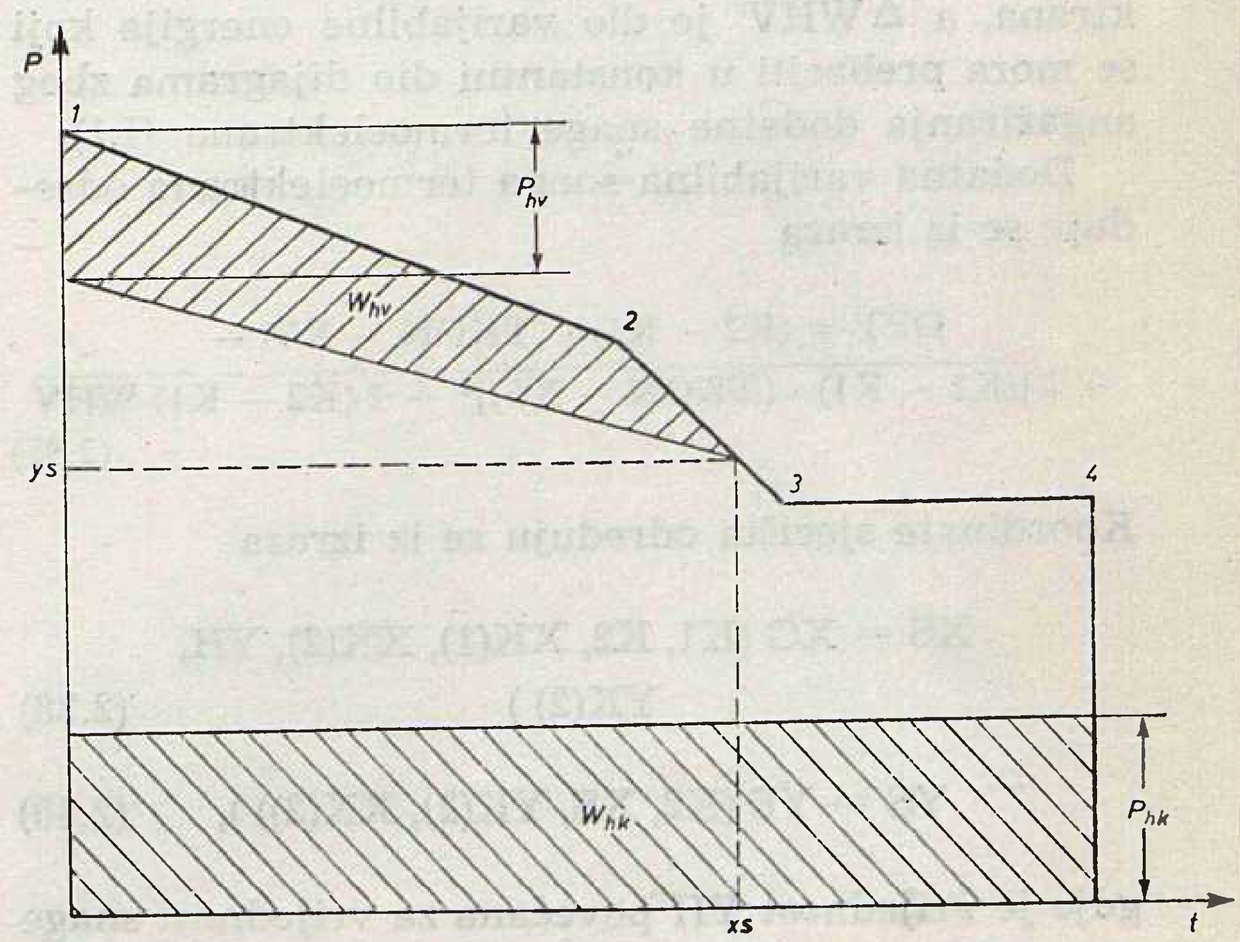
$$YS = YF\,(K2, XS, YK(2), XK(2)\,). \qquad (2.34)$$



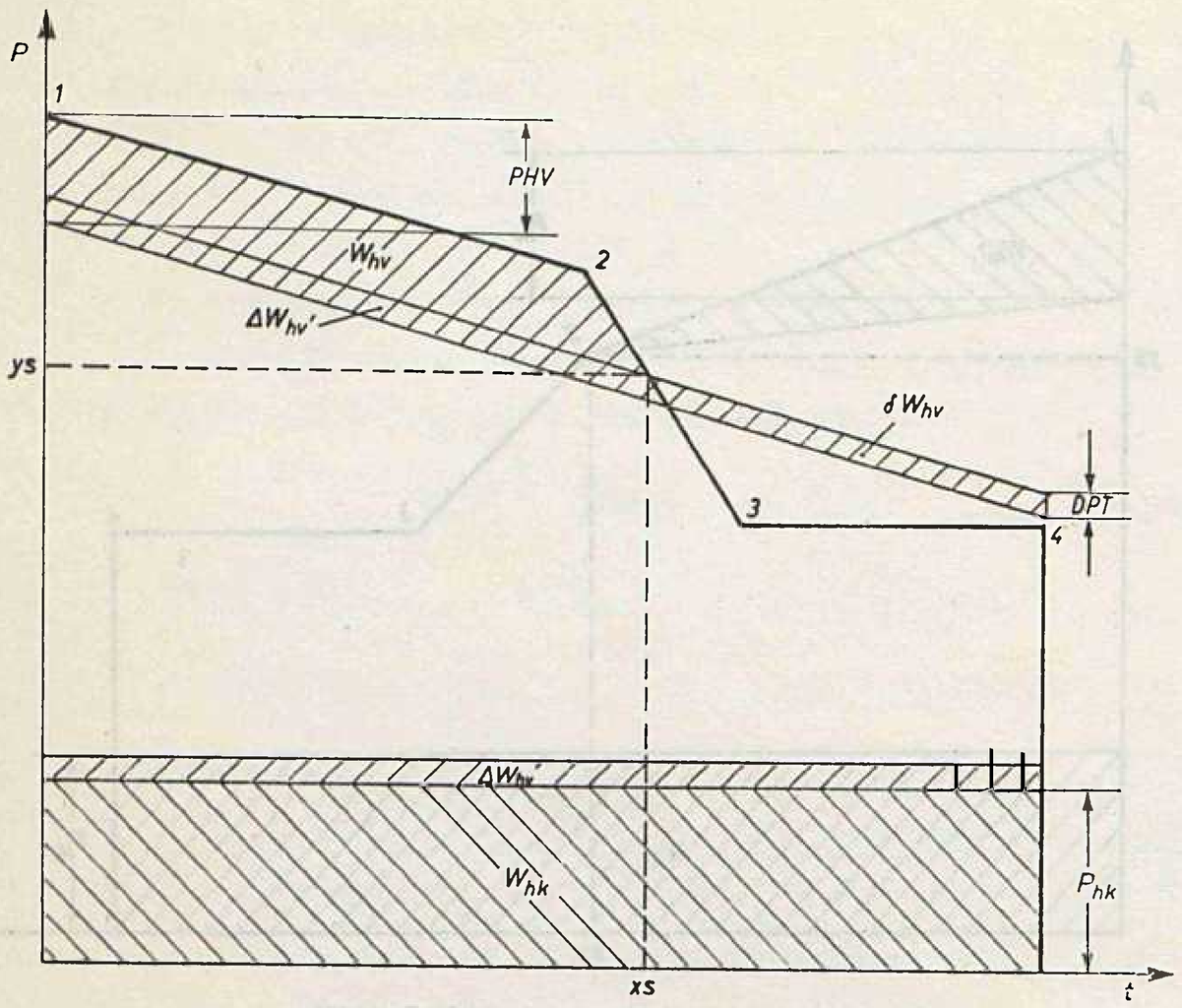
Sl. 5. Primjer bilance za slučaj (4)



Sl. 6. Primjer bilance za slučaj (4) sa velikom konstantnom hidroenergijom



Sl. 7. Primjer bilance za slučaj (5)



Sl. 8. Primjer bilance za slučaj (6)

Varijabilni dio dijagrama opterećenja termoelektrana određen je sa dva pravca, pa je broj točaka u tom dijelu krivulje

$$IV = 3. \tag{2.35}$$

Ako je ispunjena nejednakost u 018, tada se javlja slučaj (6) koji je prikazan na sl. 8.

Taj slučaj se javlja ako postoji više varijabilne energije nego što se može maksimalnom snagom angažiranja smjestiti u varijabilni dio dijagrama konzuma. Stoga je potrebno odrediti dodatnu varijabilnu snagu termoelektrana kojom se višak varijabilne energije hidroelektrana prebacuje u konstantni dio dijagrama konzuma. Ta dodatna varijablina snaga termoelektrana (DPT) određuje se na taj način da bude zadovoljena relacija

$$\delta WHV + \Delta WHV' = DPT.TKON, \tag{2.36}$$

gdje je δWHV višak varijabilne energije hidroelektrana, a ΔWHV' je dio varijabilne energije koji se mora prebaciti u konstantni dio dijagrama zbog angažiranja dodatne snage termoelektrana (L1).

Dodatna varijabilna snaga termoelektrana određuje se iz izraza

$$DPT = (K2 - K1) \cdot (TKON - XS) - \sqrt{[(K2 - K1) \cdot (TKON - XS)]^2 - 2\,(K2 - K1)\,WHV} \tag{2.37}$$

Koordinate sjecišta određuju se iz izraza

$$XS = XG\,(K1, K2, XK(1), XK(2), YH, YK(2)) \tag{2.38}$$

$$YS = YF\,(K2, XS, YK(2), XK(2))), \tag{2.40}$$

gdje je vrijednost YH povećana za vrijednost snage termoelektrana DPT.

Varijabilni dio dijagrama termoelektrana određen je sa dva pravca pa je broj točaka u tom dijelu krivulje

$$IV = 3. \tag{2.41}$$

Ako je ispunjena nejednakost u 016, tada se u 021 računa sjecište pravca koji odgovara maksimalnoj angažiranoj snazi hidroelektrana i horizontalnog pravca koji određuje konstantni dio krivulje konzuma. Sjecište XS određuje se iz izraza

$$XS = XG\,(K1, O., XK(1), XK(2), YH, YK(3)). \tag{2.42}$$

U slijedećem koraku računa se potrebna energija za popunjenje tog dijela dijagrama. Ako je angažirana maksimalna snaga hidroelektrana, proračun se vrši prema izrazu

$$WA = PO\,(XK(1), XS, X2, YH, YK(3), Y2) + PO\,(XS, XK(3), X2, YK(3), YK(3), Y2). \tag{2.43}$$

U 022 provjerava se je li ostatak energije hidroelektrana veći od potrebne energije WA. Ako nejednadžba u 022 nije ispunjena, tada se može pojaviti slučaj (7) ili (8). U 023 se određuje energija prema izrazu

$$WA = PO\,(XK(1), XK(3), X2, YH, YK(3), Y2), \tag{2.44}$$

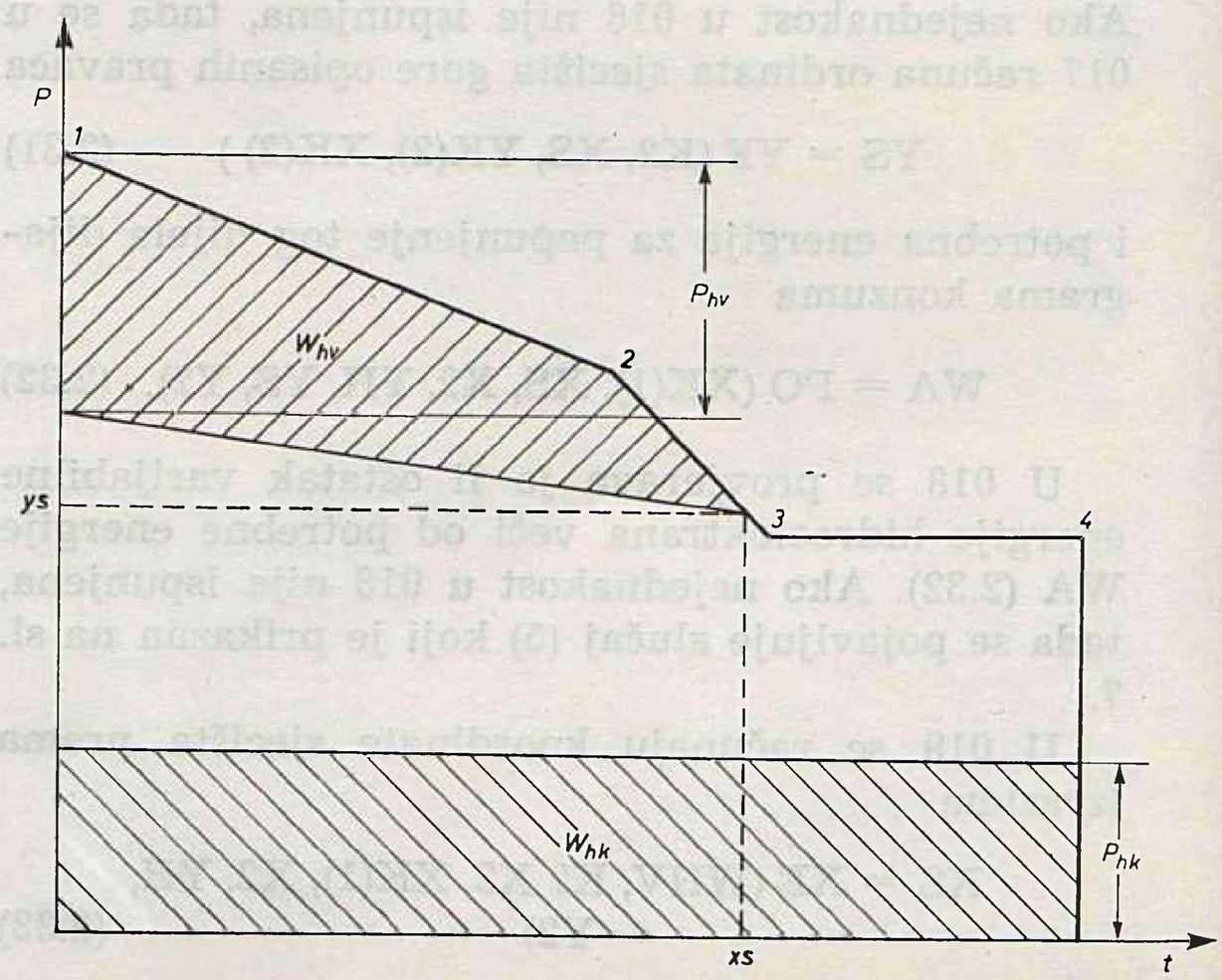
koja služi za određivanje koji se slučaj javlja, što se vrši u 024.

Ako nejednakost u 024 nije ispunjena, javlja se slučaj (7) koji je prikazan na sl. 9.

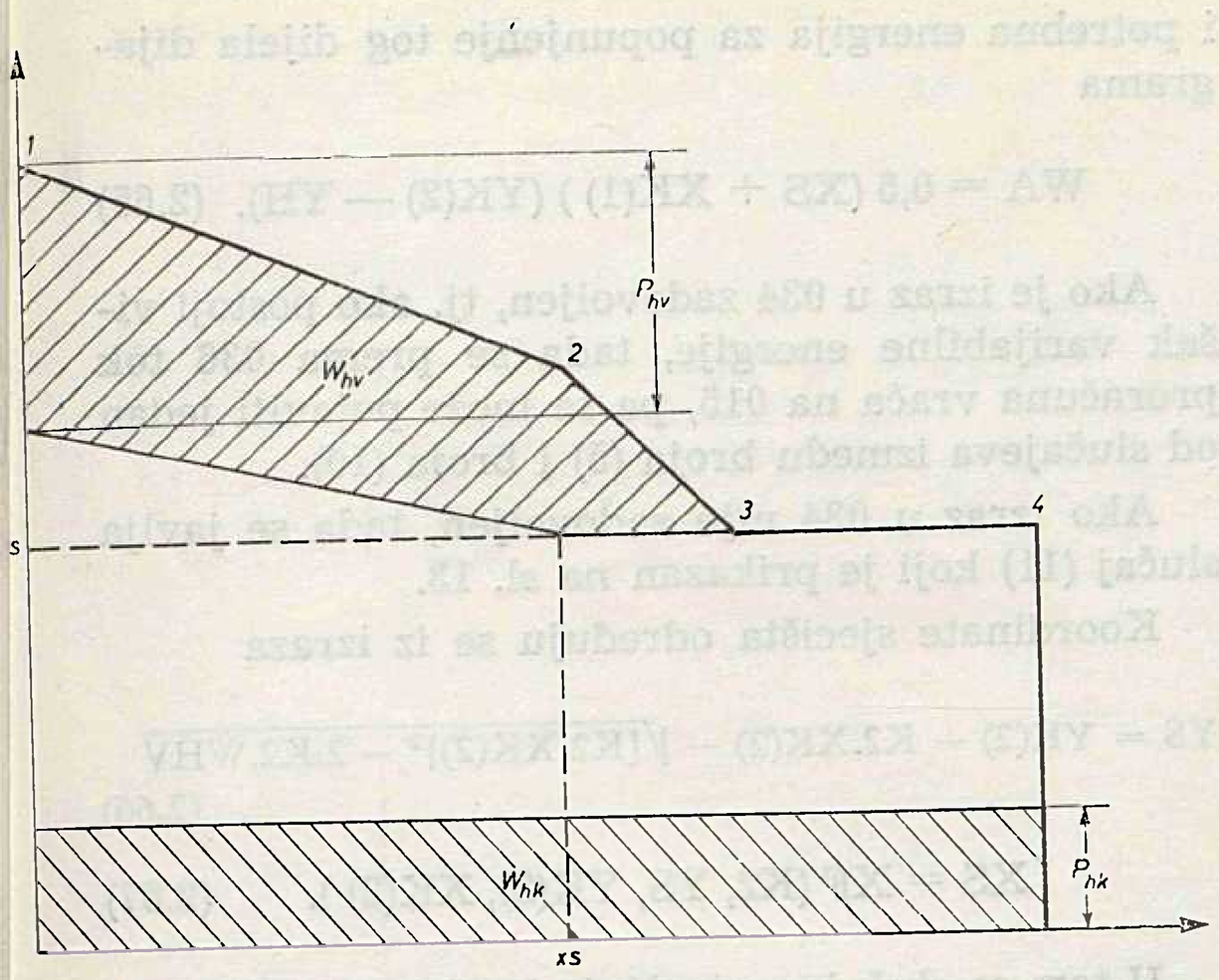
Koordinate sjecišta određuju se iz izraza

$$XS = XE\,(WHV, K2, XK(1), X2, YH, Y2) \tag{2.45}$$

$$YS = YF\,(K2, XS, YK(2), XK(2)). \tag{2.46}$$



Sl. 9. Primjer bilance za slučaj (7)



Sl. 10. Primjer bilance za slučaj (8)

Varijabilni dio dijagrama termoelektrana određen je sa dva pravca, pa je broj točaka u tom dijelu krivulje

$$IV = 3. \tag{2.47}$$

Ako nejednakost u 024 nije ispunjena, javlja se slučaj (8) koji je prikazan na sl. 10.

Koordinate sjecišta određuju se z izraza

$$XS = XE\,(WHV, O., XK(1), XK(3), YH, YK(3)) \tag{2.48}$$

$$YS = YK(3). \tag{2.49}$$

Varijabilni dio dijagrama termoelektrana određen je jednim pravcem, pa je broj točaka u tom dijelu krivulje

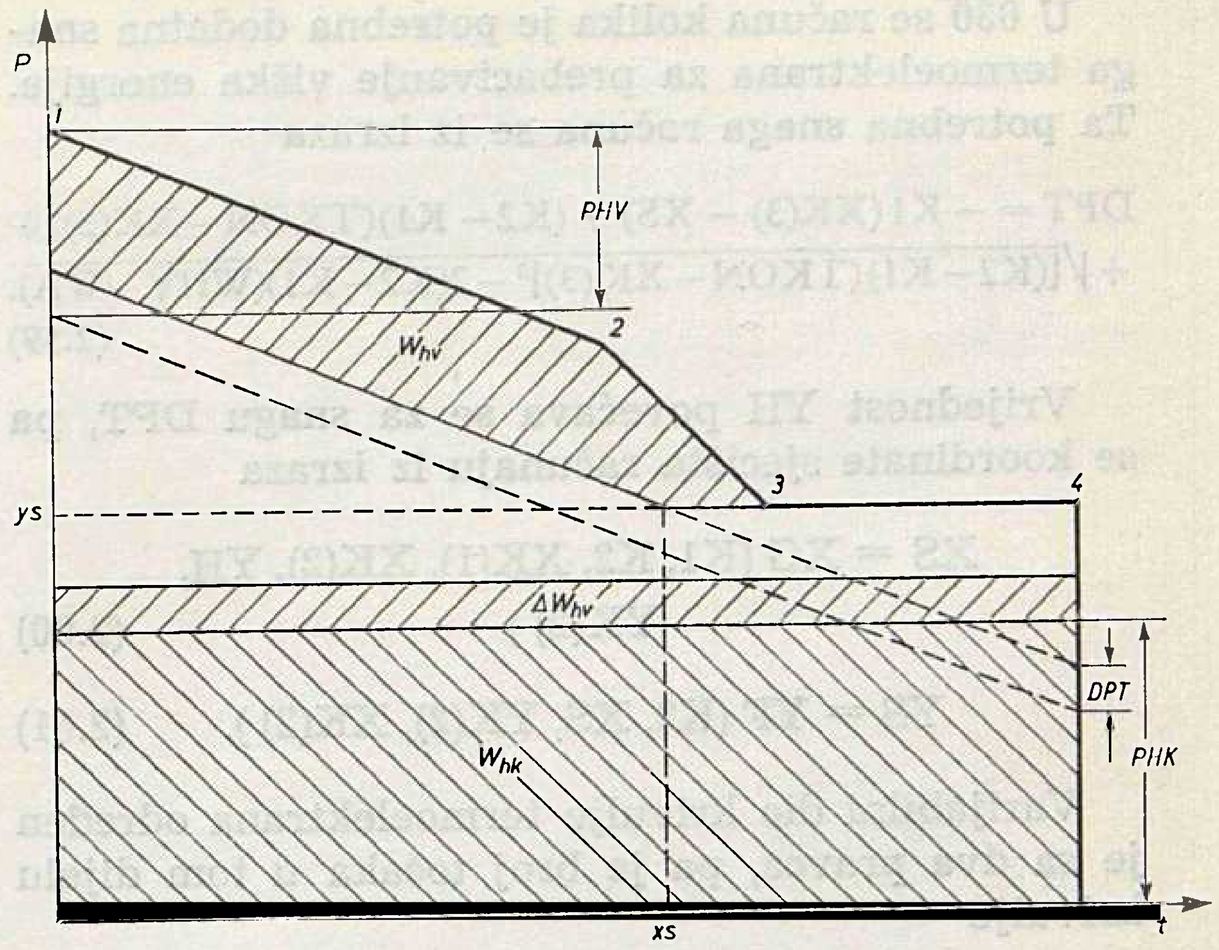
$$IV = 2 \tag{2.50}$$

Ako je nejednadžba u 022 zadovoljena, tada se u 027 računa višak varijabilne energije hidroelektrana. Također se određuje granična potrebna energija WA, koja je potrebna za određivanje koji će se slučaj pojaviti. Granična energija WA određuje se tako da pravac koji određuje angažiranu snagu hidroelektrana prolazi kroz točku [XK(3), YK(3)]. Prema tome, slučaj (9) javit će se onda kada je potrebna snaga termoelektrana DPT tolika da pravac koji određuje angažiranje snage hidroelektrana siječe konstantni dio krivulje konzuma, dok u slučaju (10) je DPT veći, pa gore opisani pravac siječe varijabilni dio krivulje konzuma.

Granična energija WA određuje se iz izraza

$$WA = -K1\,(XK(3) - XS).(TKON - XS) + 0.5K1\,(XK(3) - XS)^2. \tag{2.51}$$

Slučaj (9) koji je prikazan na sl. 11. javlja se kada nije ispunjena nejednadžba u 028, tj. kada je višak varijabilne energije manji od granične energije WA (2.51).



Sl. 11. Primjer bilance za slučaj (9)

U 029 određuje se potrebna dodatna varijabilna snaga termoelektrana za prebacivanje viška varijabilne energije u konstantni dio dijagrama prema izrazu

$$DPT = -K1\,(TKON - XS) - \sqrt{[K1\,(TKON - XS)]^2 + 2.K1.WHV.} \tag{2.52}$$

Koordinate sjecišta određuju se prema izrazima

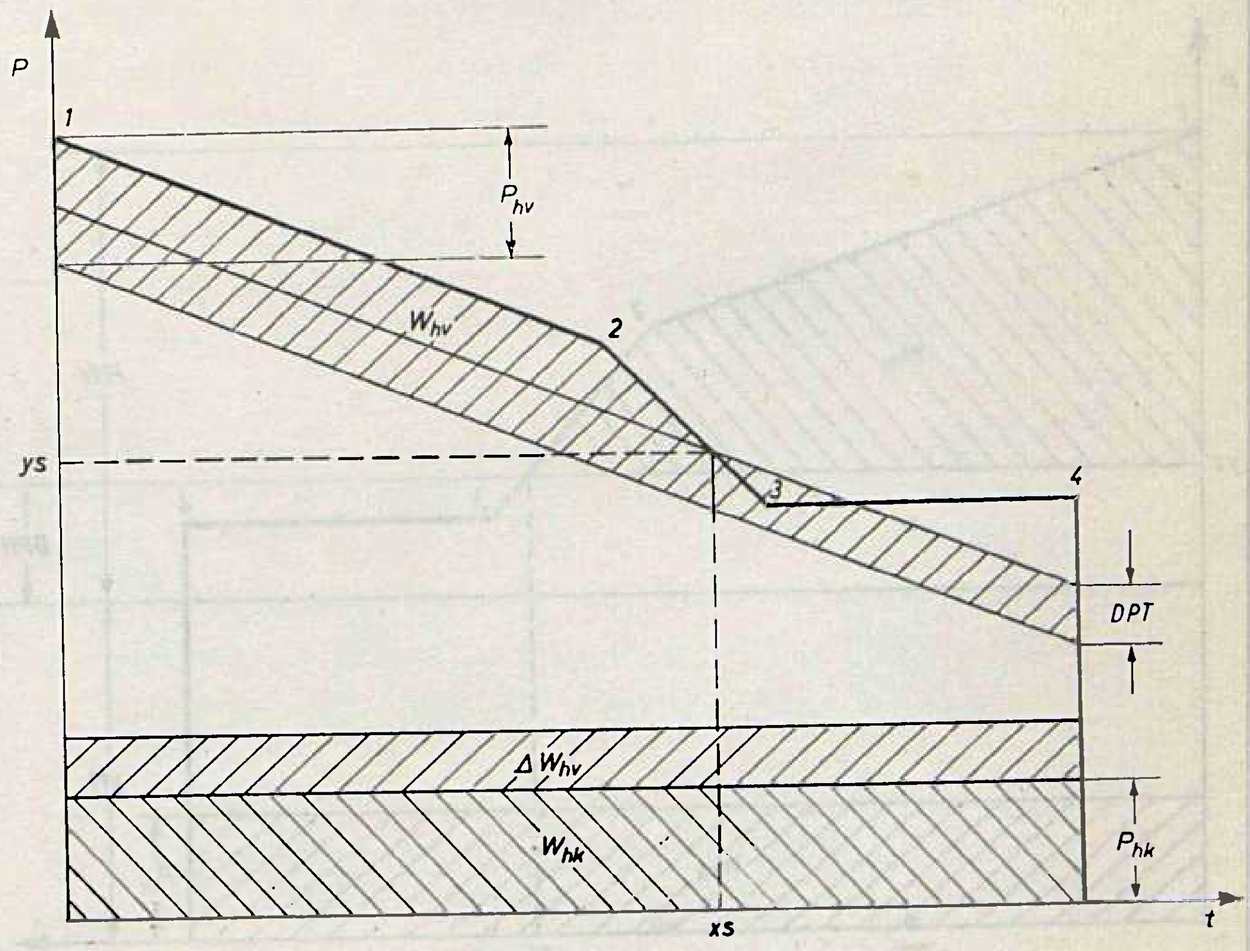
$$XS = XS - DPT/K1 \tag{2.56}$$

$$YS = YK(3), \tag{2.57}$$

dok se vrijednost YH povećava za potrebnu snagu termoelektrana DPT. Varijabilni dio dijagrama termoelektrana određen je jednim pravcem, pa je broj točaka u tom dijelu krivulje

$$IV = 2. \tag{2.58}$$

Ako je ispunjena nejednadžba u 028, tada se javlja slučaj (10) koji je prikazan na sl. 12.



Sl. 12. Primjer bilance za slučaj (10)

U 030 se računa kolika je potrebna dodatna snaga termoelektrana za prebacivanje viška energije. Ta potrebna snaga računa se iz izraza

$$DPT = -K1(XK(3) - XS) + (K2 - K1)(TKON - XK(3)) + \sqrt{[(K2 - K1)(TKON - XK(3)]^2 - 2(K2 - K1)(WHV - WA)}. \quad (2.59)$$

Vrijednost YH povećava se za snagu DPT, pa se koordinate sjecišta računaju iz izraza

$$XS = XG(K1, K2, XK(1), XK(2), YH, YK(2)) \quad (2.60)$$

$$YS = YF(K2, XS, YK(2), XK(2)). \quad (2.61)$$

Varijabilni dio krivulje termoelektrana određen je sa dva pravca, pa je broj točaka u tom dijelu krivulje

$$IV = 3. \quad (2.62)$$

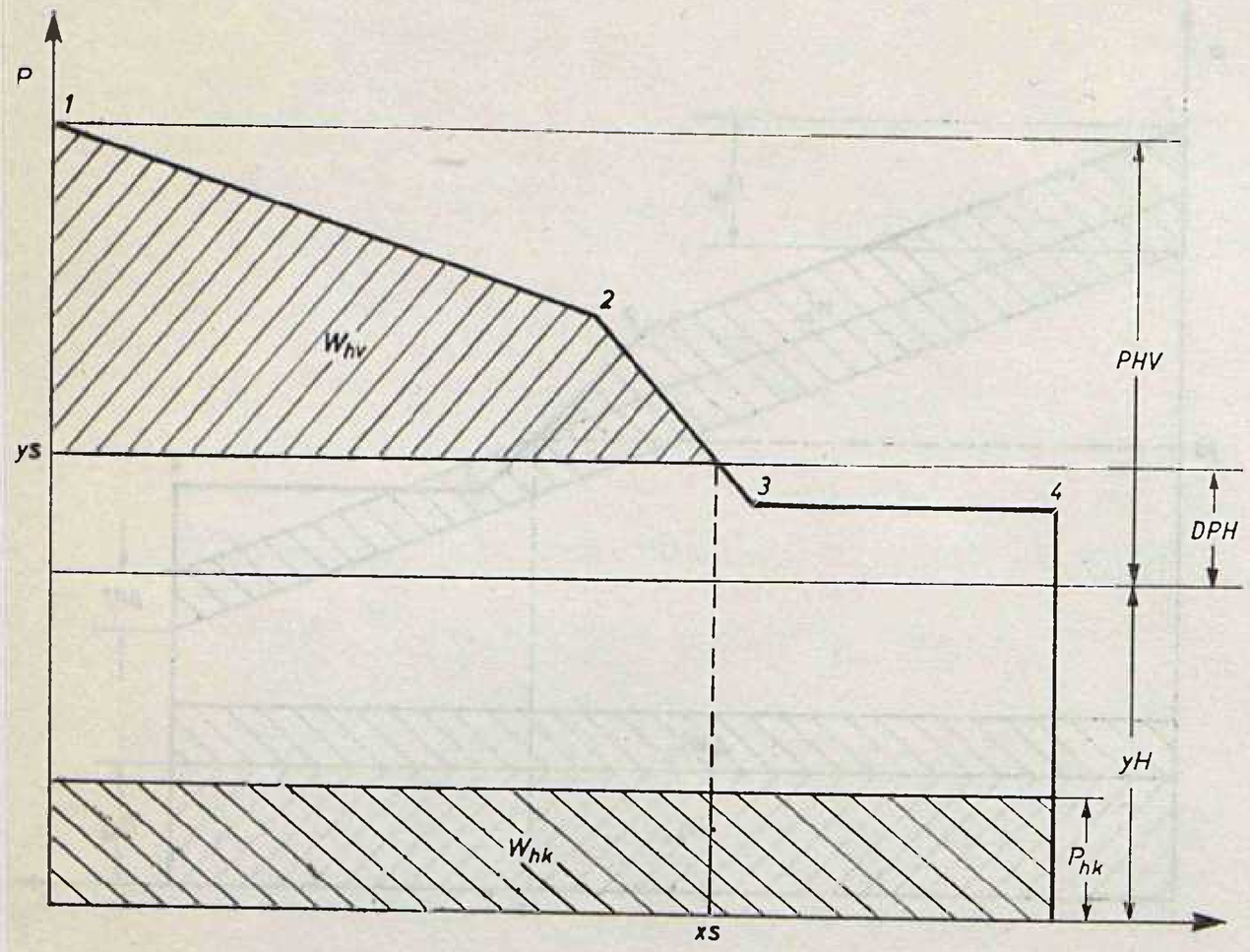
U slučaju da je ispunjena nejednakost u 008, tj. da je varijabilna snaga hidroelektrana manja od varijabilne snage konzuma, a veća od snage (1—BT). .PV sl. 1, tada se u 031 računa kolika je potrebna energija za popunjenje gornjeg varijabilnog dijela krivulje konzuma. Potrebna energija računa se prema izrazu

$$WA = PO(XK(1), XK(2), XK(1), YK(2), YK(2), YK(1)), \quad (2.63)$$

Ako je zadovoljena nejednakost u 032, tj. ako je ukupna varijabilna energija hidroelektrana manja od energije WA (2.63), tada se pojavljuje slučaj (3) koji je već prije opisan.

No ako nije ispunjena nejednakost u 032, tada se u 033 računa sjecište na krivulji konzuma koje odgovara angažiranoj snazi hidroelektrana prema izrazu

$$XS = XF(K2, YH, YK(2), XK(2)) \quad (2.64)$$



Sl. 13. Primjer bilance za slučaj (11)

i potrebna energija za popunjenje tog dijela dijagrama

$$WA = 0{,}5\,(XS + XK(1))\,(YK(2) - YH). \quad (2.65)$$

Ako je izraz u 034 zadovoljen, tj. ako postoji višak varijabilne energije, tada se prema 036 tok proračuna vraća na 015, pa se može pojaviti jedan od slučajeva između broja (5) i broja (10).

Ako izraz u 034 nije zadovoljen, tada se javlja slučaj (11) koji je prikazan na sl. 13.

Koordinate sjecišta određuju se iz izraza

$$YS = YK(2) - K2.XK(2) - \sqrt{[K2.XK(2)]^2 - 2.K2.WHV} \quad (2.66)$$

$$XS = XF(K2, YS, YK(2), XK(2)). \quad (2.67)$$

U tom se slučaju pojavljuje i višak snage hidroelektrana, koji iznosi

$$DPH = YS - YH. \quad (2.68)$$

Varijabilni dio krivulje termoelektrana određen je sa dva pravca pa je broj točaka u tom dijelu krivulje

$$IV = 3. \quad (2.69)$$

U svim navedenim slučajevima obrađene su mogućnosti smještanja varijabilne energije hidroelektrana u dijagram konzuma.

Za proračun smještaja konstantne energije hidroelektrana u dijagram konzuma, potreban je podosta jednostavniji račun. Konstantnoj energiji hidroelektrana (WHK) odgovara konstantna snaga (PHK), za koju se jednostavno umanjuju konstantna snaga konzuma (PMK). Dijagram trajanja opterećenja konzuma popunjava se konstantnom energijom hidroelektrana na taj način da se bazni dio dijagrama umanjuje za snagu PHK kojoj se nadodaje potrebna snaga termoelektrana za prebacivanje viška varijabilne energije DPT.

Ako je konstantna energija hidroelektrana veća od potrebne konstantne energije konzuma, tada se dio te energije (Δ WHK) prebacuje u varijabilni dio krivulje konzuma, a dio (δ WHK) ostaje neiskorišten, tj. pojavljuju se preljevi.

Energija (Δ WHK) popunjava se u bazni dio varijabilnog dijela krivulje konzuma, a plasirana količina energije ovisi o višku konstantne snage hidroelektrana (PHK — PMK) i o vremenu trajanja koje je određeno krivuljom konzuma. Treba napomenuti da se je prema osnovnoj metodi konstantne i varijabilne energije moguća količina prebačene konstantne energije računala prema izrazu

$$\Delta WHK = (PHK - PMK).TVH, \quad (2.70)$$

što je predstavljalo manju količinu od one koja se dobije direktnim popunjavanjem u dijagram konzuma.

Na sl. 6. prikazan je slučaj (4) s vrlo velikom konstantnom proizvodnjom hidroelektrana.

Do krivulje trajanja opterećenja termoelektrana dolazi se na već opisane načine. Da bi se dobila konačna krivulja opterećenja termoelektrana iz koje se može odrediti ukupna potrebna snaga i energija sistema termoelektrana, kao i pojedinih agregata, da bi se mogli izračunati troškovi goriva, potrebno je još izvršiti proračun potrebnih redukcija i uvažiti tehnički minimum agregata.

3. ODREĐIVANJE POTREBNE SNAGE TERMOELEKTRANA UZ OSIGURANJE POTREBNE ROTIRAJUĆE REZERVE

Potrebna snaga termoelektrana za zadovoljenje konzuma PTE, bez obzira na potrebnu snagu za osiguranje rotirajuće rezerve, može se odrediti kao maksimalna vrijednost krivulje trajanja opterećenja prema izrazu

$$PTE = YT(1). \tag{3.1}$$

Kad god je to moguće, rotirajuću rezervu u sistemu najpovoljnije je osigurati neangažiranom snagom hidroelektrana, odnosno snagom hidroelektrana (DPH) koja nije potrebna za opskrbu konzuma. To je moguće ako je snaga potrebne rotirajuće rezerve (RR) manja ili jednako od neiskorištene snage hidroelektrana

$$RR \leq DPH. \tag{3.2}$$

Kad je, dakle. zadovoljena nejednadžba (3.2), nije potrebno angažirati dodatne agregate u termoelektranama za osiguranje rotirajuće rezerve. Ako, međutim, jednadžba (3.2) nije zadovoljena, potrebna dodatna snaga termoelektrana iznosi

$$RT = RR - DPH. \tag{3.3}$$

Prema tome, potrebna angažirana snaga termoelektrana, odnosno zbroj snaga agregata koji treba da se nalazi u pogonu iznosi

$$PTR = PTE + RT. \tag{3.4}$$

Treba naglasiti da u slučaju kad je zadovoljena nejednadžba (3.2) u relaciju (3.4) treba postaviti $RT = 0$.

Dijagram toka za proračun potrebne snage termoelektrana uz osiguranje potrebne rotirajuće rezerve nalazi se na sl. 18-C. Na opisani način mogu se dobiti potrebne snage termoelektrana u svim vremenskim periodima određenog niza godina, te se može odrediti krivulja potrebnih snaga termoelektrana.

4. ODREĐIVANJE RASPOREDA REMONTA AGREGATA U TERMOELEKTRANAMA SA ODREĐIVANJEM POTREBNE SNAGE TERMOELEKTRANA UZ ZADANU SIGURNOST OPSKRBE POTROŠAČA

Postupak određivanja rasporeda remonta agregata i određivanje potrebne snage termoelektrana uz zadanu sigurnost opskrbe potrošača zasniva se na principima koji su navedeni u (L3, L4). Stoga će cijeli postupak biti iznesen u kratkim crtama. Dijagram toka za navedeni proračun nalazi se na sl. 19.

Pri određivanju rasporeda remonta agregata u termoelektranama potrebno je poći od definirane strukture agregata, a nije dovoljno poznavati ukupnu potrebnu snagu termoelektrana. Najzgodnije je kao prvu aproksimaciju prihvatiti strukturu postojećih agregata, a potrebni broj agregata — ako to bude potrebno — povećaće se unaprijed definiranim tipovima agregata.

Za dalji računski postupak potrebno je sve agregate poredati po opadajućim vrijednostima, kako bi se u najpovoljnijem vremenskom periodu u toku jedne godine u remont uključiti agregati najveće snage.

Budući da remont pojedinih jedinica traje nekoliko vremenskih jedinica (tjedana), najpovoljnije je odrediti klizne prosjeke u toku pojedine godine za interval trajanja remonta (NTR) i kao najpovoljniji početni tjedan remonta odabrati onaj koji ima najniži klizni prosjek u slijedećih NTR tjedana.

Kada je određen početni tjedan remonta, tada se odgovarajuće potrebne snage termoelektrana PTR (3.4) u slijedeći NTR tjedan povećavaju za snagu agregata u remontu. Takav postupak se ponavlja za sve agregate i za sve godine, te se nakon završenog postupka dobije niz potrebnih snaga termoelektrana, koji u sređenom obliku može poslužiti za određivanje potrebne snage sistema uz određenu vjerojatnost dešavanja te pojave. Budući da ekonomski nije povoljno (L1, L3) da konzum bude zadovoljen u svim mogućim slučajevima proizvodnje hidroelektrana, povoljno je pretpostaviti da će u određenom broju slučajeva doći do redukcije snage i energije.

Da se odredi potrebna raspoloživa snaga termoelektrana (PTUMAX) uz zadanu sigurnost opskrbe potrošača FS, potrebno je najprije poredati po vrijednostima (od najvećih prema manjim vrijednostima) potrebna maksimalna opterećenja termoelektrana (PTR), a zatim odrediti redni broj podataka koji je mjerodavan za određivanje spomenute potrebne raspoložive snage termoelektrana. Ako FS definiramo kao omjer između broja tjedana u kojima se ne pojavljuju redukcije konzuma i ukupnog broja tjedana (NTJ.NGD), broj tjedana u kojima se pojavljuju redukcije može se odrediti iz relacije

$$M = (1 - FS).NTJ.NGD \tag{4.1}$$

Znači da se u M slučajeva neće moći osigurati potrebna snaga termoelektrana za pokrivanje potreba konzuma. Stoga se može uzeti da M-ta vrijednost u srednjoj krivulji potrebnih snaga termoelektrana odgovara onoj snazi sistema koja u FS posto slučajeva osigurava opskrbu konzuma.

No kako bi se izbjegle netočnosti zbog slučajnog izbora M-te vrijednosti na srednjoj krivulji potrebnih snaga termoelektrana, bolje je uzeti interval širine M-te točke, u kome se odredi potrebna snaga za opskrbu konzuma (PTUMAX)

$$\text{PTUMAX} = \frac{1}{\text{MS}+1} \sum_{\text{M}-\text{MS}/2}^{\text{M}+\text{MS}/2} \text{PTRM(J)}, \qquad (4.2)$$

gdje su PTRM vrijednosti na srednjoj krivulji potrebnih snaga termoelektrana.

U prvom koraku proračuna sigurnoće potrebna snaga sistema biti veća od snage polaznih jedinica (SS), tj. neće biti zadovoljena nejednadžba
Budući da nejednadžba (4.3) nije zadovoljena, po-

$$\text{PTUMAX} \leq \text{SS} \qquad (4.3)$$

trebno je povećati raspoloživu snagu termoelektrana za iznos

$$\text{DEPT} = \text{PTUMAX} - \text{SS} \qquad (4.5)$$

Taj manjak snage ne treba predvidjeti u jednom agregatu, pa je potrebno unaprijed zadati jediničnu snagu novih agregata (SN) kako bi se mogao odrediti broj novih agregata pomoću omjera

$$\text{NN} = \text{CIJE LOBR}\left(\frac{\text{DEPT}}{\text{SN}}\right). \qquad (4.6)$$

Potrebno je još provjeriti je li zadovoljena nejednadžba

$$\text{DEPT} \leq \text{NN.SN}. \qquad (4.7)$$

Ako nejednadžba (4.7) nije zadovoljena, potrebno je predvidjeti NN + 1 novih agregata, od kojih će NN imati raspoloživu snagu SN, a dodatni agregat ostatak potrebne snage koji je određen relacijom

$$\text{DST} = \text{DEPT} - (\text{NN} - 1).\text{SN}. \qquad (4.8)$$

Nakon što je određen broj novih dopunskih agregata, potrebno je formirati novu tabelu agregata od NTE postojećih i NN novih jedinica. Suma snaga agregata iz novoformirane tabele upravo odgovara potrebnoj snazi termoelektrana za opskrbu potrošača (PTUMAX).

Cijeli postupak se ponavlja od određivanja remonta agregata i nastavlja se navedeni tok proračuna u toliko koraka dok se ne postigne da potrebna snaga bude manja ili jednaka od snage angažiranih jedinica, tj. dok ne bude zadovoljena nejednadžba (4.3).

5. ODREĐIVANJE POTREBNIH REDUKCIJA SISTEMA

Model za određivanje redukcija nastojao se što više uskladiti sa stvarnom situacijom, pa se u tu svrhu pokusao izvršiti proračun redukcije energije na način kako to propisuje Zakon o elektroprivredi, član 55.

Navedeni zakon propisuje da se redukcija vrši u ovim koracima:

1. ograničenje javne rasvjete ulica, trgova i vanjske rasvjete drugih objekata za 50%,

2. ograničenje isporuke električne energije svim potrošačima za 10%, osim, onog dijela potrošnje organizacija udruženog rada i organa kod kojih bi takvo ograničenje ugrozilo proces proizvodnje odnosno rada,

3. ograničenje isporuke električne energije za proizvodnju karbida, ferolegura i drugih legura, kao i sirova željeza u elektropećima — do 40% potrošnje,

4. ograničenje isporuka električne energije za industrijska postrojenja koja troše električnu energiju u većim količinama u tehnološke svrhe (za elektrolizu aluminija i drugih obojenih metala, itd.) — do 20% potrošnje.

Dijagram toka za proračun potrebnih redukcija konzuma nalazi se na sl. 20.

Do redukcije konzuma doći će u svim slučajevima kada nije ispunjena nejednakost u 001, tj. kada je potrebna snaga termoelektrana s uključenom rotirajućom rezervom i potrebnom snagom agregata u remontu veća od potrebne snage za opskrbu konzuma (4.2).

$$\text{PTUMAX} \geq \text{PTRM} \qquad (5.1)$$

Ako nije ispunjena nejednakost (5.1), tada se u 002 računa potrebna snaga redukcije, prema izrazu

$$\text{PR} = \text{PTRM} - \text{PTUMAX} \qquad (5.2)$$

Budući da će najmanje štete izazvati smanjenje dobave električne energije velikim potrošačima s lučnim pećima (tvornice karbida, ferolegura i sl.) i s velikim elektrolizama (aluminij), opravdano je posebno razmotriti te potrošače. Stoga su uzete u obzir dvije grupe konstantnih potrošača sa snagama PG1 i PG2.

Kako je u Zakonu o elektroprivredi navedeno da se redukcija u prvom koraku provodi kod potrošača koji ne trebaju električnu energiju 24 sata u jednom danu (rasvjeta i drugi), uzeto je da se za snage redukcije (5.2) manje od 10% ukupne potrebne snage termoelektrana za pokrivanje potreba konzuma redukcija provodi u varijabilnom dijelu krivulje termoelektrana. Stoga se u 003 provjerava je li snaga redukcije manja od snage konstantnih potrošača i snage koja se najprije reducira u varijabilnom dijelu krivulje termoelektrana, a prema izrazu

$$\text{PR} < \text{PG1} + \text{PG2} + 0{,}1\,\text{PTE}. \qquad (5.3)$$

Ako izraz (5.3) nije ispunjen, tada se prema 004 redukcija provodi tako da se u varijabilnom dijelu krivulje reducira 10% potrebne snage termoelektrana, u konstantnom dijelu se reduciraju konstantni potrošači, a ostatak snage redukcije dijeli se u omjeru 1:1 između varijabilne i konstantne potrošnje konzuma prema izrazima

$$PRV = 1/2\,[PR - (PG1 + PG2 + 0{,}1\,PTE)] + 0{,}1\,PTE \qquad (5.4)$$

$$PRK = PR - PRV. \qquad (5.5)$$

Taj slučaj redukcije prikazan je na sl. 16.

Ako je nejednadžba u 003 zadovoljena, tada se u 005 provjerava je li snaga redukcije veća od 10% potrebne snage termoelektrana prema izrazu

$$PR > 0{,}1\,PTE. \qquad (5.6)$$

Ako nejednadžba (5.6) nije ispunjena, redukcija se provodi u varijabilnom dijelu krivulje termoelektrana, kao što je prikazano na sl. 14. U tom je slučaju reducirana konstantna snaga jednaka nuli, kao što je navedeno u 006.

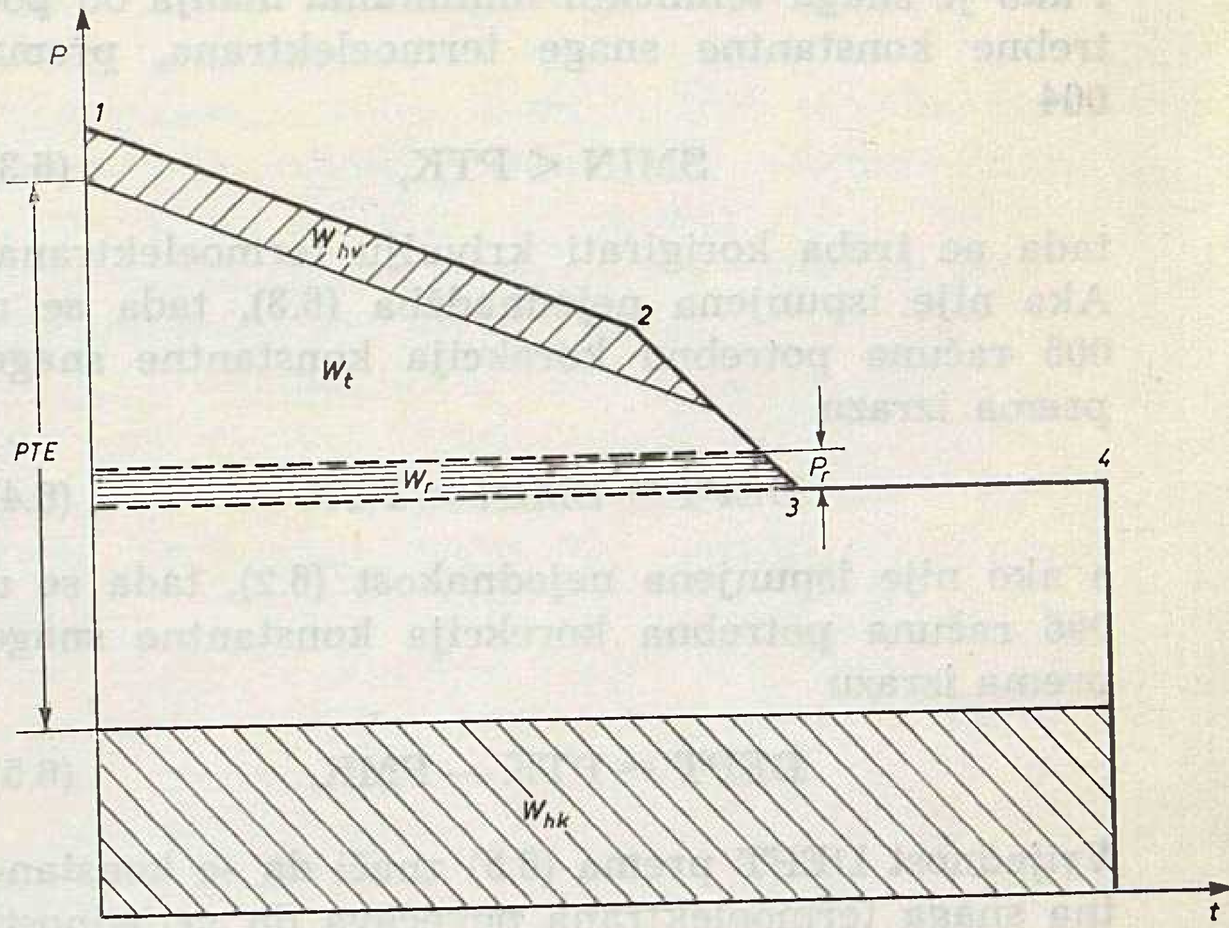
Ako je nejednadžba u 005 ispunjena, tada se u 007 raspodjeljuje snaga redukcije na taj način da se u varijabilnom dijelu krivulje reducira 10% snage termoelektrana, a ostatak reducirane snage dijeli se među konstantnim potrošačima:

$$PRV = 0{,}1\,PTE \qquad (5.7)$$

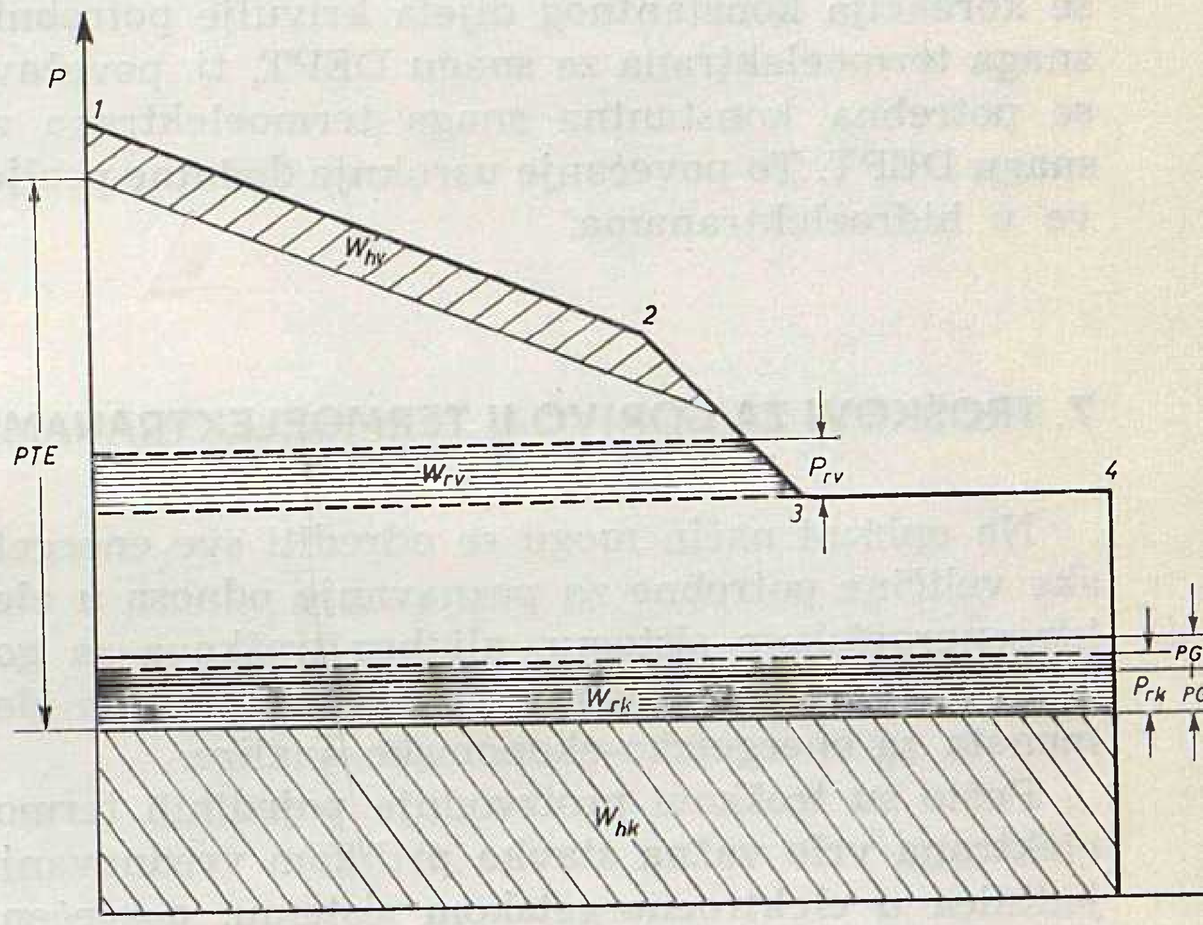
$$PRK = PR - PRV. \qquad (5.8)$$

Taj slučaj je prikazan na sl. 14.

Reducirane energije (WRV, WRK) računaju se kao površine na krivulji termoelektrana koje su određene snagama redukcije (PRV, PRK), a kao što je i prikazano na slikama br. 14, 15, 16



Sl. 14. Primjer redukcije za slučaj $P_r < 0{,}1$ PT $P_{rv} = P_r$, $P_{rk} = 0$



Sl. 15. Primjer redukcije za slučaj PG1 + PG2 + 0,1PT > PR >

6. OSIGURANJE TEHNIČKOG MINIMUMA TEMOELEKTRANA

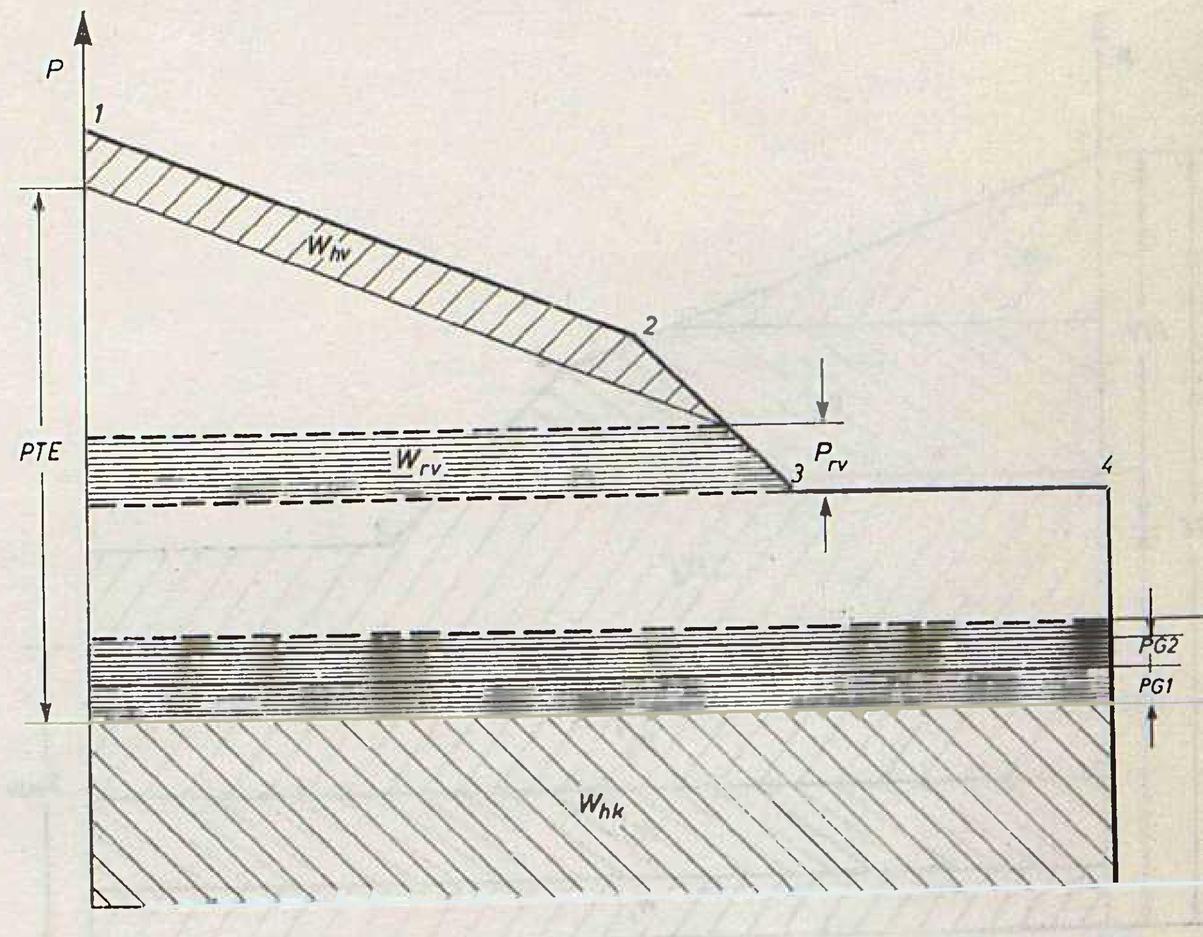
Nakon što su određene potrebne redukcije snage i energije konzuma, potrebno je za sve slučajeve provjeriti je li ispunjen uvjet osiguranja tehničkog minimuma agregata u pogonu. Dijagram toka proračuna nalazi se na sl. 21.

Za svaki slučaj bilance vrši se suma, u 001, snaga tehničkih minimuma agregata koji se nalaze u pogonu (tj. isključeni su agregati koji se u tom vremenskom intervalu nalaze u remontu). Ukupna angažirana snaga agregata mora biti tolika da je osigurana potrebna snaga konzum i rotirajuća rezerva, tj. prema 002 da je zadovoljen izraz

$$SS \geq PTR. \qquad (6.1)$$

Ako je suma snaga tehničkih minimuma agregata (S MIN) manja od konstantne snage konzuma, izraz 003

$$SMIN < PMK \qquad (6.2)$$



Sl. 16. Primjer redukcije za slučaj $P_r > PG1 + PG2 + 0{,}1PT$ i $P_{rv} = 0{,}5\,[PR - (PG1 + PG2 + 0{,}1PTE)] + 0{,}1PTE$, $P_{rk} = P_r - P_{rv}$

i ako je snaga tehničkih minimuma manja od potrebne konstantne snage termoelektrana, prema 004

$$SMIN < PTK, \tag{6.3}$$

tada ne treba korigirati krivulju termoelektrana. Ako nije ispunjena nejednadžba (6.3), tada se u 005 računa potrebna korekcija konstantne snage prema izrazu

$$DEPT = SMIN - PTK \tag{6.4}$$

a ako nije ispunjena nejednakost (6.2), tada se u 006 računa potrebna korekcija konstantne snage prema izrazu

$$DEPT = PTK - PMK. \tag{6.5}$$

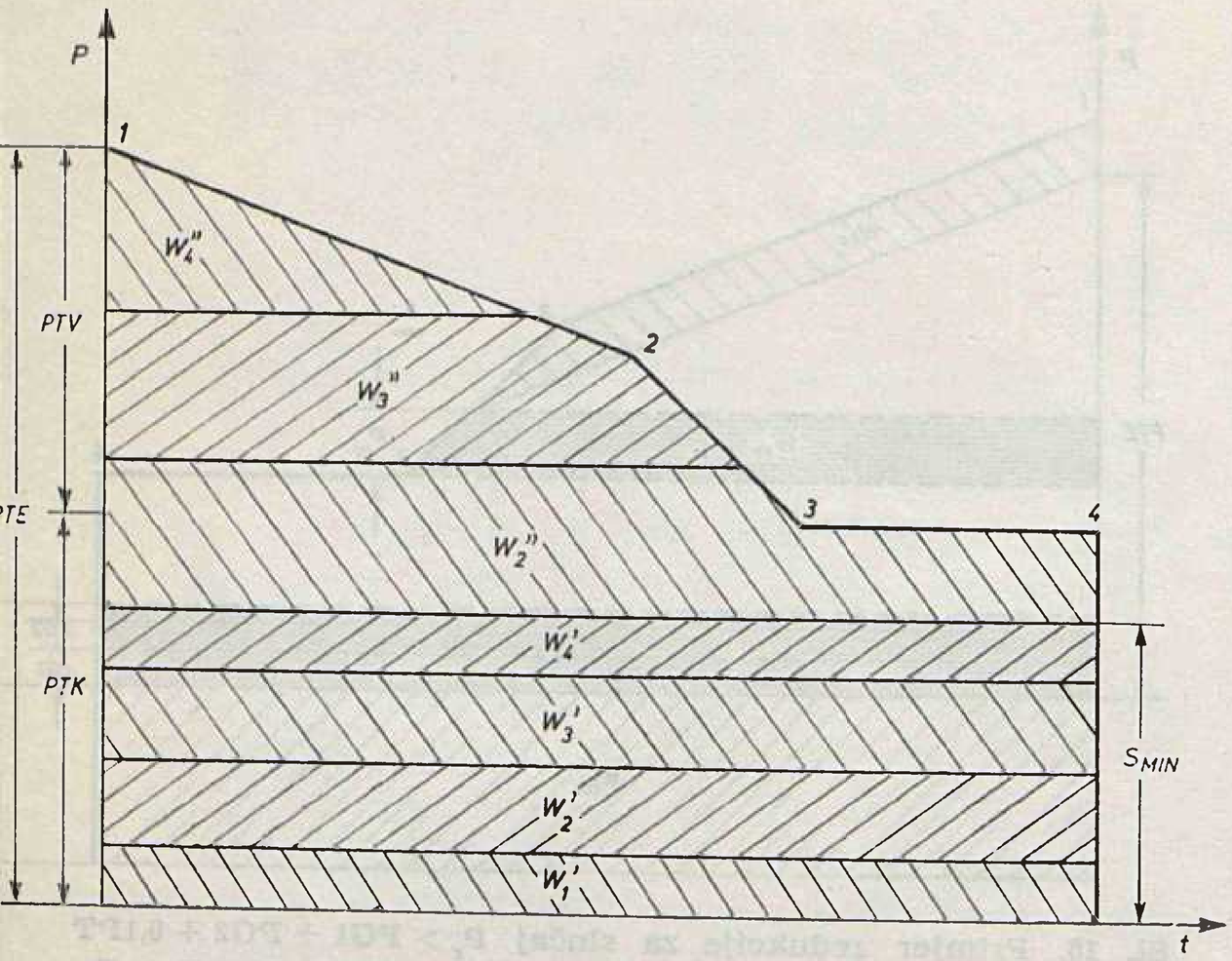
Vrijednost DEPT prema (6.5) znači da se konstantna snaga termoelektrana povećava do vrijednosti konstantne snage konzuma, a da dio agregata mora obustavljati rad u toku malih opterećenja.

Nakon što su određene vrijednosti DEPT, vrši se korekcija konstantnog dijela krivulje potrebnih snaga termoelektrana za snagu DEPT, tj. povećava se potrebna konstantna snaga termoelektrana za snagu DEPT. To povećanje uzrokuje dodatne prelјeve u hidroelektranama.

7. TROŠKOVI ZA GORIVO U TERMOELEKTRANAMA

Na opisani način mogu se odrediti sve energetske veličine potrebne za poznavanje odnosa u elektroenergetskom sistemu, ali bez troškova za gorivo u termoelektranama nema svih potrebnih elemenata za energetsko-ekonomske analize.

Pošto su troškovi proizvodnje pojedinih termoelektrana vrlo važna stavka prilikom vrednovanja jedinica u elektroenergetskom sistemu, posvećena joj je veća pažnja kod određivanja energetske karakteristike termoelektrana.



Sl. 17. Primjer angažiranja termoelektrana

Prema (L1) može se uzeti da je linearna karakteristika dosta točna aproksimacija stvarne energetske karakteristike termoelektrana opisana jednadžbom

$$D = D_0 + s_d P, \tag{7.1}$$

gdje je D_0 (Din/h) potrošak u praznom hodu, s_d je prosječni dodatni potrošak (Din/kWh), a P je angažirana snaga.

Energetska karakteristika može se napisati i tako da se umjesto potroška u praznom hodu uzme potrošak na tehničkom minimumu (D_{min}) i da se uzima snaga iznad tehničkog minimuma (P_{min}):

$$D = D_{min} + s_d(P - P_{min}). \tag{7.2}$$

Poznavajući energetsku karakteristiku termoelektrana i dijagram opterećenja termoelektrane, ukupni troškovi goriva dobiju se integriranjem karakteristike (7.2) po krivulji trajanja opterećenja. Pošto je pretpostavljena linearna karakteristika, dobije se slijedeća jednadžba za troškove goriva:

$$T = D_{min} \cdot TKON + s_d W', \tag{7.3}$$

gdje je TKON trajanje konstantnog opterećenja, a W′ je energija termoelektrane koja je proizvedena snagom iznad snage tehničkog minimuma.

Budući da se za zna tehnički minimum svakog agregata, može se prema (7.3) definirati specifični potrošak na snazi tehničkog minimuma prema izrazu

$$s_1 = \frac{D_{min} \cdot TKON}{P_{min} \cdot TKON}, \tag{7.4}$$

pa se ukupni troškovi proizvodnje računaju prema jednadžbi

$$T = s_1 \cdot W_{min} + s_d \cdot W', \tag{7.5}$$

gdje je W_{min} energija agregata proizvedena na tehničkom minimumu.

Pošto su poznate krivulje trajanja opterećenja, za svaki vremenski period (tjedan), kao što je opisano u prethodnim točkama ovog poglavlja, mogu se odrediti ukupni troškovi goriva za sve termoelektrane u sistemu.

Krivulja snaga termoelektrana popunjava se na taj način da se najprije smještaju snage tehničkih minimuma agregata u pogonu, a zatim se ostatak krivulje popunjava snagama agregata iznad tehničkog minimuma, kao što je prikazano na sl. 17.

Položaj pojedinog agregata u redoslijedu angažiranja određuje se specifičnim troškovima za gorivo tako da najniži indeks ima agregat sa najmanjim specifičnim troškovima za gorivo. Dijagram toka za proračun troškova za gorivo prikazan je na sl. 22.

Proračun počinje u 001 određivanjem broja agregata potrebnih za pokrivanje potrebne snage konzuma sa osiguranjem rotirajuće rezerve. Na-

ravno, moraju se izostaviti agregati koji se u tom periodu nalaze u remontu.

Radi jednostavnijeg proračuna u 002 i 003 formiraju se dvije jednostupčane matrice, i to matrica snage agregata u kojoj se na prvih NTJ mjesta nalaze snage tehničkog minimuma, a na ostalih NTJ mjesta razlike maksimalnih snaga i snaga tehničkog minimuma pojedinih agregata. Druga matrica sadrži u istom poretku specifične troškove za proizvodnju na tehničkom minimumu (7.4) i specifične troškove određene u (7.1).

Iz tako formirane matrice snaga uzimaju se pojedine snage i njima se popunjava krivulja trajanja opterećenja termoelektrana. U 005 ispituje se je li suma iskorištenih snaga veća od snage konstantnog opterećenja YT (IV).

Ako izraz u 005 nije ispunjen, tada se u 006 računaju ukupne proizvodnje, proizvodnje konstantne energije i troškovi goriva pojedinih jedinica.

Ako je izraz u 005 zadovoljen, tada se u prvom koraku u 007 računaju proizvodnje i troškovi za dio snage koji je angažiran u konstantnom dijelu krivulje, a taj dio snage se određuje iz izraza

$$PS = YT(IV) - SST + ST(I), \qquad (7.6)$$

gdje je SST suma svih do sada angažiranih snaga, a ST (I) je snaga zadnje angažirana.

Nakon tog proračuna, ako nije ispunjena nejednadžba u 010, u 008 se provjerava je li suma angažiranih snaga (SST) postala veća od ordinate slijedeće lomne točke u varijabilnom dijelu krivulje termoelektrana.

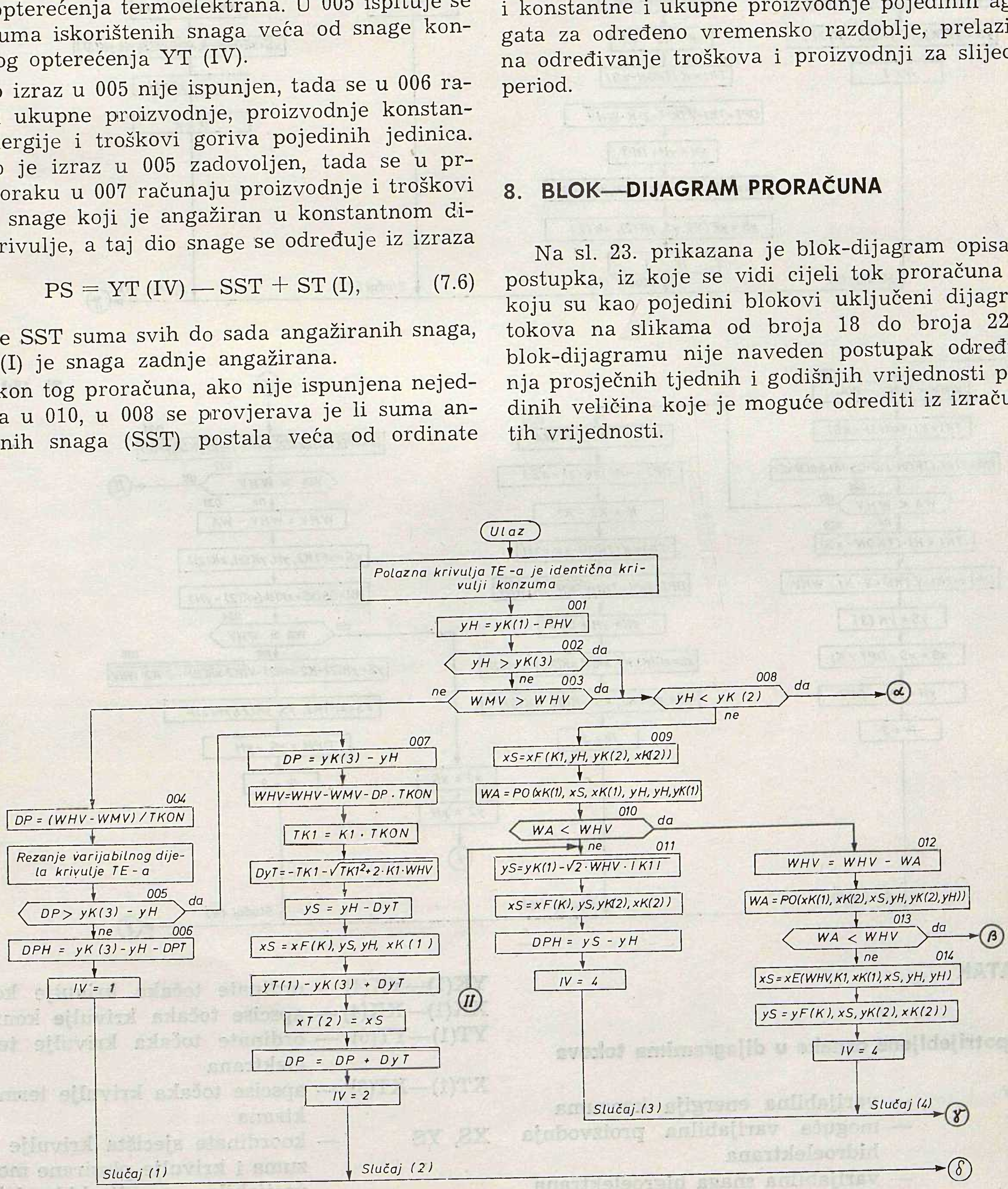
Ako je izraz u 008 zadovoljen, tada se u 011 računa energija troškovi proizvodnje za dio snage koja pokriva dio krivulje do lomne točke, a nakon toga se u 009 računa energija i troškovi za ostatak do potpunog angažiranja snage.

Kada se dostigne da je broj točaka varijabilnog dijela krivulje (IV) postao jednak jedinici, proračun se prekida jer je krivulja termoelektrana tada potpuno prekrivena angažiranim snagama termoelektrana.

Nakon što su određeni troškovi za gorivo, kao i konstantne i ukupne proizvodnje pojedinih agregata za određeno vremensko razdoblje, prelazi se na određivanje troškova i proizvodnji za slijedeći period.

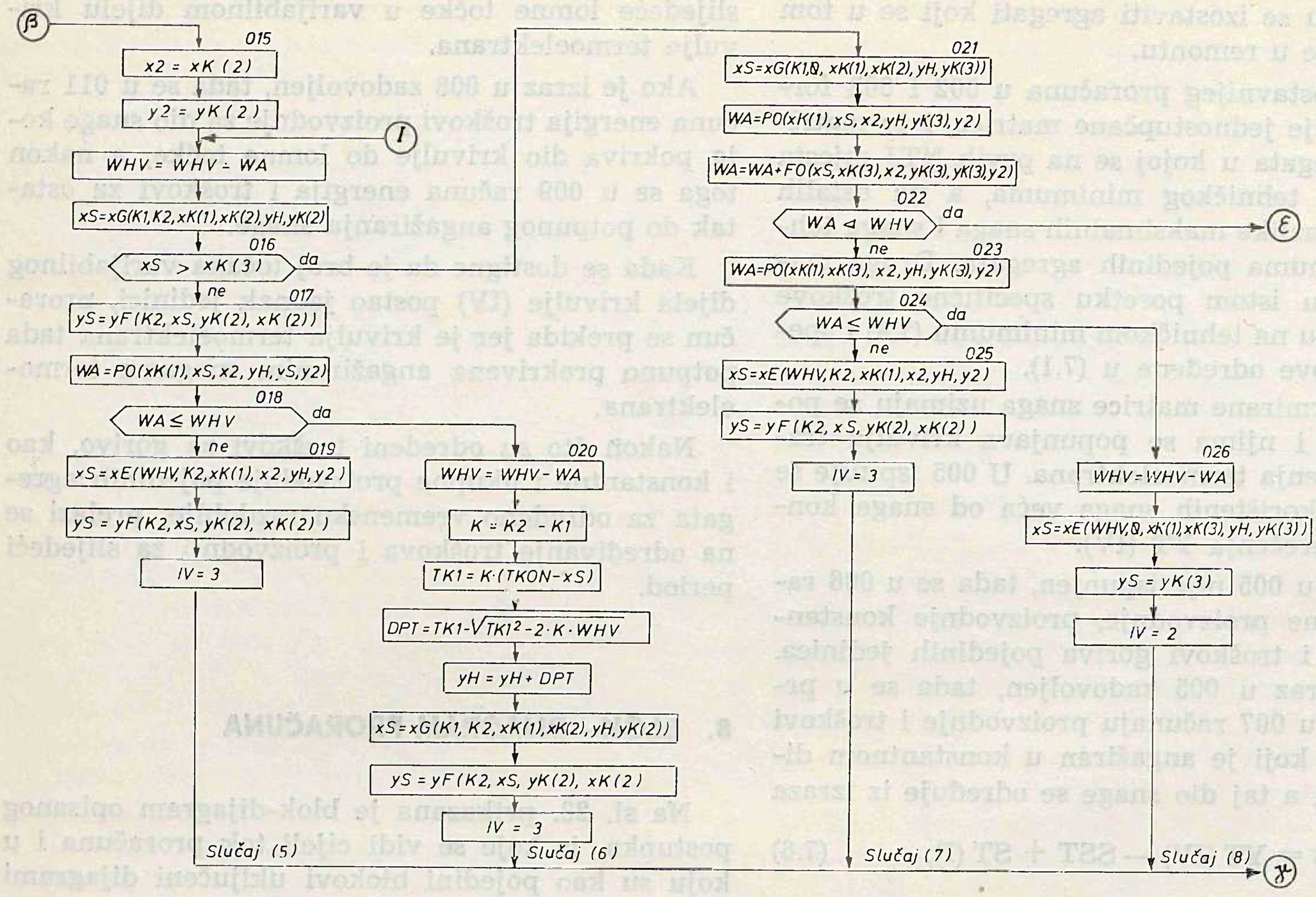
8. BLOK—DIJAGRAM PRORAČUNA

Na sl. 23. prikazana je blok-dijagram opisanog postupka, iz koje se vidi cijeli tok proračuna i u koju su kao pojedini blokovi uključeni dijagrami tokova na slikama od broja 18 do broja 22. U blok-dijagramu nije naveden postupak određivanja prosječnih tjednih i godišnjih vrijednosti pojedinih veličina koje je moguće odrediti iz izračunatih vrijednosti.



Sl. 18. Dijagram toka za bilanciranje i određivanje potrebne snage TE-a sa rotirajućim rezervama

Sl. 18-a

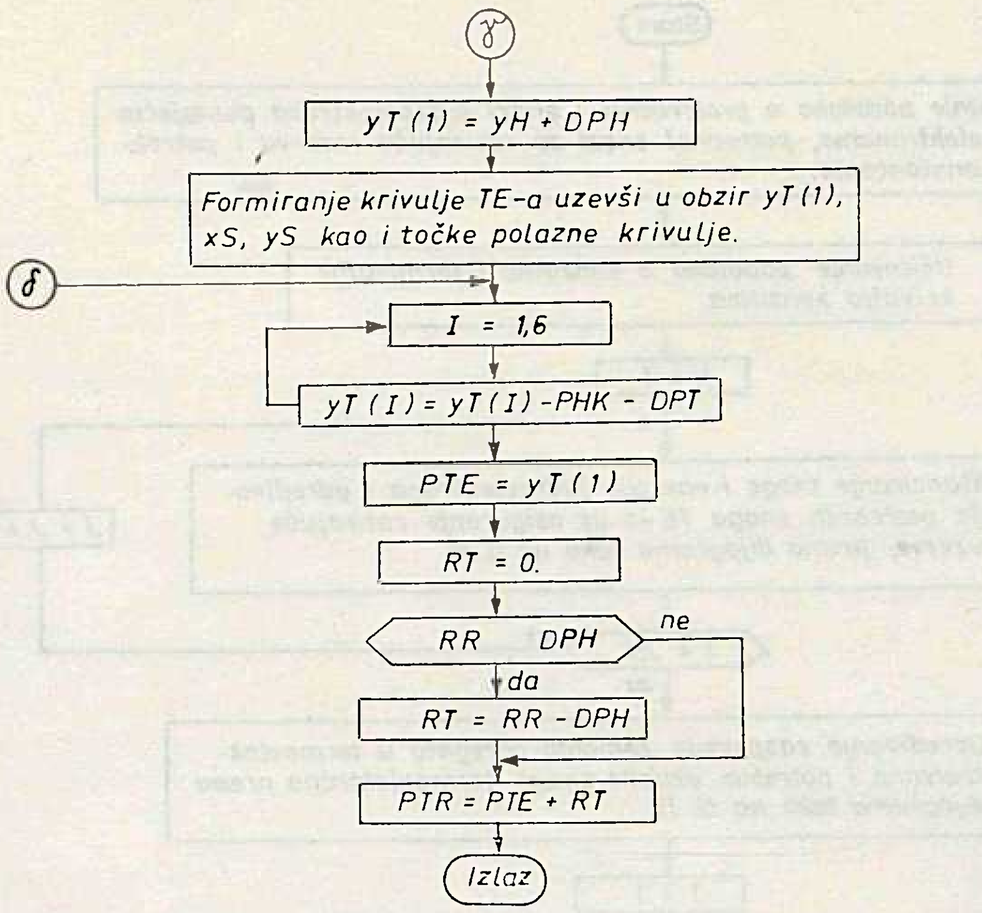


Sl. 18-b

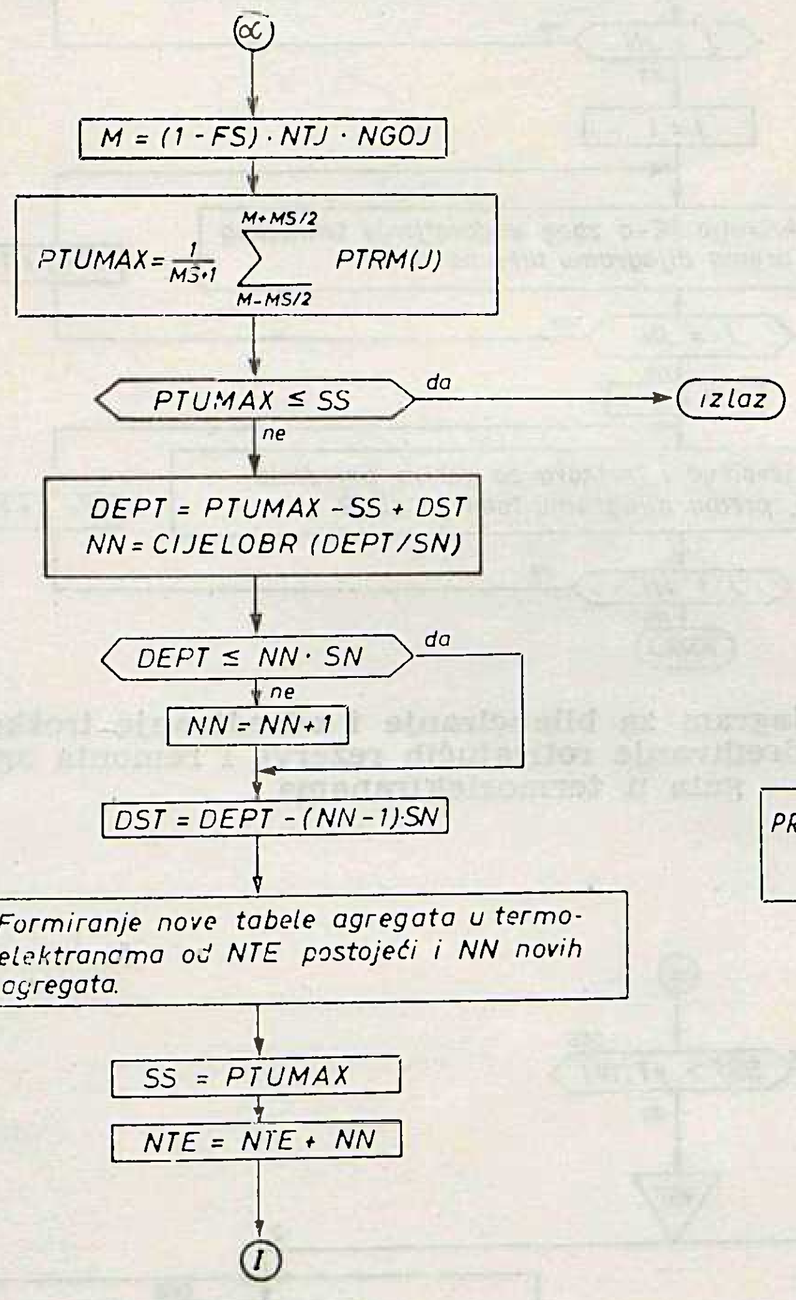
DODATAK

1. Upotrijebljene oznake u dijagramima tokova

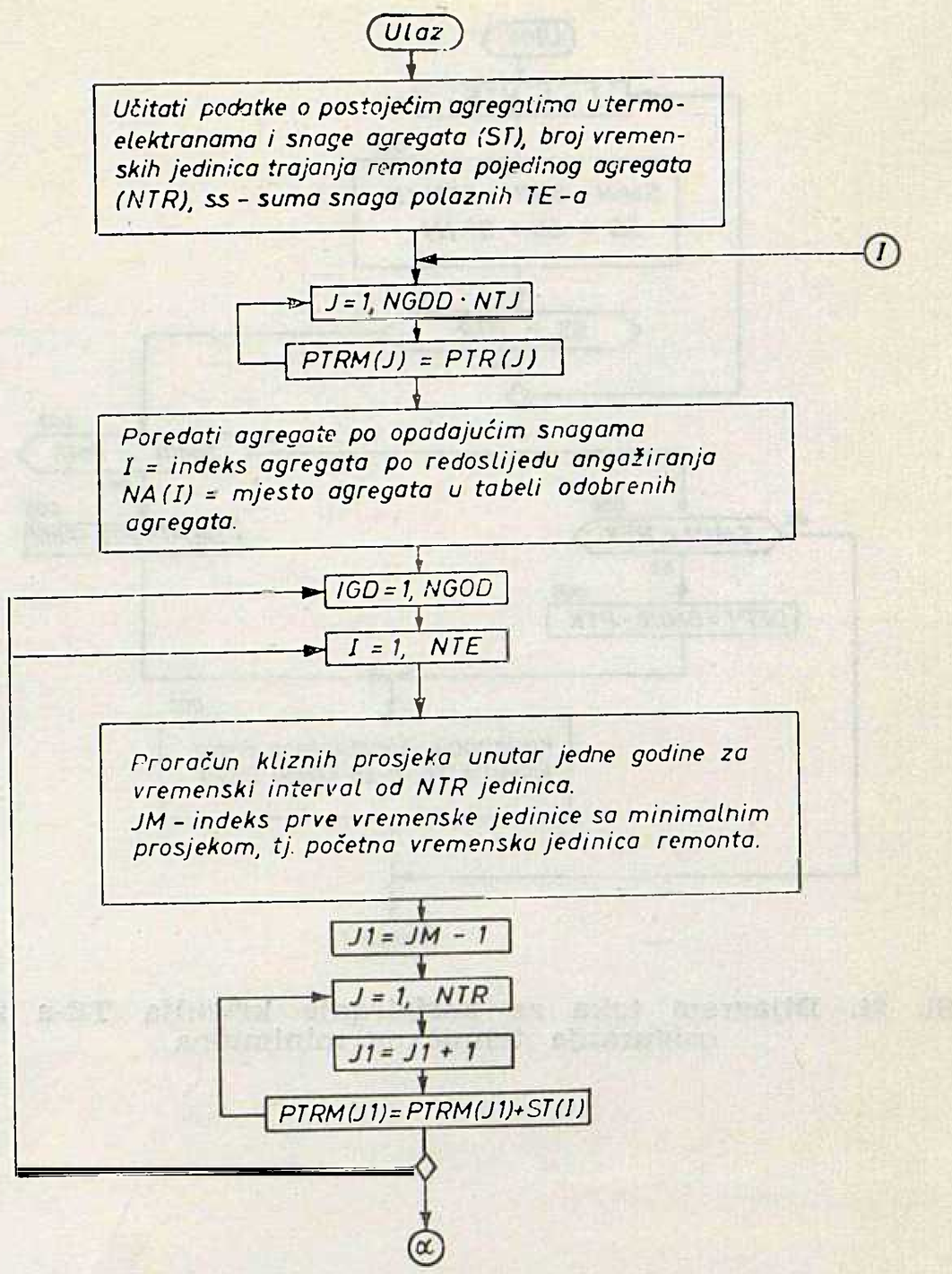
WMV — varijabilna energija konzuma
WHV — moguća varijabilna proizvodnja hidroelektrana
PHV — varijabilna snaga higroelektrana
PHK — konstantna snaga hidroelektrana
YK(1)—YK(4) — ordinate točaka krivulje konzuma
XK(1)—XK(4) — apscise točaka krivulje konzuma
YT(1)—YT(6) — ordinate točaka krivulje termoelektrana
XT(1)—XT(6) — apscise točaka krivulje termoelektrana
XS, YS — koordinate sjecišta krivulje konzuma i krivulje plasirane moguće varijabilne energije hidroelektrana



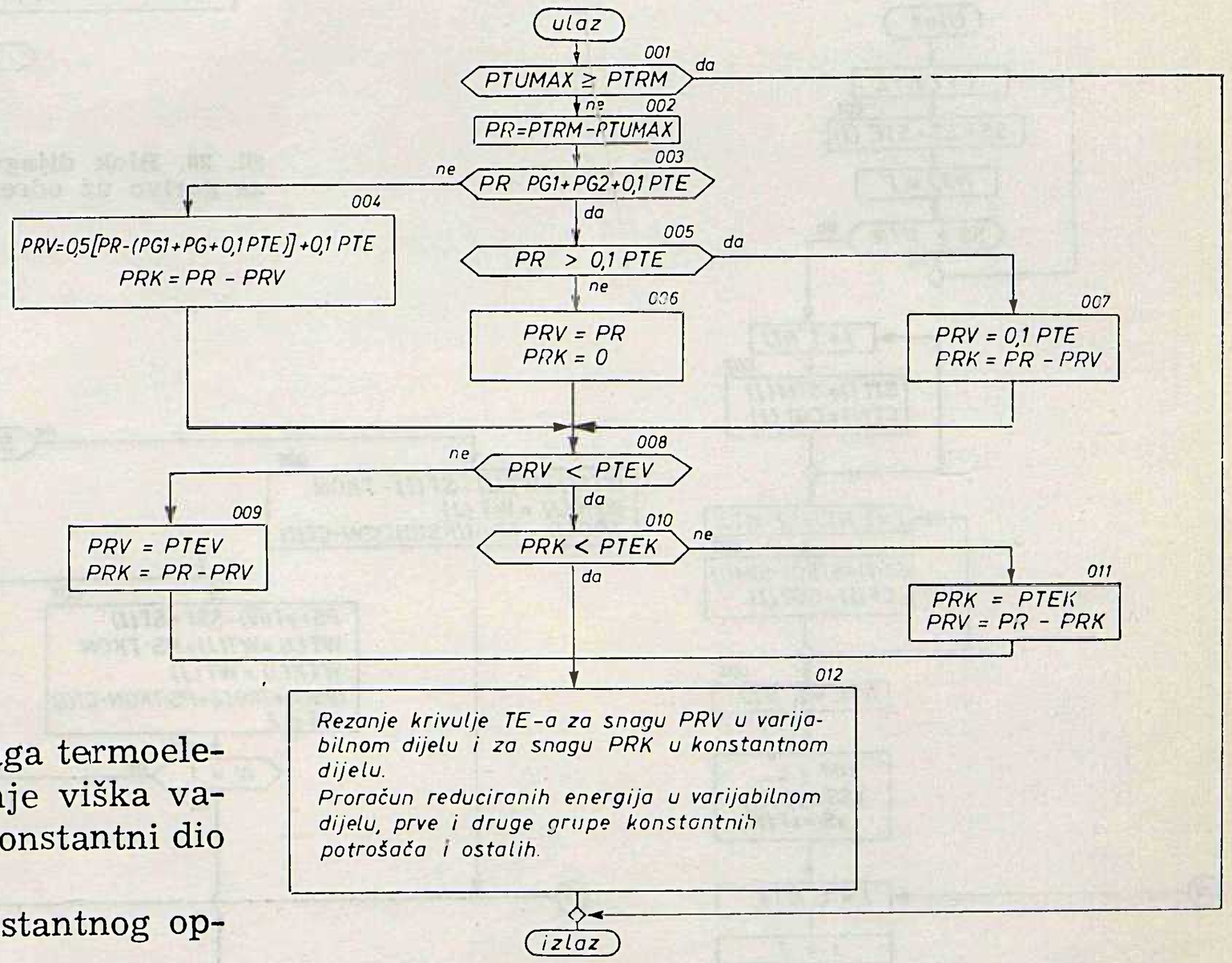
Sl. 18-c



Sl. 19-a



Sl. 19. Dijagram toka za određivanje rasporeda remonta agregata i potrebne ukupne snage termoelketrane



Sl. 20. Dijagram toka za proračun potrebnih redukcija

DPT — potrebna dodatna snaga termoelektrana za prebacivanje viška varijabilne energije u konstantni dio krivulje

TKON — vrijeme trajanja konstantnog opterećenja

DPH — višak snage hidroelektrana

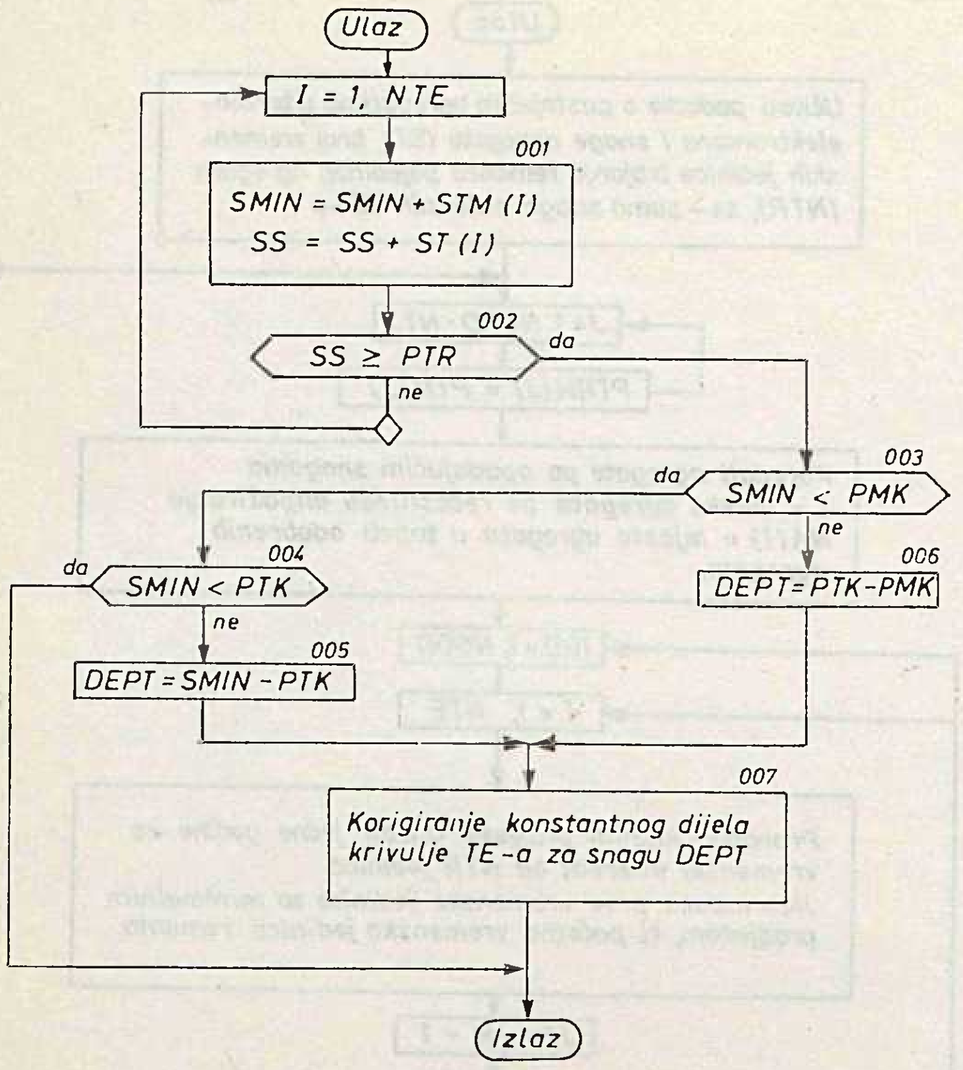
PTE — potrebna snaga termoelektrana za podmirenje konzuma

PTR — potrebna snaga termoelektrana uz osiguranje rotirajuće rezerve

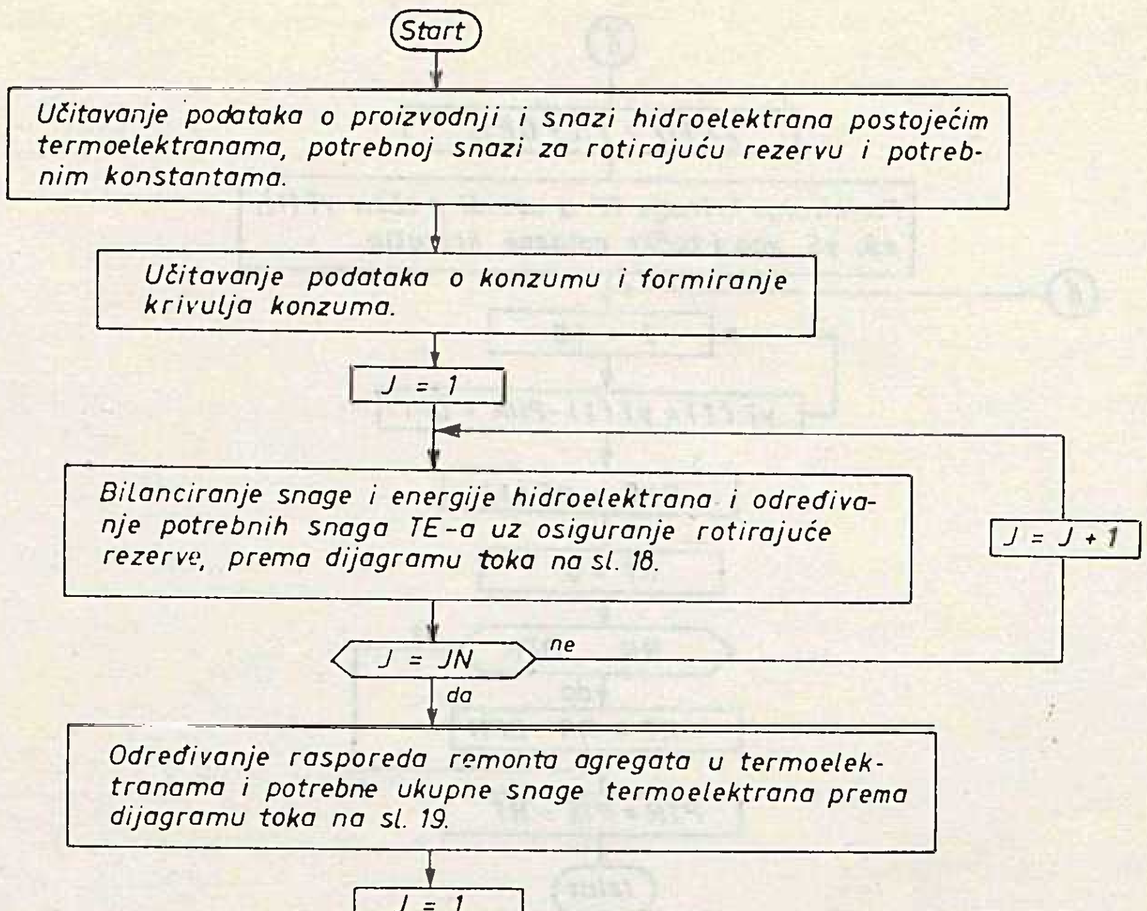
PTRM — potrebna snaga termoelektrana uz osiguranje rotirajuće rezerve i remonta agregata

IV — broj točaka u varijabilnom dijelu krivulje termoelektrana

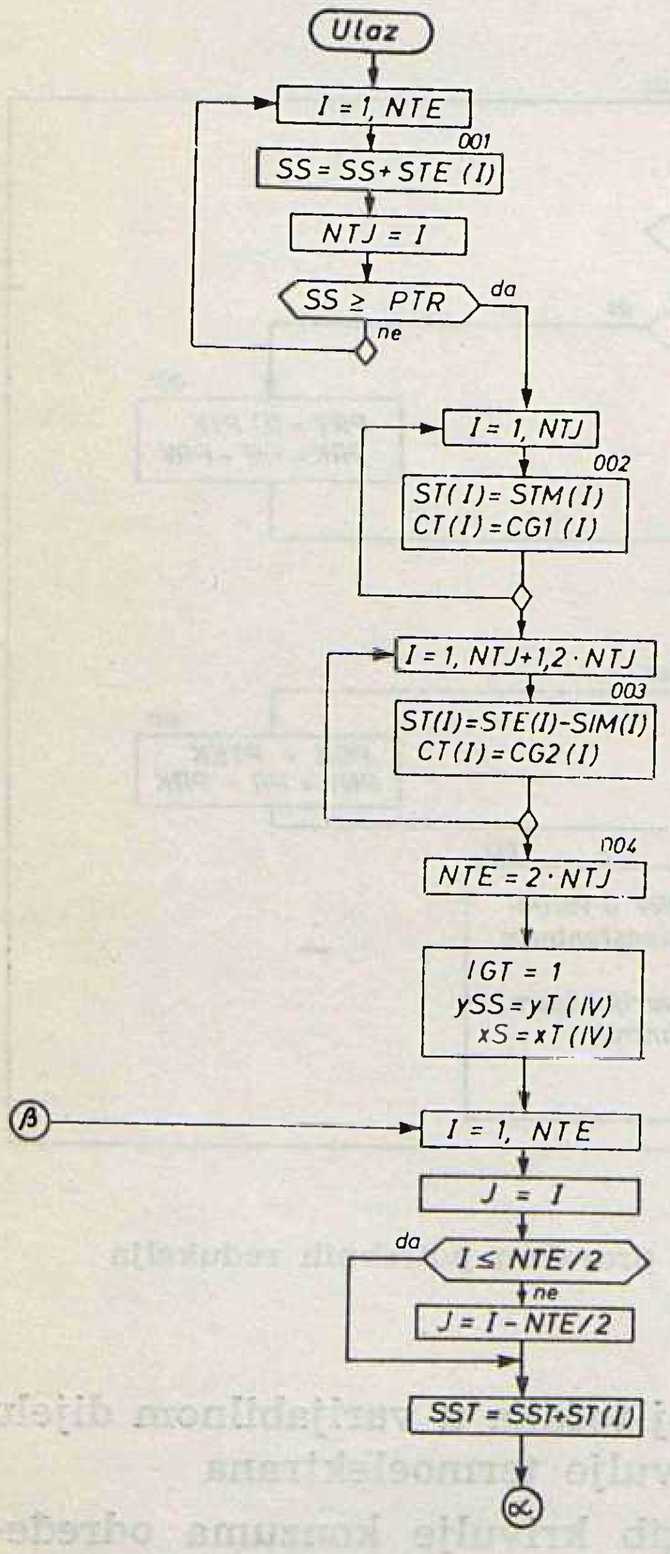
K1 — nagib krivulje konzuma određene točkama XK(1), YK(1); XK(2), YK(2)



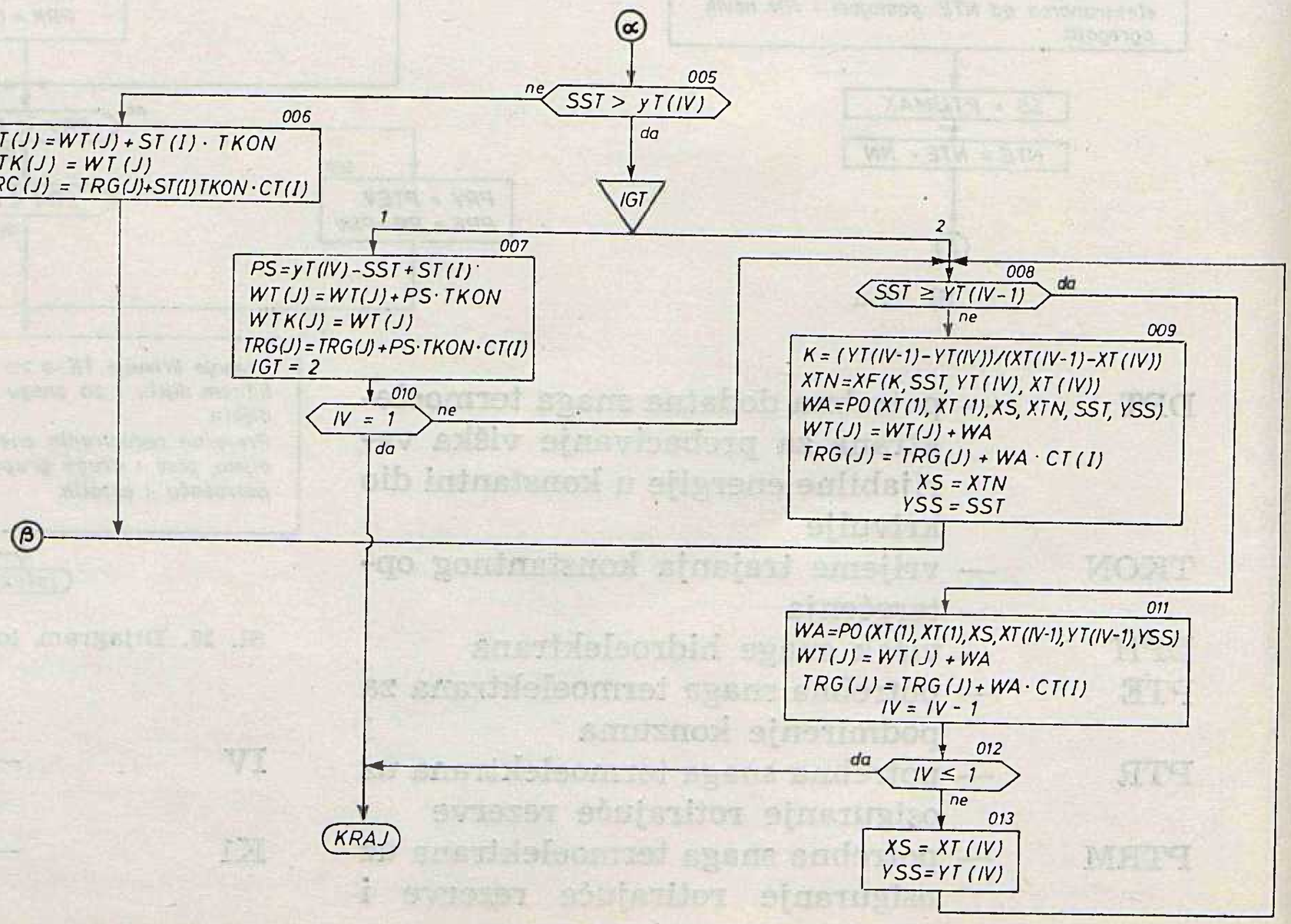
Sl. 21. Dijagram toka za korigiranje krivulja TE-a zbog osiguranja tehničkog minimuma



Sl. 23. Blok dijagram za bilanciranje i određivanje troškova za gorivo uz određivanje rotirajućih rezerva i remonta agregata u termoelektranama



Sl. 22 Dijagram toka za određivanje troškova i proizvodnje pojedinih termoelektrana



Sl. 22-a

K2 — nagib krivulje konzuma određene točkama XK(2), YK(2); XK(3), YK(3)
RR — potrebna snaga za osiguranje rotirajuće rezerve
FS — faktor sigurnosti opskrbe potrošača
NTJ — broj vremenskih jedinica u jednoj godini (tjedana)
NGD — broj godina
MS — interval sigurnosti za određivanje potrebne snage termoelektrana
DST — snaga angažiranja posljednjeg od dopunskih agregata
SMIN — potrebna snaga termoelektrana za osiguranje tehničkog minimuma
ΔWHK — prebačena količina konstantne energije hidroelektrana u varijabilni dio krivulje konzuma
ΔWHV — prebačena količina varijabilne energije hidroelektrana u konstantni dio krivulje konzuma
δWHK — neiskorišteni dio konstantne energije hidroelektrana
PG1 — snaga prve grupe konstantnih potrošača
PG2 — snage druge grupe konstantnih potrošača
PR — snaga redukcije
PRV — snaga redukcije u varijabilnom dijelu dijagrama
PRK — snaga redukcije u konstantnom dijelu dijagrama
WRV — redukcija energije u varijabilnom dijelu dijagrama
WRK — redukcija energije u konstantnom dijelu dijagrama

2. Opis upotrijebljenih matematičkih funkcija koje se navode u dijagramima tokova

Radi jednostavnosti izlaganja u dijagramima tokova upotrebljene su neke matematičke funkcije koje se detaljnije ovdje objašnjavaju. Grafički prikaz tih funkcija nalazi se na sl. 24.

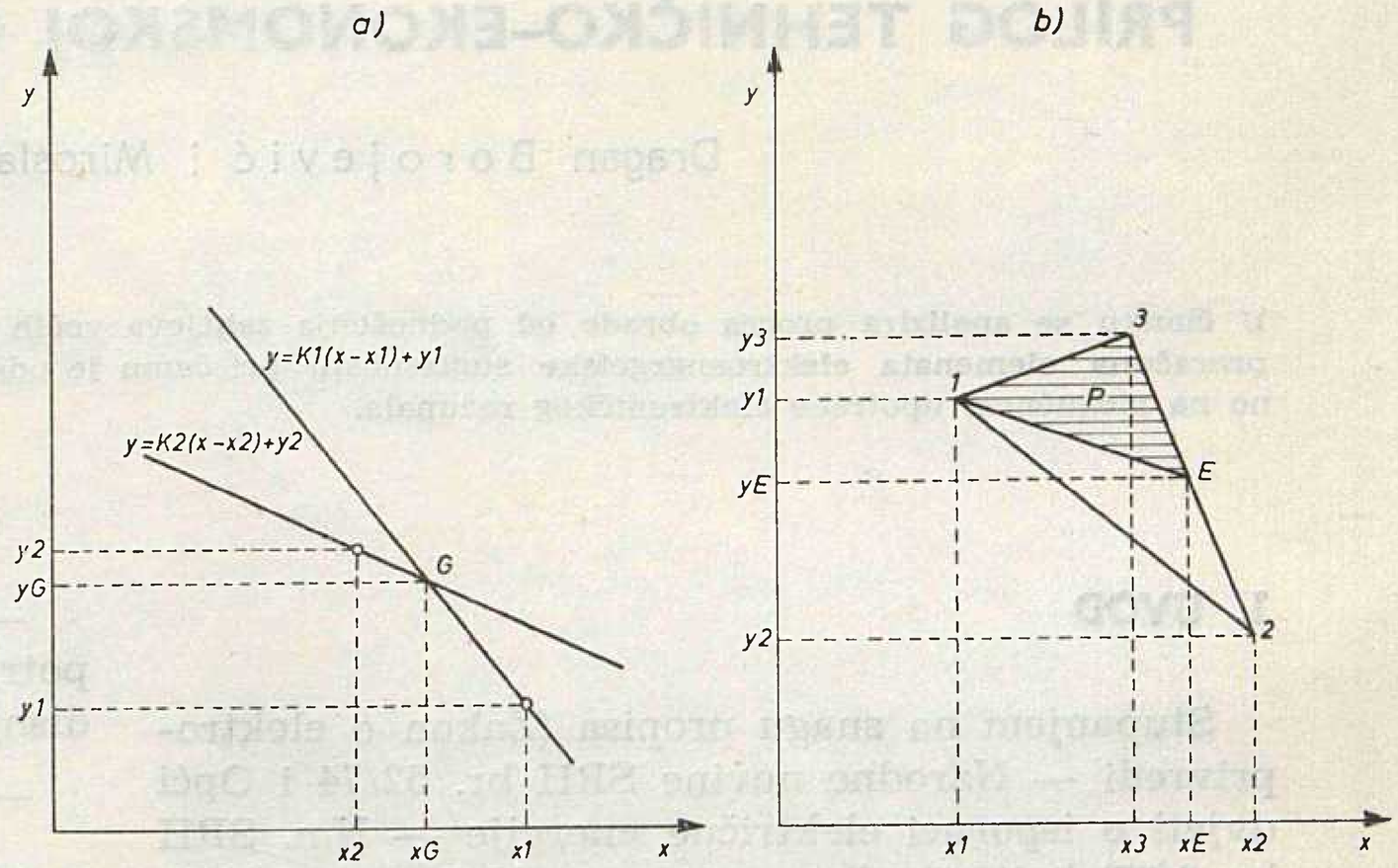
a) YF (K, Y, Y2, X2,) = K (X — X2) + Y2 (2.1)

Funkcija XF je funkcija za određivanje ordinate točke na pravcu ako je zadana ordinata (Y) pravac određena koeficijentom smjera (K) i prolazi točkom (X2, Y2).

b) XF (K, Y, Y2, X2) = 1/K (Y — Y2) + Y2 (2.2)

Funkcija XF je funkcija za određivanje apscise točke na pravcu ako je zadana ordinata (Y) koji je određen koeficijentom smjera (K) i prolazi točkom (X2, Y2).

c) XG (K1, K2, X1, X2, Y1, Y2,) = (K1.X1—
—K2.X2—Y+Y2 / (K1—K2) (2.3)



Sl. 24. Ilustracija uz objašnjenje navedenih funkcija u Dodatku

Funkcija XG je funkcija za određivanje apscise točke sjecišta dvaju pravaca koji su određeni koeficijentima smjera (K1, K2) i prolaze kroz točke (X1, Y1) i (X2, Y2) respektivno.

Funkcije YF, XF i XG se mogu odrediti prema slici 24a.

d) PO (X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3,) = 1/2 [Y1 (X3 — X2) + Y2 (X1 — X3) + Y3 (X2 — X1)] (2.4)

Funkcija PO je funkcija za određivanje površine trokuta koji je određen sa tri točke: (X1, Y1), (X2, Y2), (X3, Y3). Sl. 24-b.

$$e)\ XE(P, K, X1, X3, Y1, Y3) = \frac{2P + X3\,[Y3 - Y1 + K\,(X1 - X3)]}{Y3 - Y1 + K\,(X1 - X3)} \qquad (2.5)$$

Funkcija XE je funkcija za određivanje apscise točke na pravcu koji prolazi točkama (3) i (2) i sl. 24-b, s time da površina trokuta određenog tim pravcem i pravcem koji prolazi točkama (1) i (3) i kosim pravcem kroz točku E bude jednaka površini P. (X1, Y1) i (X3, Y3) su koordinate točaka (1) i (3), a K je nagib pravca koji prolazi točkama (3) i (2).

LITERATURA

1. H. Požar.: Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima. Zajednica Jugoslavenske elektroprivrede, Beograd, 1966.
2. B. Udovičić: Neka poboljšanja metode konstantne i varijabilne energije za elektroenergetske bilance, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1974.
3. H. Požar — V. Filipović — P. Bodlović: Osnovna načela i metode za vrednovanje električne energije Institutu za elektroprivredu, Zagreb, 1971.
4. H. Požar — V. Filipović — P. Bodlović: Metoda konstantne i varijabilne energije za analizu prilika u elektroenergetskom sistemu prilogađena proračunu na elektroničkom računalu Energija 1972., br. 3/4 i 5/6.
5. B. Kalan: Poboljšanje metode konstantne i varijabilne energije i usporedba s dosada upotrebljavanim metodama Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1976.

Naslov pisca:
Mr Kalan Boris, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu u Zagrebu

PRILOG TEHNIČKO-EKONOMSKOJ OBRADI VEĆIH POTROŠAČA

Dragan Borojević i Miroslav Balling, Zagreb

U članku se analizira proces obrade od podnošenja zahtjeva većih potrošača za priključenje ili za povećanje potrošnje do proračuna elemenata elektroenergetske suglasnosti, pri čemu je odgovarajućim dijagramom toka i njegovim opisom ukazano na mogućnost upotrebe elektroničkog računala.

DK 621.316.003

1. UVOD

Stupanjem na snagu propisa (Zakon o elektroprivredi — Narodne novine SRH br. 52/74 i Opći uvjeti o isporuci električne energije — N.n. SRH br. 3/77) koji utvrđuju osnove na kojima se odvija odnos isporučilaca i potrošača električne energije pojavila se potreba da u osnovnom dokumentu tih odnosa u elektroenergetskoj suglasnosti odnosno, u ugovoru o priključenju, budu zadovoljeni interesi jednih i drugih. U stvari, težilo se da ti interesi budu usklađeni u okviru zajedničkog optimuma i da zadovoljavaju tehnološke potrebe obaju partnera.

Dnevna praksa je ubrzo pokazala da obrada takvog dokumenta, koja kao konačan rezultat traži rješenje vrlo velikog niza varijanata uvjetovanih variranjem ulaznih podataka zahtijeva metodu koja uključuje upotrebu elektroničkog računala. S druge strane bilo je važno utvrditi koji sve podaci i s kojim kvalitetom ulaze u konačni račun imajući na umu osnovni cilj da

— tehničko rješenje svojim ekonomskim posljedicama ne optereti bez potrebe cijenu električne energije u distributivnom sistemu,

— stimulira i usmjeri potrošača električne energije na određeni način potrošnje i angažiranja snage i time pridonese optimalnom režimu rada elektroenergetskog sistema.

2. ZAHTJEV POTROŠAČA ZA ISPORUKOM ELEKTRIČNE ENERGIJE

Potrošač koji želi svoju električnu instalaciju priključiti na energetska postrojenja elektroprivredne organizacije, kao i potrošač koji je već priključen, a ima potrebu da mu se poveća dosadašnja isporuka električne energije, postavlja u smislu propisa (Zakon o elektroprivredi N. n. SRH br. 52/74. i Opći uvjeti o isporuci električne energije — N. n. SRH br. 3/77) elektroprivrednoj organizaciji (u daljnjem: isporučilac) zahtjev za davanje elektroenergetske suglasnosti. U svom zahtjevu potročaš daje podatke koji predstavljaju osnovu za izdavanje spomenute suglasnosti, i to:

— lokaciju postrojenja,

— pregled razvoja opterećenja i potrošnje po godinama,

— režim korištenja snage i energije (raspored potrošnje i opterećenja — dnevni, mjesečni i godišnji) vezan uz tehnološki proces potrošača,

— uvjete u vezi s naponskim prilikama,

— podatke o redovitom remontu u pogledu termina, trajanja i korištenja električne energije u vrijeme remonta,

— podatke o vlastitim izvorima električne energije s uvjetima i načinom njihova korištenja,

— podatke o faktoru snage (cos fi).

3. ELEKTROENERGETSKA SUGLASNOST — UGOVOR O PRIKLJUČENJU

3.1. Zakonski normativi

Na zahtjev potrošača elektroprivredna organizacija izdaje elektroenergetsku suglasnost, odnosno predlaže ugovor o priključenju u skladu sa zakonskim normativima uz ova ograničenja:

— ako je ispunjenje zahtjeva u granicama energetsko-ekonomskih i tehničkih mogućnosti,

— ako je predviđeno povećanje potrošnje električne energije u skladu s programima razvoja i s planovima izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja,

— ako se tim povećanjem potrošnje električne energije bitno ne ugrožava opskrba postojećih potrošača u odnosu na odobrene količine električne energije i kakvoću električne energije utvrđene Općim uvjetima.

Ako ne postoje navedeni uvjeti, isporučilac i potrošač ugovorom o priključenju utvrđuju posebne uvjete za davanje elektroenergetske suglasnosti.

U svakom slučaju elektroenergetska suglasnost ili ugovor o priključenju sadržavaju:

— tehničko rješenje priključka,

— energetske obveze isporučioca u pogledu isporuke električne energije potrošaču,

— obveze potrošača u pogledu režima korištenja električne energije,

— financijsko-ekonomske odnose isporučioca i potrošača.

3.2. Tehničko rješenje

Tehničko rješenje priključka koje je zapravo rezultat analiza o kojima se kasnije govori, definira sve tehničke parametre koji se odnose na priključak potrošača, a svakako mora sadržavati:

— energetske veličine na osnovu kojih je razrađeno tehničko rješenje,
— mjesto i napon priključka,
— terminske rokove priključenja (ev. etapna izgradnja priključka),
— mjesta predaje i mjerenja električne energije,
— način izgradnje priključka odnosno njegovih elemenata (vodova, transformatorskih i rasklopnih postrojenja, upravljačkih i zaštitnih uređaja i sl.),
— investicijska ulaganja.

4. PODACI O ZONI PRIKLJUČKA

4.1. Zona priključka

Zona priključka je područje u kojem potrošač svojim priključkom može na bilo koji način utjecati na energetske prilike u mreži.

Veličina ove zone ovisi o veličini i značaju potrošača, naponu priključka, konfiguraciji mreže, osiguranju rezerve i pogonskim manipulacijama. Zona priključka je obično predstavljena situacijom mreže na geografskoj podlozi i jednopolnom shemom mreže.

4.2. Postojeće stanje konzuma i mreže

4.2.1. Analiza konzuma

Postojeći konzum u zoni priključka analiziramo da dobijemo polaznu osnovu za ocjenu njegova daljenjeg razvoja, u okviru čega se posebno promatra razvoj konzuma potrošača koji je predmet obrade.

Rezultati ove analize služe za usporedbu s eventualnim prethodnim predviđanjima razvoja konzuma iz Osnovnog rješenja ili drugih parcijalnih rješenja u dijelu koji se odnosi na zonu priključka.

Analiza treba dati podatke o veličini i strukturi konzuma za zonu kao cjelinu i po pojnim točkama u zoni priključka.

4.2.2 Analiza mreže

U zoni priključka analiziraju se osnovni elementi mreže u pogledu:

— opterećenosti mreže,
— naponskih prilika,
— sigurnosti napajanja,
— upravljanja mrežom i
— osiguranja rezerve u mreži.

Podloge za te analize su situacija i shema elektroenergetske mreže u zoni priključka, podaci sadržani u tekućoj evidenciji distributivne organizacije kao što su:

— vrsta, presjek, materijal i duljina vodova,
— trase vodova,
— instalirane snage transformatora,
— jednopolne sheme transformatorskih stanica,
— otpisanost vodova, odnosno transformatorskih stanica,
— podaci o vlasništvu nad osnovnim sredstvima,

te podaci koji su ili sadržani u evidencijama energetskih službi ili se dobiju mjerenjem, kao što su:

— pregled vršnih opterećenja elemenata mreže i
— naponske prilike u pojedinim čvorištima mreže.

4.3. Planovi razvoja konzuma i mreže

4.3.1. Razvoj konzuma

Razvoj konzuma u zoni priključka promatramo kroz:

— planove razvoja postojeće industrije,
— planove razvoja nove industrije i
— razvoj široke potrošnje.

Do informacija o planovima razvoja konzuma dolazimo preko Osnovnog rješenja elektroenergetske mreže ili parcijalnih elektroenergetskih rješenja, ako su ona izrađena. Ti planovi aktualiziraju se s obzirom na već dostignuti nivo razvoja konzuma u promatranoj zoni, kao i s obzirom na nove momente koji su se u međuvremenu (u toku etapne realizacije rješenja) pojavili.

U nedostatku ovih rješenja potrebno je anketiranjem i obradom doći do podataka o planovima razvoja industrije i široke potrošnje. Anketiraju se postojeći industrijski potrošači i odgovarajući organi koji kreiraju društvene planove, a posebno se obrađuju urbanističke podloge iz urbanističkih programa, planova i parcijalnih rješenja, koje sadrže osnovne podatke o porastu broja stanovnika, te razvoju industrije i infrastrukture i njihovu prostornom razmještaju.

Ova analiza treba dati podatke o veličini i strukturi očekivanog konzuma u zoni priključka za period promatranja.

Posebno se analizira razvoj opterećenja i potrošnje potrošača koji je podnio zahtjev za priključak

i njegov utjecaj na veličinu i trendove ukupnog konzuma u zoni priključka.

Rezultati ovih analiza predstavljaju energetsku podlogu za analizu razvoja mreže u zoni priključka i posebno za analizu osnovnih tehničkih uvjeta priključka potrošača.

4.3.2. Razvoj mreže i tehnička rješenja priključka

Osnovne podatke o razvoju elektroenergetske mreže u zoni priključka pružaju: Osnovno rješenje elektroenergetske mreže, parcijalna elektroenergetska rješenja, te godišnji i višegodišnji planovi i programi razvoja distributivne radne organizacije.

Podaci iz rješenja, planova i programa usklađuju se s razvojem konzuma (t. 4. 3. 1) i na taj način se potvrđuju ili revidiraju raniji planovi razvoja mreže u zoni priključka.

U okviru revidirane mreže posebno se utvrđuju moguća tehnička rješenja napajanja potrošača sa svrhom izbora tehnički prihvatljivih varijanti, uzimajući pri tome u obzir i eventualne posebne zahtjeve potrošača u pogledu rezerve.

Obrada samog priključka je detaljna i u okviru tehničke problematike svakako sadrži:

— analizu opteretivosti postrojenja vezanih uz priključak,

— analizu električnih prilika,

— analizu sigurnosti napajanja potrošača i

— etapnu realizaciju priključka.

Analiza opteretivosti pojedinih elemenata mreže od mjesta potrošnje do mjesta preuzimanja električne energije provodi se za svaku transformatorsku stanicu i svaki vod. Ovisno o veličini i karakteru konzuma pojnih točaka i promatranog potrošača ocjenjuje se u kojem dijelu postojeći elementi mreže mogu prihvatiti novo opterećenje i koji je opseg dodatnih zahvata u mreži.

Analiza električnih prilika uglavnom obrađuje varijacije napona i obično se provodi za stacionarni pogon pod maksimalnim opterećenjem i u praznom hodu. Ponekad je potrebno da se ovakve analize provedu i za nestacionarne pojave, ako se radi o priključku pogona sa strojevima koji po svojoj veličini i tehnologiji rada mogu bitno utjecati na varijacije napona i izobličenje sinusoide napona.

Sigurnost napajanja potrošača ovisi o učestalosti i trajanju kvarova pojedinih elemenata priključka. Poznavanje ovih podataka u zoni priključka omogućava nam da pravilno dimenzioniramo rezervu u preiključku. Rezerva u postrojenjima i vodovima također ovisi i o veličini potrošača i karakteru njegova tehnološkog procesa i ona može biti sastavni dio zahtjeva potrošača.

Rezultati navedenih analiza daju osnovne parametre tehničkog rješenja priključka (vidi t. 3. 2).

5. EKONOMSKA OBRADA POTROŠAČA

5.1. Osnove proračuna

Osnovni su podaci za ocjenu ekonomskih efekata potrošača:

— potrošnja električne energije te njezina dnevna i godišnja raspodjela,

— vršno opterećenje i njegove varijacije po mjesecima u toku godine,

— gubici snage i energije od mjesta nabave do mjesta prodaje električne energije,

— podaci o snazi i proizvodnji električne energije vlastitog izvora, ako ga potrošač ima ili planira,

— tarifni stavovi za nabavu i prodaju električne energije

— investicijska ulaganja za svaku od tehnički prihvatljivih varijanti priključka (t. 4.3.2).

Osnovni odnosi koji karakteriziraju potrošnju i opterećenje novog potrošača određeni su

— omjerom potrošnje u nižoj i višoj sezoni,

— omjerom potrošnje u većoj i manjoj tarifi i

— omjerom srednjih vrijednosti mjesečnih maksimalnih opterećenja i maksimalnog godišnjeg opterećenja.

Ti omjeri dobiju se ili analizom energetskih podataka postojećih potrošača, koji se proširuju zadržavajući sličan karakter potrošnje, ili analizom tehnološkog procesa novih potrošača i postojećih sličnih potrošača.

Iz navedenih podataka izračunava se realizacija od prodaje električne energije i godišnji troškovi za nove investicijske objekte vezane za priključak potrošača sa svrhom da se dođe do ostatka dohotka koji je ekonomski pokazatelj boniteta pojedine varijante.

Realizacija u dinarima, kao razlika između iznosa za prodaju i nabavu električne energije, izračunava se na osnovi energetskih potreba potrošača i tarifnih stavova za nabavu i prodaju električne energije. Pri tome se zanemaruju efekti od prekomjerno preuzete jalove energije, jer ih ili nema ili su zanemarivi uz pretpostavljenu kompenzaciju jalove energije.

Po sadašnjim odnosima u elektroprivredi, distributivna radna organizacija u pravilu nabavlja električnu energiju iz mreže prijenosa po tarifnim stavovima nabave na naponskim nivoima 110 i 35 (30) kV, a može je isporučivati iz razdjelne mreže na naponskim nivoima 110 kV, 35(30) kV, 10(20) kV i 0,4 kV.

Realizacija se može računati za svaku od mogućih kombinacija prodaja — nabava, no obično se računa za one kombinacije koje odgovaraju tehnički prihvatljivim varijantama priključka (t. 4.3.2).

Kad opterećenje i potrošnja električne energije rastu eksponencijalno, pretpostavlja se da tako raste i realizacija, pa se ona računa za prvu i posljednju godinu promatranog perioda. Realizacija po godinama izračuna se po odgovarajućoj stopi rasta, a dalje slijedi godišnji prirast realizacije u odnosu na početnu godinu i kumulativni prirast do određene godine.

Ako opterećenje i potrošnja električne energije rastu stepenasto (po etapama), realizacija se računa posebno za svaku godinu, a zatim se izračunava godišnji i kumulativni prirast realizacije.

Kod proračuna realizacije od prodaje električne energije treba uzeti u obzir količine energije i snage proizvedene u vlastitim agregatima potrošača, ako ih on ima.

Investicijska ulaganja za svaku od tehnički prihvatljivih varijanti utvrđuju se na bazi opsega novih postrojenja vezanih za priključak i jediničnih cijena. Opseg i struktura ovih ulaganja čine osnovu za dogovore o osiguranju sredstava i procjenu godišnjih troškova novog postrojenja.

5.2. Obrada na elektroničkom računalu

Način proračuna realizacije naročito je pogodan za elektroničku obradu, pa su u idućim točkama navedeni ulazni podaci, varijable u programu, izlazne veličine i dijagram toka za ovaj proračun.

5.2.1. Ulazni podaci

VNS — omjer godišnje potrošnje u nižoj i višoj sezoni

VMT — omjer godišnje potrošnje u većoj i manjoj tarifi

FO — omjer srednje vrijednosti mjesečnih maksimalnih opterećenja i maksimalnog godišnjeg opterećenja

IPV — početna realizacija od prodaje električne energije (IPV=O za novog potrošača)

CE(L2, L3) — jedinične cijene radne energije prema tarifnim stavovima
L3=1 za prodaju na 110 kV (distribucija)
L3=2 za prodaju na 30(35) kV (distribucija)
L3=3 za prodaju na 10 kV (distribucija)
L3=4 za nabavu na 110 kV (prijenos)
L3=5 za nabavu na 30(35) kV (prijenos)
L2=1 za potrošnju u višoj sezoni i većoj traifi
L2=2 za potrošnju u višoj sezoni i manjoj tarifi
L2=3 za potrošnju u nižoj sezoni i većoj tarifi
L2=4 za potrošnju u nižoj sezoni i manjoj tarifi

CS(L1, L3) — jedinične cijene snage prema tarifnim stavovima
L3 — isto kao i prije
L1 = 1 za višu sezonu
L1 = 2 za nižu sezonu

KA(I) — polje organizacijskog karaktera

IGOD(I) — godina obrade

OPT(I) — maksimalno radno opterećenje potrošača u godini

POT(I) — godišnja potrošnja potrošača

MR(I) — mjesec u kojem se obavlja remont

IDR(I) — trajanje remonta

OPTR(I) — opterećenje za vrijeme remonta

SAL(I) — radna snaga koju daje agregat u ljetnom periodu

SAZ(I) — radna snaga koju daje agregat u zimskom periodu

EAL(I) — proizvodnja agregata u ljetnom periodu

EAZ(I) — proizvodnja agregata u zimskom periodu

5.2.2. Varijable u programu

EAVS(I) — proizvodnja agregata u višoj sezoni

EANS(I) — proizvodnja agregata u nižoj sezoni

PL(I) — opterećenje potrošača na mreži distribucije u ljetnom periodu

PZ(I) — opterećenje potrošača na mreži distribucije u zimskom periodu

EVS(I) — potrošnja iz distributivne mreže u višoj sezoni

ENS(I) — potrošnja iz distributivne mreže u nižoj sezoni

EVV(I) — potrošnja iz distributivne mreže u višoj sezoni i većoj tarifi

EVM(I) — potrošnja iz distributivne mreže u višoj sezoni i manjoj tarifi

ENV(I) — potrošnja iz distributivne mreže u nižoj sezoni i većoj tarifi

ENM(I) — potrošnja iz distributivne mreže u nižoj sezoni i manjoj tarifi

EUK(I) — ukupna potrošnja iz distributivne mreže

PVS(I) — zbirna snaga za obračun u višoj sezoni

PNS(I) — zbirna snaga za obračun u nižoj sezoni

PV(I) — pomoćna varijabla

PN(I) — pomoćna varijabla

PU(I) — zbroj obračunatih snaga

UNE(L2, L3) — iznosi za isporučenu i nabavljenu radnu energiju u dinarima
L3 — isto kao u točki 5.2.1.
L2 — isto kao u točki 5.2.1.

UNS(L1, L3) — iznosi za obračunatu radnu snagu na mreži distribucije (prodaja) i mreži prijenosa (nabava) u dinarima
L3 — isto kao prije
L1 = 1 u višoj sezoni
L1 = 2 u nižoj sezoni

UIZE(I, L3) — iznosi za isporučenu i nabavljenu radnu energiju u dinarima za moguće varijante prodaje odnosno nabave
L3 — isto kao i prije

UIZS(I, L3) — iznosi za isporučenu i nabavljenu radnu snagu u dinarima za moguće varijante prodaje odnosno nabave
L3 — isto kao i prije

UIZN(I, L3) — iznosi za isporučenu i nabavljenu radnu energiju i snagu u dinarima za moguće varijante prodaje odnosno nabave
L3 — isto kao i prije

PCE(L3) — prosječna cijena isporučene i nabavljene radne energije za moguće varijante prodaje odnosno nabave
L3 — isto kao i prije

PCS(L3) — prosječna cijena isporučene i nabavljene radne snage za moguće varijante prodaje odnosno nabave
L3 — isto kao i prije

UIZP(I, L3) — prosječna cijena isporučene i nabavljene radne energije i snage za mogućgge varijante prodaje odnosno nabave

UIRV — realizacija u dinarima za pojedinu varijantu po godinama

UIRR — realizacija od nove potrošnje za pojedinu varijantu po godinama

UIKV — kumulativ realizacije od nove potrošnje u određenom vremenskom razdoblju po varijantama.

5.2.3. Izlazne veličine

Izlazne veličine u vidu tabelarnih prikaza daju detaljne informacije najprije za svaku godinu, a zatim posebno za moguće varijante prodaja —nabava.

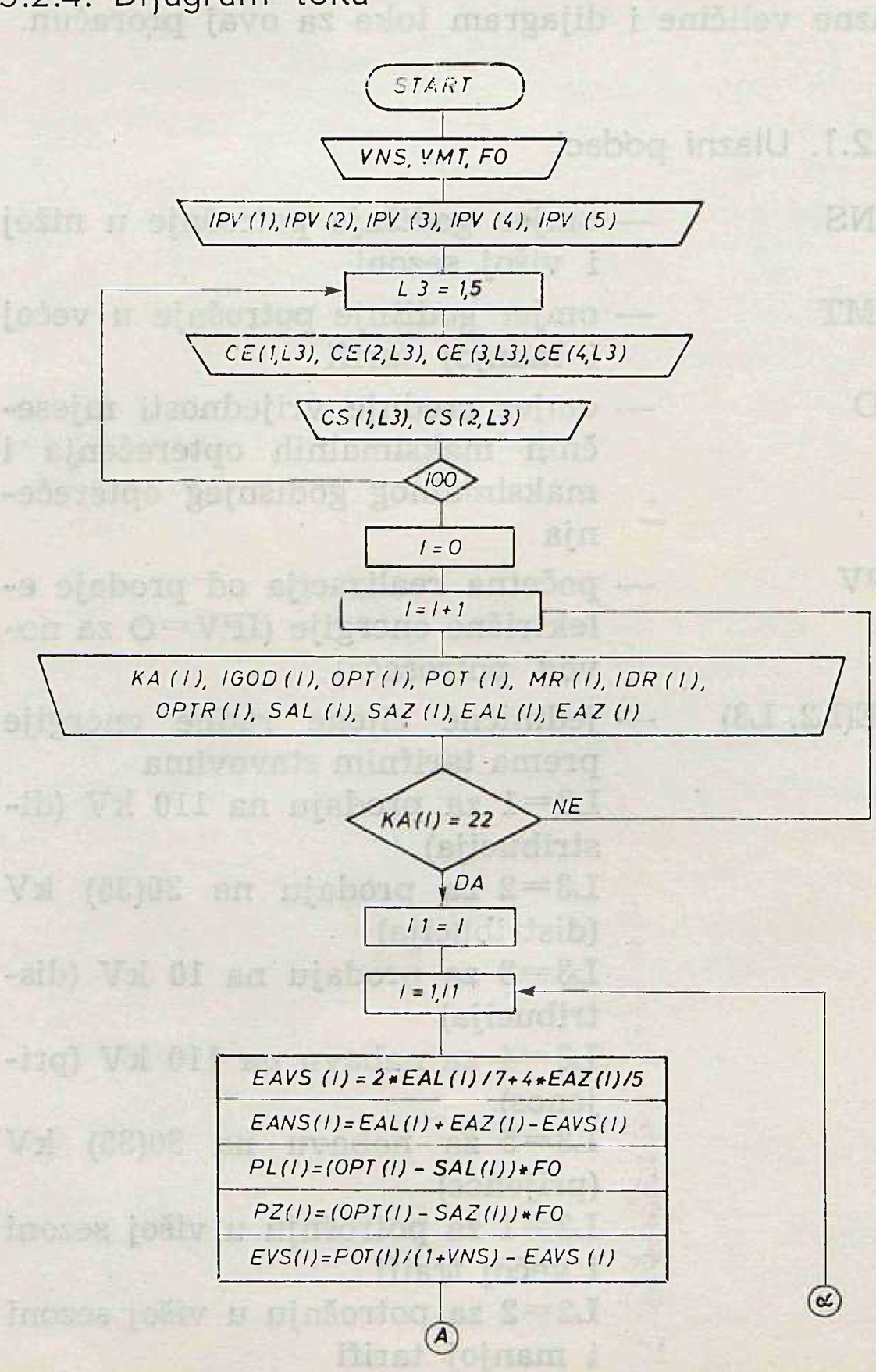
Po godinama dana je:

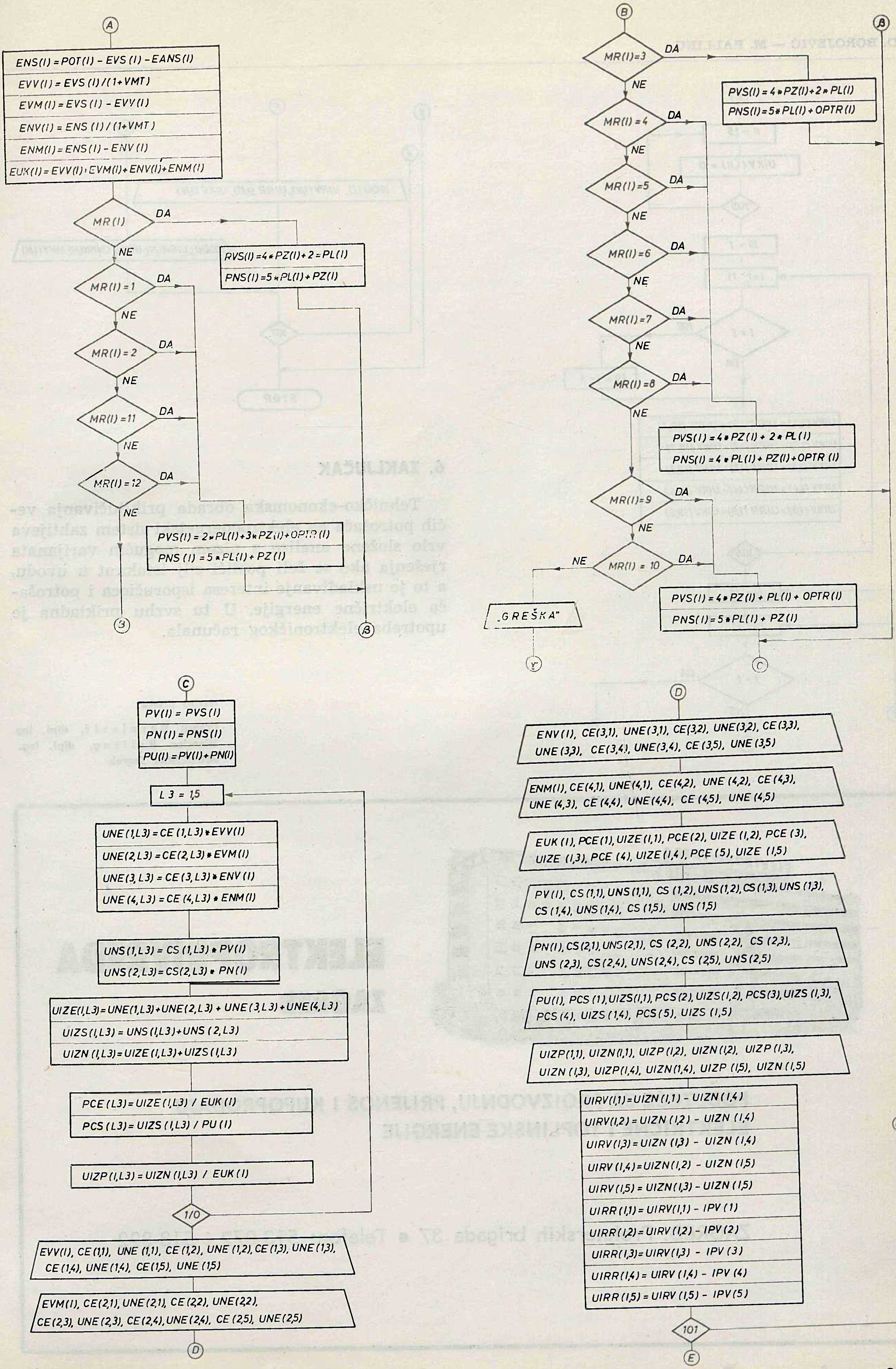
— količina radne energije po sezonama i tarifama,
— iznos u dinarima za isporučenu i nabavljenu radnu energiju po sezonama i tarifama za moguće varijante prodaje odnosno nabave,
— ukupan iznos u dinarima za isporučenu i nabavljenu radnu energiju za moguće varijante prodaje odnosno nabave,
— zbirno opterećenje potrošača na mreži distribucije po sezonama,
— iznos u dinarima za isporučenu i nabavljenu radnu snagu po sezonama za moguće varijante prodaje odnosno nabave,
— ukupan iznos u dinarima za isporučenu i nabavljenu radnu snagu za moguće varijante prodaje odnosno nabave,
— ukupan iznos u dinarima za isporučenu i nabavljenu radnu energiju i snagu za moguće varijante prodaje odnosno nabave,
— tarifni stavovi,
— prosječne cijene.

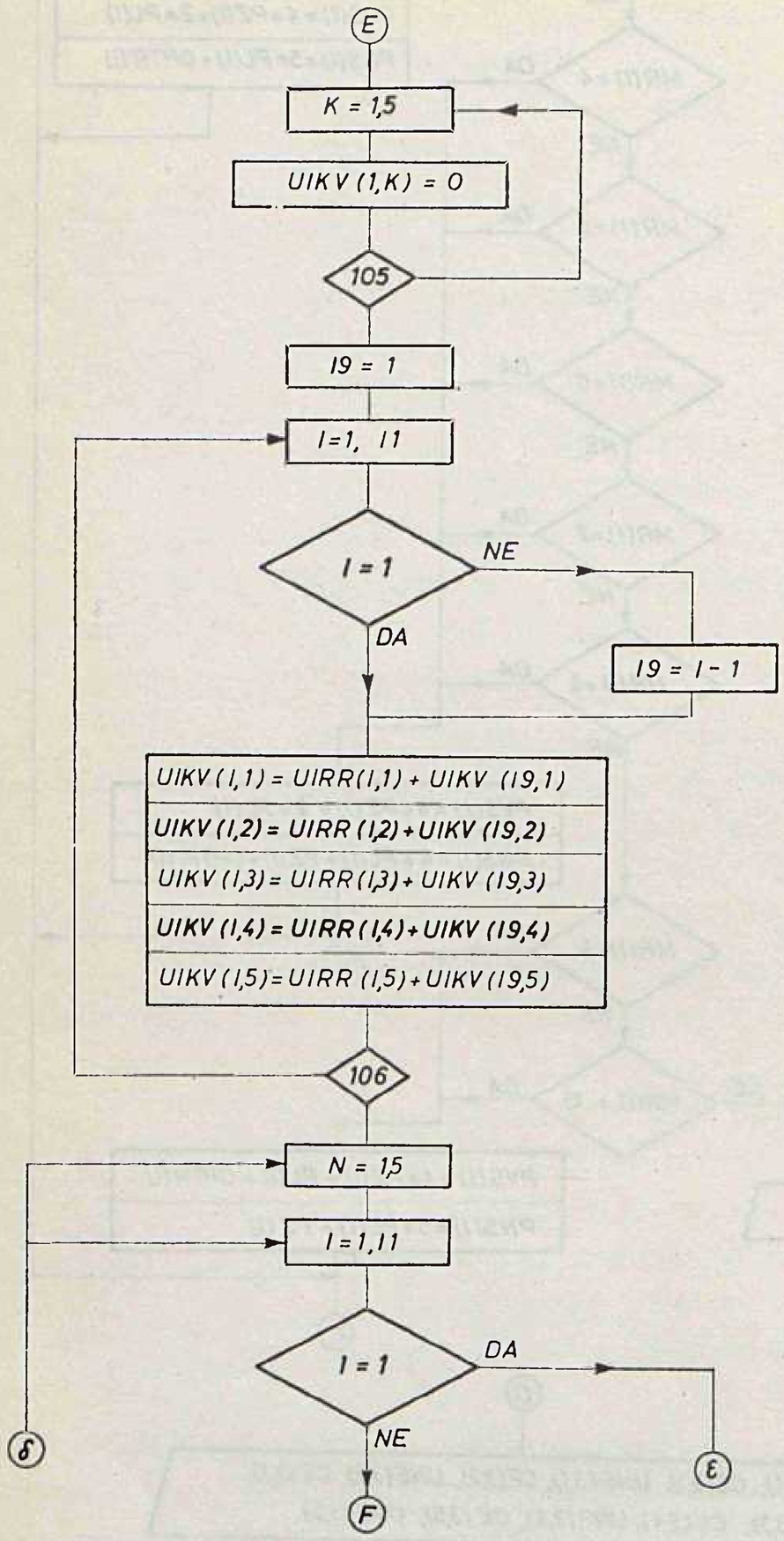
Po varijantama prodaja — nabava dana je:

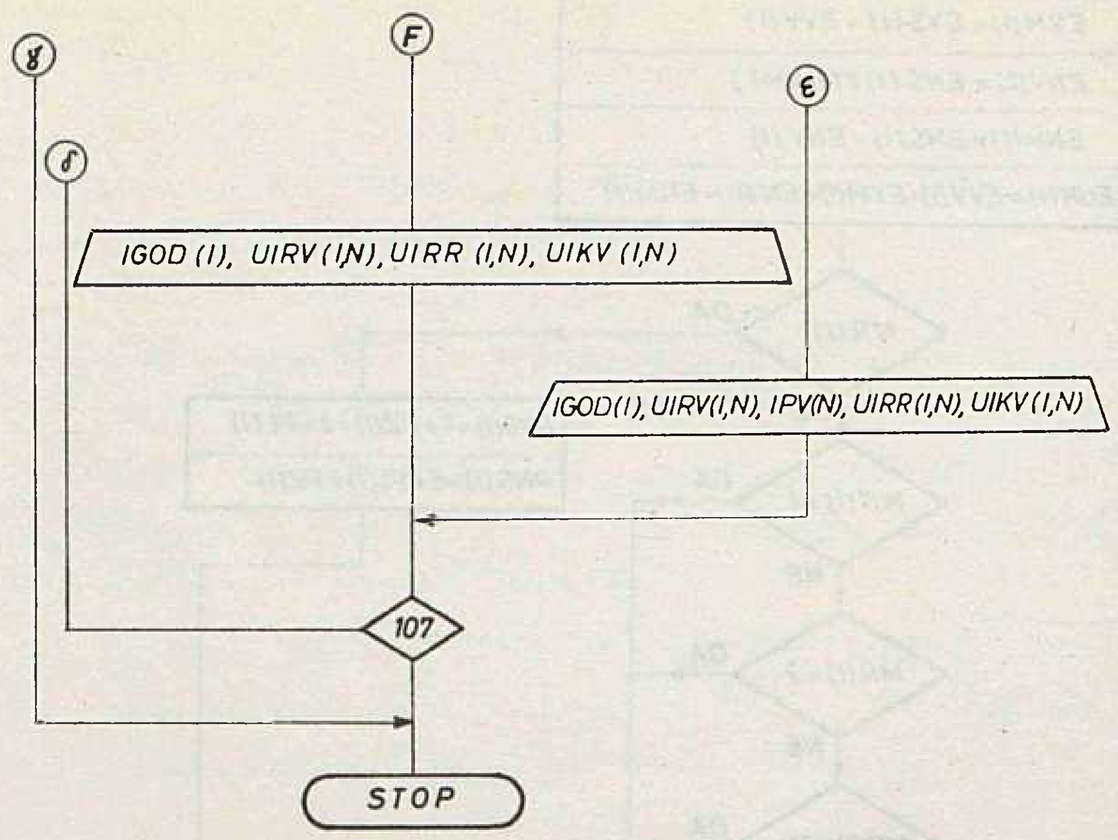
— realiacija za isporučenu električnu energiju po godinama,
— početna realizacija (za postojeću potrošnju),
— realizacija od nove potrošnje po godinama,
— kumulativna realizacija od nove potrošnje do svake godine u promatranom periodu.

5.2.4. Dijagram toka




A
ENS(I) = POT(I) - EVS (I) - EANS(I)
EVV(I) = EVS (I) / (1+VMT)
EVM(I) = EVS (I) - EVV (I)
ENV(I) = ENS (I) / (1+VMT)
ENM(I) = ENS (I) - ENV (I)
EUK(I) = EVV(I) + EVM(I) + ENV(I) + ENM(I)
MR(I)
DA
NE
RVS(I) = 4 * PZ(I) + 2 = PL(I)
PNS(I) = 5 * PL(I) + PZ(I)
MR(I) = 1
MR(I) = 2
MR(I) = 11
MR(I) = 12
PVS(I) = 2 * PL(I) + 3 * PZ(I) + OPTR (I)
PNS (I) = 5 * PL(I) + PZ (I)
B
MR(I) = 3
PVS(I) = 4 * PZ(I) + 2 * PL(I)
PNS(I) = 5 * PL(I) + OPTR (I)
MR(I) = 4
MR(I) = 5
MR(I) = 6
MR(I) = 7
MR(I) = 8
PVS(I) = 4 * PZ(I) + 2 * PL(I)
PNS(I) = 4 * PL(I) + PZ(I) + OPTR (I)
MR(I) = 9
MR(I) = 10
PVS(I) = 4 * PZ(I) + PL(I) + OPTR(I)
PNS(I) = 5 * PL(I) + PZ(I)
„GREŠKA"
C
PV(I) = PVS (I)
PN(I) = PNS(I)
PU(I) = PV(I) + PN(I)
L 3 = 1,5
UNE (1,L3) = CE (1,L3) * EVV(I)
UNE(2,L3) = CE(2,L3) * EVM(I)
UNE(3, L3) = CE (3, L3) * ENV (I)
UNE (4, L3) = CE (4,L3) * ENM(I)
UNS (1,L3) = CS (1,L3) * PV(I)
UNS (2, L3) = CS(2, L3) * PN (I)
UIZE(I,L3) = UNE(1,L3) + UNE(2,L3) + UNE (3,L3) + UNE(4,L3)
UIZS (I,L3) = UNS (I,L3) + UNS (2, L3)
UIZN (I,L3) = UIZE (I,L3) + UIZS (I,L3)
PCE (L3) = UIZE (I,L3) / EUK (I)
PCS (L3) = UIZS (I,L3) / PU (I)
UIZP (I,L3) = UIZN (I,L3) / EUK (I)
1/0
EVV(I), CE (1,1), UNE (1,1), CE (1,2), UNE (1,2), CE (1,3), UNE (1,3), CE (1,4), UNE (1,4), CE(1,5), UNE (1,5)
EVM(I), CE(2,1), UNE (2,1), CE (2,2), UNE(2,2), CE (2,3), UNE (2,3), CE (2,4), UNE (2,4), CE (2,5), UNE(2,5)
D
ENV (I), CE(3,1), UNE (3,1), CE(3,2), UNE(3,2), CE (3,3), UNE (3,3), CE(3,4), UNE(3,4), CE (3,5), UNE (3,5)
ENM(I), CE(4,1), UNE(4,1), CE(4,2), UNE (4,2), CE (4,3), UNE (4,3), CE (4,4), UNE(4,4), CE (4,5), UNE (4,5)
EUK (I), PCE(1), UIZE (I,1), PCE(2), UIZE (I,2), PCE (3), UIZE (I,3), PCE (4), UIZE (I,4), PCE (5), UIZE (I,5)
PV (I), CS (1,1), UNS (1,1), CS (1,2), UNS (1,2), CS (1,3), UNS (1,3), CS (1,4), UNS (1,4), CS (1,5), UNS (1,5)
PN (I), CS (2,1), UNS (2,1), CS (2,2), UNS (2,2), CS (2,3), UNS (2,3), CS (2,4), UNS (2,4), CS (2,5), UNS (2,5)
PU(I), PCS (1), UIZS (I,1), PCS (2), UIZS (I,2), PCS (3), UIZS (I,3), PCS (4), UIZS (1,4), PCS (5), UIZS (I,5)
UIZP(1,1), UIZN (I,1), UIZP (I,2), UIZN (I,2), UIZP (I,3), UIZN (I,3), UIZP (I,4), UIZN (1,4), UIZP (I,5), UIZN (I,5)
UIRV(I,1) = UIZN (I,1) - UIZN (I,4)
UIRV(I,2) = UIZN (I,2) - UIZN (I,4)
UIRV (I,3) = UIZN (I,3) - UIZN (I,4)
UIRV (I,4) = UIZN (I,2) - UIZN (I,5)
UIRV (I,5) = UIZN (I,3) - UIZN (I,5)
UIRR (I,1) = UIRV(I,1) - IPV (1)
UIRR (I,2) = UIRV (I,2) - IPV (2)
UIRR(I,3) = UIRV (I,3) - IPV (3)
UIRR (I,4) = UIRV (I,4) - IPV (4)
UIRR (I,5) = UIRV (I,5) - IPV (5)
101
E





6. ZAKLJUČAK

Tehničko-ekonomska obrada priključivanja većih potrošača na elektroenergetski sistem zahtijeva vrlo složene analize s nizom mogućih varijanata rješenja ako se želi postići cilj istaknut u uvodu, a to je usklađivanje interesa isporučioca i potrošača električne energije. U tu svrhu prikladna je upotreba elektroničkog računala.

Naslov pisaca:

Dragan Borojević, dipl. ing.
Miroslav Balling, dipl. ing.
»ELEKTRA« Zagreb

ELEKTROPRIVREDA
ZAGREB

PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU, PRIJENOS I KUPOPRODAJU ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE

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

UVOD U PRORAČUN UZEMLJENJA ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA

Andrija Milićević, Zagreb

U članku je dan pregled problematike uzemljenja elektrčnih postrojenja, osobito s obzirom na pojavu opasnih napona. Iznesene su i smjernice projektantu, kako bi prilikom projektiranja uzemljenja mogao uzeti u obzir sve potrebne bitne elemente.

DK 621.316.99

0. UVODNA OBJAŠENJENJA

Svako elektroenergetsko postrojenje (elektrane rasklopna postrojenja, transformatorske stanice itd.) moramo uzemljiti — tj. napraviti solidnu vezu sa zemljom svih onih dijelova postrojenja koja normalno nisu pod naponom, te uzemljiti zvjezdišta učinskih transformatora ili generatora posredno ili neposredno, kako bismo ostvarili pogonsko uzemljenje. U prvom slučaju uzemljenja izvodimo radi zaštite osoba zaposlenih u postrojenju i općenito ljudi koji mogu doći u blizinu postrojenja. Kad u postrojenju nastane kvar jednopolnog kratkog spoja (JKS), dolazi do pojave vrlo visokih struja kratkog spoja, a posljedica je podizanje napona na uzemljivaču.

Povećanjem izvora brojem i instaliranom snagom, izgradnjom vodova visokih napona, izgradnjom sve većeg broja transformatorskih stanica sa sve većim jedinicama transformatora problem uzemljenja postaje sve ozbiljniji, ponajprije zbog visokih struja KS. Ako se ovom problemu ne pristupi s dovoljnom pažnjom i studioznošću, posljedice mogu biti vrlo neugodne. Ako uzemljenje nedovoljno dimenzioniramo, ono može biti stalni izvor opasnosti za osoblje postrojenja, a u suprotnom slučaju trošak za uzemljenje bit će nepotrebno i neopravdano visok.

Ovdje ćemo istaknuti da se gotovo čitav problem svodi na savjesno određivanje osnovnih veličina koje ulaze u proračun uzemljenja, kao specifični električni otpor zemlje, struje jednopolnog KS koja prolazi kroz zemlju i koja je mjerodavna za proračun uzemljivača, te konačno, vrijeme djelovanja zaštite, tj. vrijeme trajanja kvara. Ta je veličina posebno važna i projektant je ne može šablonski primijeniti, nego mora promatrati objekt kako je uključen u visokonaponsku mrežu i s kakvom je zaštitom obuhvaćen.

1. SADRŽAJ PROJEKTA

Projekat uzemljenja nekog elektroenegetskog postrojenja, npr. transformatorske stanice 400/110 kV, 220/110 kV, ili 110/35 kV trebao bi obuhvatiti i obraditi:

a) Studiju o geoelektričkim karakteristikama zemlje na kojemu planiramo izgradnju postrojenja.

b) Veličine struja kratkog spoja pojedinih dalekovoda koje napajaju mjesta kratkog spoja. Ako se radi o transformatorskim stanicama 400/220 (110) kV i 220/110, kV, treba doznati koliki je utjecaj uzemljenih transformatora u struji kratkog spoja, treba ispitati gdje je opasniji kratki spoj u samom postrojenju, ili npr. na prvom stupu dalekovoda, odnosno u blizini trafostanice.

c) Točne podatke o zaštitnim užadima dalekovoda, ako se spajaju izravno na konstrukciju, odnosno na uzemljenje objekta. Potrebno je također poznavati dimenziju glave stupa i udaljenosti od zemlje te raspored vodiča i zaštitne užadi.

d) Treba navesti mogućnosti zaštite vodova koju primjenjujemo u predmetnoj mreži, maksimalno zatezanje vremenskog člana zaštite. U vezi s time treba navesti maksimalne napone dodira i koraka u postrojenju i izvan njega prema propisima. Posebno treba navesti da li će sabirnice u postrojenju imati zaštitu.

e) Na crtežu kojim prikazujemo konačni raspored aparata u postrojenju (npr. temelja aparata) treba ucrtati mrežu »donjeg uzemljivača« iz kojega je vidljivo kako ćemo spojiti pojedine aparate na uzemljenje. To se odnosi i na ogradu, stupove rasvjete, ulazna vrata itd.

f) U projektu uzemljenja treba navesti što točniju veličinu otpora uzemljenja dalekovodnih stupova.

g) Treba izračunati ukupni otpor rasprostiranja mreže uzemljenja na temelju poznavanja dužine uzemljivača, presjeka vodiča, dubine ukopavanja itd.

i) Treba izračunati otpor sistema uzemljenja (vidi točku 4.5).

j) Treba izračunati potencijal uzemljivača (vidi točku 4.6).

k) Treba izračunati napone dodira i usporediti izračunate vrijednosti prema onima koje su dozvoljene u jugoslavenskim propisima.

— s unutrašnje strane ograde

— s vanjske strane ograde.

l) Treba izračunati napone koraka i ostalo prema točki k.

m) U preliminarnoj kalkulaciji uzemljivača treba ocijeniti da li je potrebno uzeti za uzemljivač i sonde osim užeta ili trake.

n) U slučaju upotrebe željeznih rešetki za izravnanje potencijala na mjestima gdje se osoblje često zadržava treba uzeti u obzir njihov utjecaj na smanjenje otpora.

o) Treba izračunati stvarni otpor rasprostiranja uzimajući u obzir točku m i sve one elemente koji utječu na smanjenje toga otpora.

p) Treba ukazati na eventualno iznesen potencijal iz postrojenja.

r) Na crtežu uzemljenja treba jasno prikazati na koji način smo uzemljili pojedine rasklopne aparate, mjerne transformatore, učinske transformatore, zvjezdišta učinskih transformatora, stupove za rasvjetu postrojenja, a osobito stupove svjetiljka za rasvjetu ograde itd.

s) Nakon puštanja postrojenja pod napon bilo bi potrebno vidjeti kakve su ekvipotencijalne linije u slučaju kvara u samom postrojenju. Takav crtež trebao bi nadopuniti projekt uzemljenja.

To bi se odnosilo i na mjerenje napona koji se mogu pojaviti neposredno s vanjske strane ograde postrojenja.

Već prema potrebama, projekt se može proširiti dodatnim proračunima, no smatramo da bi projektni zadatak sastavljen zajedničkom suradnjom investitora i projektanta trebao obuhvatiti sve što je navedeno pod točkom 1. U našem daljnjem razmatranju obradit ćemo pojedine točke u osnovnim crtama.

2. SPECIFIČNI OTPOR ZEMLJE

Ova veličina koju nazivamo specifičnim otporom zemlje, označit ćemo je sa ρ, ima velik utjecaj na rezultate proračuna uzemljenja i na troškove koji su vezani s uzemljenjem nekog postrojenja. Već prema vrsti tla naši Tehnički normativi (u dalem tekstu TN) za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1 000 V u članu 66 daju orijentacijske vrijednosti za specifične otpore. Ta veličina ovisna je o nizu faktora: o vlažnosti, temperaturi zemlje, dubini itd., pa je mnogo bolje prepustiti nekoj stručnoj organizaciji da ispita električna svojstva tla, jer ćemo na taj način dobiti najpouzdaniju vrijednost specifičnog otpora zemlje i tako će rezultat biti točniji.

3. STRUJE JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA

Razmatrat ćemo postrojenja u kojima su zvjezdišta transformatora neposredno vezana na uzemljenje. Protivno, ako su zvjezdišta transformatora izolirana, prema našim TN član 100 i 101 nalaže da se u takvim postrojenjima ne smije pojaviti veći napon od 125 V, odnosno 65 V s vanjske strane ograde.

Naše visokonaponske mreže počevši od 110kV imaju zvjezdišta neposredno uzemljena i sa stajališta problema uzemljenja nalazimo se u povoljnijem položaju, jer s današnjom mogućnošću selektivne zaštite i brzim prekidačima, možemo isključiti bolesno mjesto s vremenom približno 0,1 s i time troškove uzemljenja svesti na razumnu mjeru. Naprotiv, ako smo zaštitu riješili tako da moramo računati s vremenom djelovanja zaštite oko 0,8 s kada moramo napone u postrojenju svesti na 125 V i izvan postrojenja na 65 V, kada nestaje prednost neposredno uzemljene mreže, kod nešto većih specifičnih otpora i većih jednopolnih struja kratkog spoja izdaci za uzemljenje u tom slučaju postaju osjetljivo visoki. To je samo jedan razlog koji pokazuje koliko je važno da zaštita vodova i sabirnica djeluje brzo i selektivno.

Uz specifični otpor zemlje na kojemu gradimo postrojenje druga osnovna veličina koja bitno utječe na troškove uzemljenja jest struja jednopolnog kratkog spoja. Na ovu veličinu projektant ne može utjecati, jer tu struju dobiva od institucije koja se bavi studijom tokova snaga i struja u mreži. Važno je da projektant ispravno interpretira ovu veličinu i da mu je jasna fizikalna slika distribucije struje jednopolnog kratkog spoja za oba osnovna slučaja, kada promatra kratki spoj u samom postrojenju i npr. na nekom stupu dalekovoda u blizini postrojenja. Projektant obično dobiva početnu vrijednost struje (subtranzijentnu komponentu) tropolnog i jednopolnog kratkog spoja.

Naš Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1 000 V u članu 103. daje podrobnije upute o struji kratkog spoja. »U mrežama s djelotvorno uzemljenom neutralnom točkom zaštitna uzemljenja dimenzioniraju se za udio struje jednopolnog kratkog spoja, koja protječe kroz uzemljenje 0,25 s pošto nastane jednopolni kratki spoj.«

Prema tome, npr. struja koja je mjerodavna za kontrolu napona koraka i dodira nije početna struja jednopolnog kratkog spoja $3I_0''$, nego tranzijentna komponenta te struje $3I_0'$, čija vrijednost može biti manja od početne struje kratkog spoja. Dakle, kada je zatezanje vremenskog člana zaštite veće od 0,25 s, možemo prema našem Pravilniku o tehničkim normativima uzeti tranzijentnu struju jednopolnog kratkog spoja čija vrijednost u blizini izvora može biti manja za otprilike 20%, a ako se radi o kratkom spoju daleko od izvora, te dvije struje su približno jednake i nećemo pogriješiti ako računamo s početnom vrijednošću struje. Sigurno je da ima slučajeva kada dolazi do isključenja bolesnog mjesta u vremenu kraćem od 0,25 s, ali o takvom slučaju naši TN ne govore ništa.

Tablica 1

	Dalekovod	Vodiči	Zaštitna užad	$3I_0''$ (kA)	Utjecaj transfora I_{TR} (kA)	k	k. $3I_0''$ (kA)
	1	2	3	4	5	6	7
1	DV I — 400 kV	3×2×490 Ač	2×126 AWG	8,00	—		
2	DV II — 400 kV	2×(3×2×490) Ač	240/55E — AlMg/Fe	3,00	—		
3	DV III — 400 kV	3×2×490 Ač	(. . .)	(. . .)			
4	Trans. (I+II)	—	—		2,00		
5	DV 1 — 110 kV	3×240 Ač	95/55E — AlMg/Fe	3,00	—	0,46	1,28
6	DV 2 — 110 kV	2×3×240 Ač	95/55E — AlMg/Fe	3,00	—	0,46	1,28
7	DV 3 — 110 kV	2×(3×2×360) Ač	95/55E — AlMg/Fe	7,00	—	0,46	3,22
8	DV 4 — 110	2×3×240 Ač	95 Fe	6,00	—	0,94	5,74
9	DV 5 — 110 kV	3×240 Ač	95/55E — AlMg/Fe	2,00	—	0,46	0,92
10	Transf. (I+II)	—	—	—	17,00		
Ukupno				21,00			12,44

a) Suma struja jed. kr. spoja od dalekovoda 110 kV je: 21 kA
b) Utjecaj mreže 400 kV na stranu 110 kV je: 17 kA
c) Ukupna struja jed. kr. spoja na strani 110 kV je: 38 kA

4. STRUJA MJERODAVNA ZA KONTROLU DOZVOLJENOG NAPONA DODIRA I KORAKA

Promatrat ćemo zbivanja u jednoj transformatorskoj stanici npr. omjera napona 400/110 kV u slučaju da se kratki spoj dogodi na sabirnicama 110 kV i, kao drugi slučaj, na nekom stupu dalekovoda 110 kV u blizini transformatorske stanice. Podatke o vodovima, transformatorima i zaštitnim užetima s odgovarajućim udjelima u struji kratkog spoja dat ćemo tabelarno.

U koloni 6 naveli smo vrijednosti za faktore prigušenja zaštitnih užadi. Ovdje ćemo dati neka najjednostavnija objašnjenja, a opširno o tome može se pročitati u (L.1, L.2).

4.1. Kratki spoj u postrojenju

Na temelju slike 1. možemo zaključiti da je zaštitno uže vezano na portal transformatorske stanice, i kad nastane jednopolni kratki spoj, jedan dio struje teći će kroz uže, odnosno s time ćemo smanjiti struju koja prolazi kroz zemlju. Naš je cilj da struju kroz zemlju (I_{kz}) smanjimo na što manju veličinu, jer ćemo time smanjiti između ostaloga i troškove za uzemljenje. Koliko će struje teći kroz zaštitnu užad, ovisi o faktoru koji smo označili u tabeli I. kolona 6 sa k. Kako se računa njegova vrijednost opisat ćemo kasnije. Ukupnu struju kratkog spoja (I_k) npr. na strani 110 kV možemo prikazati kao sumu struja jednopolnog kratkog spoja od uzemljenih transformatora i sume udjela u struji KS pojedinih DV (I_{kj}):

$$I_k = I_{TR} + \sum_{j=1}^{L} I_{kj}. \qquad (1)$$

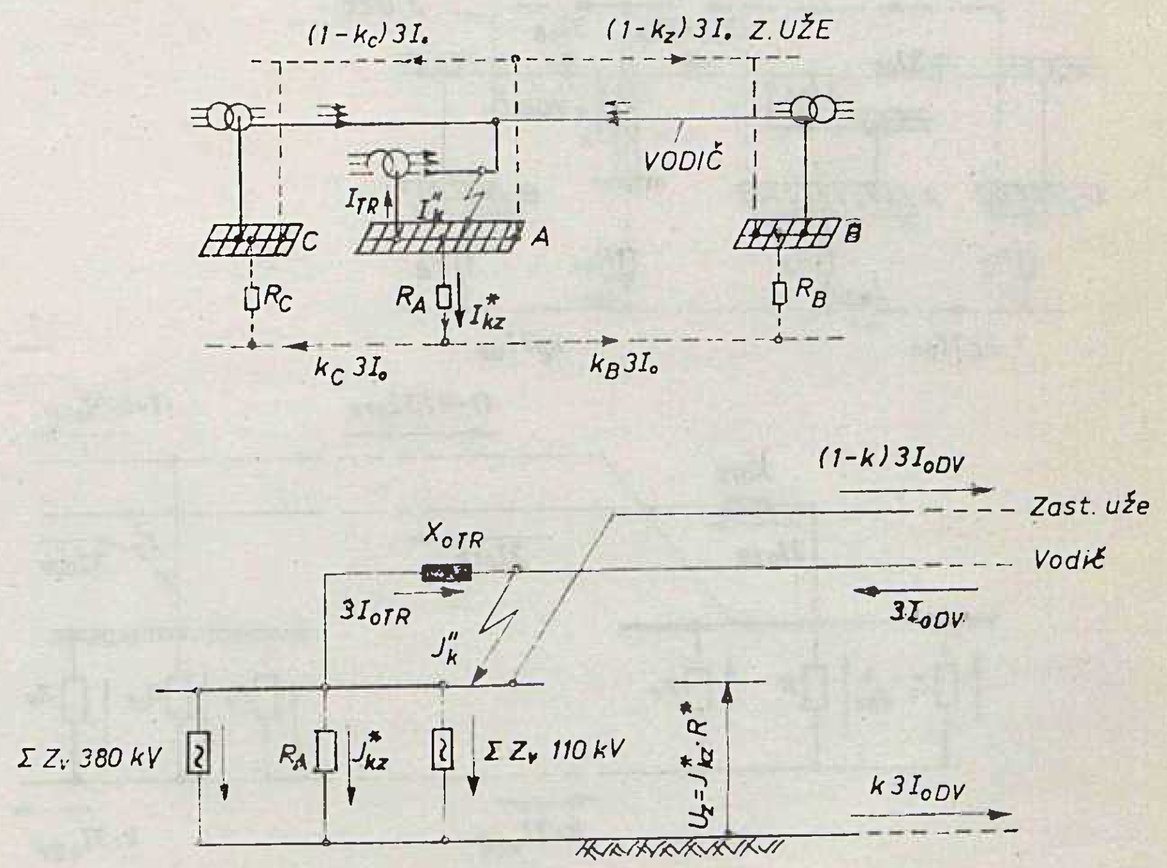
Iz sl. 1. vidimo da se struja I_{TR} ne zatvara kroz uzemljenje i valja nam promatrati samo drugi član jednadžbe (1) koji predstavlja komponentu struje koja se zatvara kroz uzemljenje. Uzimajući u obzir utjecaj zaštitnog užeta, dobivamo smanjenu struju KS koja se zatvara kroz zemlju:

$$I_{kz}^{*} = \sum_{j=1}^{L} k_j I_{kj}. \qquad (2)$$

Na temelju izraza (2) možemo dalje napisati imaju li svi vodovi jednaku zaštitnu užad:

$$I_{kz}^{*} = k \sum_{j=1}^{L} I_{kj} = k\,(I_k - I_{TR}). \qquad (3)$$

Jasno je da nam u jednadžbi (3) znači I^{*}_{kz} onu struju koja prolazi kroz mrežu uzemljenja, I_k je



Sl. 1. Distribucija struje jednopolnog kratkog spoja za slučaj kvara u postorojenju s nadomjesnom shemom

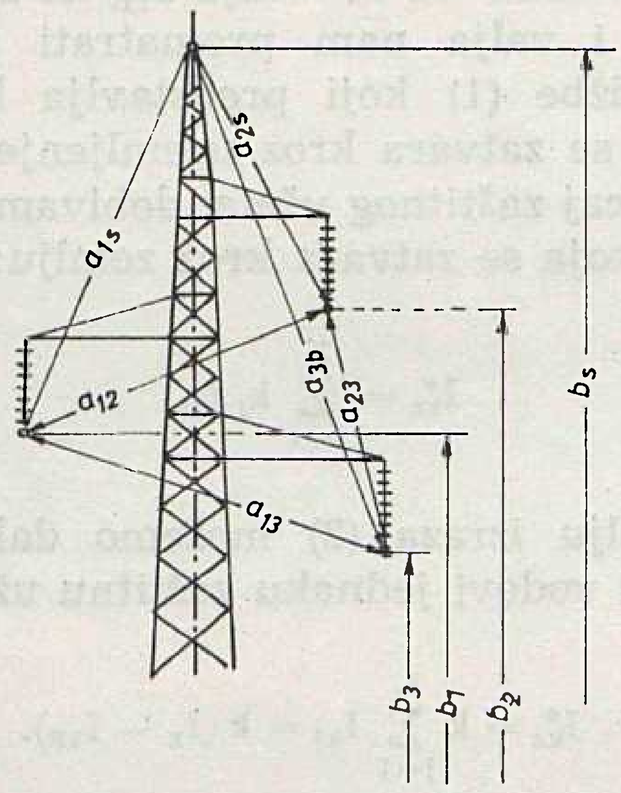
ukupna struja na mjestu kratkog spoja i I_{TR} je udio struje uslijed transformacije. Iz jednadžbe (3) možemo izvesti važan zaključak da se kod računa one struje koja je mjerodavna za proračun napona dodira i koraka mora od ukupne struje odbiti utjecaj transformacije uzemljenih transformatora u struji kratkog spoja. U našem slučaju to je struja od 17 kA, odnosno taj utjecaj iznosi 45% od ukupne struje, a može utjecati još i više. Ostao nam je kao zanimljiv drugi član u jednadžbi (1) i u jednadžbi (2). Ako dalekovodi nemaju jednaku zaštitnu užad, onda valja računati pojedinačne faktore k, što je dano jednadžbom (L. 3):

$$k = 1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s} \qquad (4)$$

i predstavlja dio struje koja će teći kroz zemlju, odnosno

$$1 - k = \frac{Z_{1s}}{Z_s} \qquad (5)$$

predstavljat će onaj dio struje koja će teći kroz zaštitno uže i koju nazivamo induciranom komponentom. Ima više načina da se izračuna ovaj faktor. Za zaštitnu užad od Če i AlČe u literaturi postoje diagrami iz kojih se izravno može očitati faktor k (L. 4).



Sl. 2. Potrebni podaci o glavi stupa za proračun faktora redukcije — k

U jednadžbi (5) Z_{1s} predstavlja nultu impendanciju zamke između vodiča i zaštitnog užeta:

$$Z_{1s} = R_E + j\,2 \ln \frac{\gamma}{A_s}\,\omega \cdot 10^{-4}, \qquad (6)$$

a Z_s predstavlja impedanciju između zaštitnog užeta i zemlje:

$$Z_s = R_s + R_E + j\,\omega\,10^{-4}\left(2 \ln \frac{\gamma}{r_s} + 0{,}5\,\mu_1\right). \qquad (7)$$

U jednadžbama (6) i (7) oznake imaju slijedeće značenje:

R_E — djelatni otpor zemlje u oma/km

$$R_E = \frac{\pi}{2}\,\omega\,10^{-4},$$

R_S — djelatni otpor zaštitnog užeta u oma/km,

γ — dubina prodiranja struje u zemlju

$$\gamma = 1\,650 \sqrt{\frac{\rho}{\omega}}\,\mathrm{m},$$

ρ — otpor zemlje u ommetrima,

r_s — polumjer zaštitnog užeta m,

$A_s = \sqrt[3]{a_{1s}\,a_{2s}\,a_{3s}}$, gdje je

a_{1S}, a_{2S}, a_{3S} — razmak između vodiča i zaštitnog užeta u m,

ω — kružna frekvencija ($\omega = 2\pi f\ s^{-1}$),

μ_1 — relativna permeabilnost (za Cu i Al = 1, za čelik = 50 do 90, za Alučel 5 do 10).

Kada dalekovod ima dva zaštitna užeta, r_s je predstavljen ekvivalentnim polumjerom

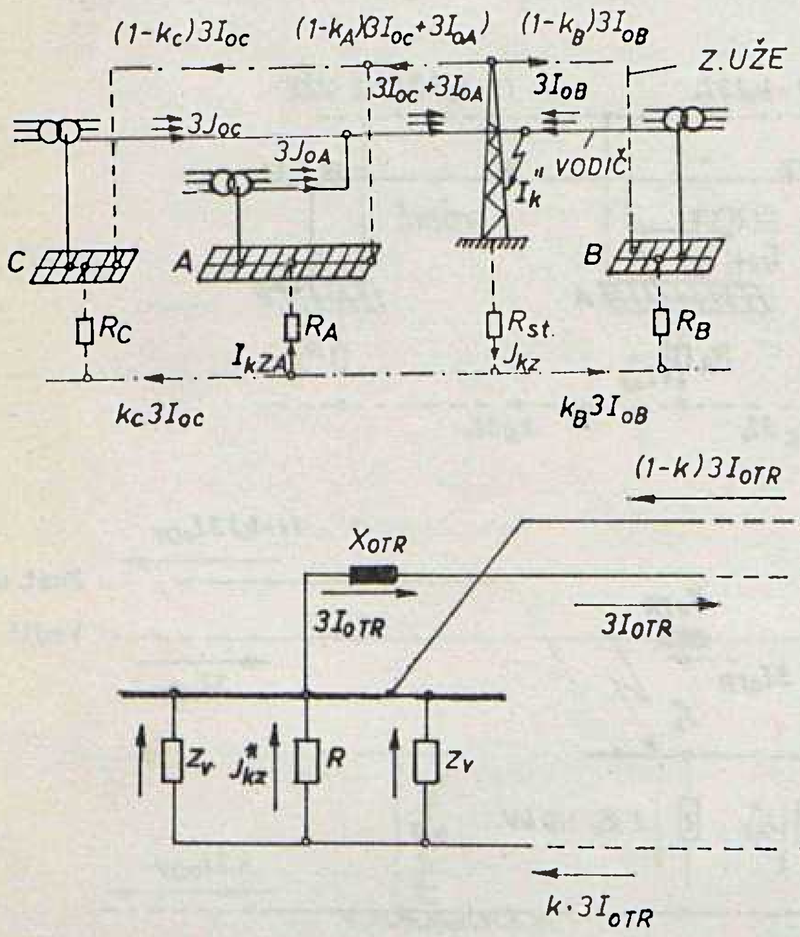
$$r_{es} = \sqrt{r_s\,a_{ss}}, \text{ gdje je}$$

a_{ss} — udaljenost između dva zaštitna užeta.

Na temelju poznavanja navedenih veličina možemo izračunati faktore k u skladu izraza (4), (6) i (7) i podataka danih u tabeli I, a pretpostavljajući glavu stupa kako je to prikazano na slici 2. Specifični otpor zemlje uzeli smo 100 Ωm. Struju jednopolnog kratkog spoja pomnoženu s faktorom k (reducirana vrijednost struje koja prolazi kroz uzemljivač) označili smo s I^*_{kz}, sl. 1. i 3.

Zasad uzmimo da nam je mjerodavna struja za kontrolu napona dodira i koraka ona komponenta struje (I^*_{kz}) koja će se zatvarati kroz otpor uzemljenja prema tabeli I, kolona 7:

$$I^*_{kz} = 12\ \mathrm{kA}.$$



Sl. 3. Distribucija struje jednopolnog kratkog spoja u slučaju kvara na stupu dalekovoda s nadomjesnom shemom

4.2. Kratki spoj na stupu u blizini postrojenja

Radi sigurnosti našega računanja moramo ispitati kolika je vrijednost struje I^*_{kz} u slučaju da se kratki spoj dogodi na nekom stupu dalekovoda u blizini postrojenja kako je to prikazano na sl. 3.

Sada imamo drukčiju raspodjelu struje i očito je da možemo napisati da je ukupna reducirana struja kratkog spoja

$$I^*_{kz} = k\,(I_{kA} + I_{kB}) = k\,I_k. \qquad (7)$$

Udio transformatorske stanice A u struji jednopolnog kratkog spoja:

$$I_{kA} = I_{TRA} + \sum_{j=1}^{L} k_s\,I_{kj}. \qquad (8)$$

Dio struje iz TS A koji se zatvara kroz uzemljenje jest:

$$I^*_{kzA} = k\,I_{kA} - \sum_{j=1}^{L} k_j\,I_{kj}. \qquad (9)$$

Uz pretpostavku da svi dalekovodi koji ulaze u TS A imaju istu zaštitnu užad, uvrštavajući (8) u (9) dobivamo:

$$I^*_{kz\,A} = k\,I_{TRA}. \qquad (10)$$

Ovdje je I_{TRA} struja jednopolnog kratkog spoja svih uzemljenih transformatora.

Za naš primjer struja JKS u slučaju kvara na stupu u blizini TS je

$$I^*_{kz} = 17 \cdot 0{,}46 = 7{,}8\ \text{kA}.$$

Ta je vrijednost manja od struje koja će se pojaviti u slučaju JKS u samom postrojenju.

4.3. Neiducirana komponenta struje JKS

Struju JKS koju preuzima zaštitno uže (I_u) možemo prikazati izrazom (11), a odnosi se na i — ti dalekovod na n — tom stupu:

$$I_{uni} = (1 - k_i)\,I_{ki} + \beta_{sti}\,I^*_{kz}\,e^{-ngi} \qquad (11)$$

Prvi član jednadžbe (11) već nam je dobro poznat, dakle o njemu nemamo više što reći. Obratimo pažnju na drugi član. On nam predstavlja dodatnu komponentu struje JKS koja opada eksponencijalno i za velike udaljenosti iščezava, a predstavlja struju odvoda stupova dalekovoda. U jednadžbi (11) znači nam n broj stupa, a g je konstanta $g = \text{Arch}\left(1 + \frac{Z_u}{R_{st}}\right)$. Faktor označen u drugom članu jednadžbe (11) s β_{st} izračuna se (L. 1) prema izrazu za neki i — ti dalekovod:

$$\beta_{sti} = \frac{\frac{1}{Z_i} - \frac{1}{2R_{sti}}}{\frac{1}{R} + \sum_{j=1}^{L}\left(\frac{1}{Z_j} - \frac{1}{2R_{stj}}\right)}. \qquad (12)$$

U toj jednadžbi oznake imaju slijedeće značenje:

Z_j, Z_i, Z_v — valna impedancija dalekovoda 110 i 400 kV, izračunata prema formuli (13). Za 110 kV, Z_v = 2,9oma, a za 400 kV, Z_v = 3,1 om,

R — otpor rasprostiranja TS, 0.143 oma, vidjeti točku 4.4,

R_{sti} — otpor uzemljenja stupa dalekovoda približna vrijednost za najnepovoljniji slučaj 15 oma.

Fizikalno možemo predstaviti ovaj faktor kao koeficijent koji prikazuje odnos između ekvivalentne vodljivosti i — tog dalekovoda i ukupne vodljivosti sustava uzemljenja.

Valnu empedanciju dalekovoda Z_v računat ćemo za slučaj kratkog spoja u postrojenju prema jed nadžbi (13):

$$Z_v = \frac{Z_u}{2} + 2\,R_{st}\sqrt{\frac{Z_u}{Z_u + 4\,R_{st}}}. \qquad (13)$$

Z_u nam znači impedenciju zaštitnog užeta za jedan raspon koji smo uzeli približno 300 m za dalekovod 110 kV i 400 m za dalekovod 400 kV. Vodovi 400 kV imaju zaštitno uže od alumowelda čiji je djelatni otpor 0,6821 oma/km, a vodovi 110 kV od E — — AlMg/Fe čiji je djelatni otpor 0,3412 oma/km. Impendancije zaštitnih užadi izračunali smo za 110 kV vodove Z_u = 0,59 oma/km, a za 400 kV vodove Z_u = 0,75 oma/km.

Prema tome koeficijent βi iznosit će za dalekovod 400kV

$$\beta_i = \frac{\frac{1}{3{,}1} - \frac{1}{2{,}15}}{\frac{1}{0{,}143} + \frac{1}{3{,}1} - \frac{1}{2{,}15}} = 0{,}03$$

a za dalekovod 110 kV iznosit će 0,032, a ukupni koeficijent odvoda je $0{,}03 \cdot 2 + 0{,}032 \cdot 8 = 0{,}315$. Struju odvoda strupova možemo sada izračunati prema formuli (14):

$$I_{od} = \beta I^*_{kz}\,e^{-ng}. \qquad (14)$$

Ovdje nam je još nepoznata veličina g koju smo definirali u (11), a njezina vrijednost je g = 0,139. Ako promatramo kratki spoj u postrojenju, to nam je n = 1. Struja odvoda je:

$$I_{od} = 0{,}315 \cdot 12 \cdot e^{-1 \cdot 0.139}$$

$$I_{od} = 3{,}3\ \text{kA}.$$

Znači da bi stvarna struja, mjerodavna za kontrolu napona dodira i koraka (I^*_{kz}), bila:

$$I^*_{kz} = 12 - 3{,}3 = 8{,}7\ \text{kA}.$$

Račun pomoću kojega smo ustanovili kolika je struja koju odvode uzemljivači stupova izveli smo da pokažemo koliko je on kompliciran u jednostavnom primjeru i s koliko nepouzdanih podataka moramo računati. Potrebno je poznavati točnu glavu stupa, valne impendancije, otpore uzemljenja stupova itd. Osim toga, otpor zemlje vremenski se mijenja i teško je odrediti najpovoljniji slučaj. Tako npr. VDE 0102 »Smjernice za proračun struja kratkog spoja« točno donose račun s redukcionim faktorima, ali struju odvoda uopće ne uzimaju u obzir. Iz navedenih razloga i mi ćemo naš primjer dalje razmatrati i definirati da je struja jednopolnog

kratkog spoja mjerodavna za kontrolu napona dodira i koraka koju smo izračunali u točki 4.1.

Na kraju ovog razmatranja o utjecaju vodljivog zaštitnog užeta na raspodjelu struja kratkog spoja možemo zaključiti da:

a) smanjuje struju kroz zemlju koja prouzrokuje smetnje na TT vodovima kod užeta od Če 2 do 10%, a kod užeta npr. od Alučela od 20 do 60%,

b) smanjuje struju u stupu, a time u vezi i napone dodira i koraka kod prvih stupova dalekovoda uz transformatorsku stanicu;

c) smanjuje mnogostruko ukupni otpor uzemljenja na mjestu kvara u terenima niske specifične vodljivosti, osigurava rad distantne zaštite;

d) smanjuje nultu impedanciju voda, što je na prvi pogled loše svojstvo, jer povećava struju jednopolnog kratkog spoja, no u postocima smanjenje nulte impedancije Z_0 zamke kratkog spoja manje je od procentualnog smanjenja nulte impedancije voda, a utjecaj na povećanje struje kvara I_0 mnogo je manji nego utjecaj na smanjenje struje u stupu i zemlju;

e) povećanje investicija zamjenom užeta npr, Če 50 na Alče 44/32 kreće se u granicama od 2 do 3%.

f) smanjuje napon dodira i koraka u postrojenju

4.4. Otpor rasprostiranja

Otpor rasprostiranja (R) uzemljivača nekoga postrojenja može se izračunati na više načina. Oni su opisani zadnjih dvadesetak godina u literaturi. Sve su te formule manje ili više točne. Unaprijed ćemo napomenuti da se danas, kad su u širokoj upotrebi računski strojevi, uzemljivači i ostali problemi oko njih mogu kontrolirati i računati mnogo točnije nego konvencionalnim načinom. U našem se primjeru u to ne možemo upuštati, nego ćemo ga dalje pratiti uobičajenim računom uz pretpostavku da nam je teren na kojemu gradimo postrojenje takav da ima homogeni sastav, tj. računat ćemo da je specifični otpor konstantan.

Projektanti naročito rado upotrebljavaju za proračun otpora rasprostiranja formulu P. G. Lauranta za mrežasta uzemljenja [L. 5.].

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}. \qquad (15)$$

U jednadžbi (15) r odgovara radijusu ploče površine jednake površini postrojenja $S = r^2\pi$, odnosno $r = \sqrt{S/\pi}$. Prema tome, zanemarujući drugi član koji uzima u obzir razliku stvarnog uzemljivača koji nije ploča, nego mreža s većim otporom rasprostiranja, možemo napisati još jednostavniju formulu za otpor rasprostiranja:

$$R = p\frac{\rho}{\sqrt{S}}. \qquad (16)$$

U formuli (16) p nam predstavlja konstantu koju Koch [L. 6 str. 154] uzima 0,55. Prema istraživanju A. Oslona [L. 7] preporučuje se za p uzeti vrijednost između 0,5 do 0,7. Donja vrijednost se uzima za slučaj gustih mreža, a gornja vrijednost za paralelne uzemljivače. A. Oslon je dao i posebnu formulu za proračun mrežastih uzemljivača ovisno o obliku mreže uzemljenja [L. 7].

Točnija formula za proračun uzemljenja jest Schwartzova formula [L. 8] koja uzima u obzir i dubinu ukopavanja uzemljivača. U našem slučaju S = 400 x 300m, a specifični otpor tla je 100 ommetara. Otpor rasprostiranja:

$$R = 0{,}5\frac{100}{\sqrt{400 \cdot 300}} = 0{,}143 \text{ oma.}$$

4.5. Otpor sustava uzemljenja

Osim uzemljivača koji polažemo u zemlju, čiji smo otpor rasprostiranja izračunali, i koji nam predstavlja otpor uzemljenja transformatorske stanice, moramo računati još s drugim uzemljivačima koji će stvarno smanjiti otpor uzemljenja. Na taj ćemo način dobiti reduciranu vrijednost otpora uzemljenja prema jednadžbi

$$R^* = \alpha R$$

Koeficijent α možemo izračunati prema jednadžbi (17):

$$\alpha = \frac{\frac{1}{R}}{\frac{1}{R} + \sum_{j=1}^{L}\left(\frac{1}{Zaj} - \frac{1}{2\,Rstj}\right)}. \qquad (17)$$

Oznake su analogne kao u jednadžbi (12). Fizikalno možemo shvatiti faktor u (17) kao omjer vodljivosti uzemljenja postrojenja kada zaštitna užad nisu vezana na postrojenje i vodljivost ekvivalentnog uzemljivača stanice kada su zaštitna užad svih dalekovoda vezana na uzemljivač. Slično računu u točki 4.3. dobivamo za ukupni α da je

$$\alpha = \frac{6{,}99}{6{,}99 + 2{.}48 + 0{,}58} = 0{.}69$$

pa nam je, prema tome, reducirani otpor rasprostiranja prema jednadžbi (17) i odgovarajućoj slici 1 i 3:

$$R^* = 0{,}69 \cdot 0{,}143 = 0{,}099 \text{ oma.}$$

4.6. Potencijal uzemljivača

Na temelju toga možemo izračunati i ukupni potencijal uzemljivača što ga on može poprimiti u slučaju jednopolnog kratkog spoja

$$V_0 = I^*_{kz} R^*.$$

U našem slučaju bit će:

$$V_0 = 12000 \cdot 0{,}099 = 1188 \text{ volta.}$$

Pod navedenim uvjetima to bi bio potencijal uzemljenja u slučaju kvara u postrojenju. Reducirani otpor koji smo označili R* radi jednostavnosti, bilo bi ispravnije označiti sa Z, jer se radi o kompleksnoj veličini, kako je to prikazano na sl. 1. i 3.

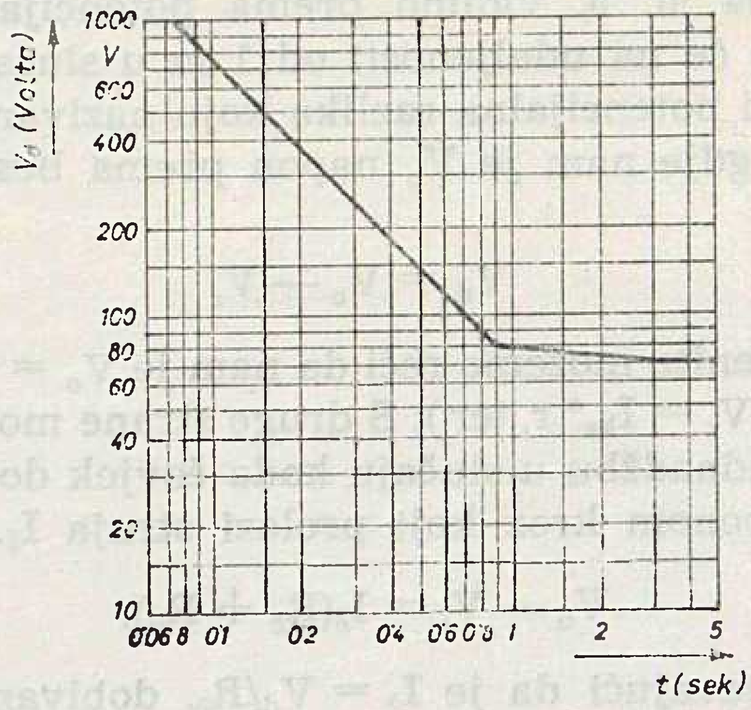
5. POJAVA OPASNIH NAPONA U POSTROJENJU ZA SLUČAJ KVARA NA SABIRNICAMA ILI DALEKOVODU

5.1. Napon dodira

Ovom problemu se u našim Tehničkim normativima VDE 0141 propisima i preporukama drugih zemalja daje vrlo velika pažnja. Zato ćemo i mi ovom pitanju dati opširnije tumačenje, jer naši propisi, tj. Tehnički normativi za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V (Sl. list SFRJ broj 4/1974), temelje proračun uzemljenja na kriteriju dozvoljenih napona dodira i koraka. Takav kriterij imaju i stari VDE propisi, a ruska praksa je također odabrala u zadnje vrijeme analogni uvjet. Taj kriterij maksimalno dozvoljeni napon dodira o ovisnosti o vremenu djelovanja zaštite, prema članu 111. naših Tehničkih normativa, tako je rigorozan da ga je u slučaju nešto većih specifičnih otpora zemlje, većih struja kratkog spoja i nešto dužeg vremena djelovanja zaštite moguće ispuniti jedino uz izvanredno visoke troškove. Tako npr. naši Tehnički normativi zahtijevaju da za slučaj djelovanja zaštite, odnosno isklapanja kvara za 0,6 sekunda svedemo napon dodira na ogradi postrojenja na 65 V, a u postrojenju 125 V, tj. takve veličine napona koje se mogu trajno dozvoliti.

Godinama stručnjaci koji se bave problematikom prijenosa i distribucije električne energije sugeriraju da se izmijene ovako strogi propisi na blažu formu. No moderna brza i ultrabrza zaštita, prekidači s kratkim vlastitim vremenima i pravilan pristup nalaženja stvarne struje kratkog spoja koja je mjerodavna za kontrolu dodirnog napona i određivanje stvarnog vremena djelovanja zaštite mogu svesti izdatke za uzemljenje na razumnu mjeru. Naši Tehnički normativi ostaju i dalje nepromijenjeni i prema njima moramo dimenzionirati naše uzemljivače.

Neke promjene dozvoljenih napona dodira donijeli su najnoviji VDE 0141 propisi, kako je to prikazano na sl. 4. Vidimo da novi VDE propisi, koji stupaju na snagu 1. VII. 1976, dopuštaju dodirni napon 90 V za vrijeme trajanja kratkog spoja 0,8 sekunda. Prijašnji VDE propisi i naši TN ovdje razlikuju dozvoljeni dodirni napon u postrojenju za navedeno vrijeme konkretno 125 V i na ogradi 65 V. Zaključujemo da su novi VDE propisi za ovako duga vremenska zatezanja za projektante još nepovoljniji kada je riječ o prjektiranju i kontroli uzemljivača na dodirni napon. Također je vidljivo

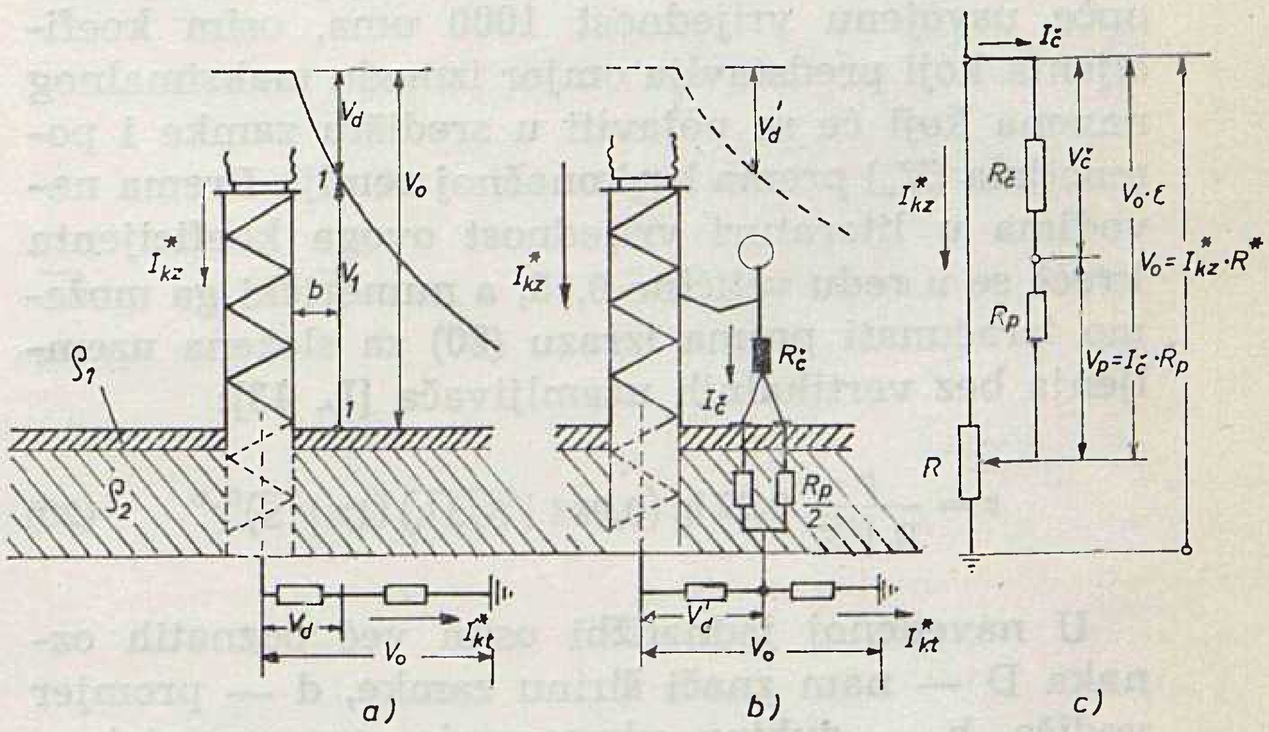


Sl. 4. Dozvoljeni naponi dodira u funkciji vremena prema novim VDE 5141/7. 76. propisima

da su novi propisi povećali dozvoljeni dodirni napon na ogradi, odnosno propisi više ne razlikuju dozvoljene dodirne napone u funkciji vremena u postrojenju i na ogradi.

Za kratka vremenska zatezanja, npr. za vrijeme 0,1 sekunde, a u većini slučajeva za brzu distantnu zaštitu vodova, odnosno kvarova u postrojenju kada su obuhvaćeni u 1. stupnju dist. zaštite, ovo vrijeme je ipak mjerodavno za kontrolu dodirnih napona, novi VDE propisi puno su liberalniji jer za to vrijeme dozvoljeni napon dodira sada je oko 700 V prema približno 350 V koliko je dozvoljeno u starim VDE i našim TN. Činjenica je ipak da novi VDE 0141 mnogo ispravnije gledaju na problematiku uzemljivača i da su se propisi nastojali uskladiti s razvitkom rasklopne tehnike i mogućnostima moderne zaštite.

Naši Tehnički normativi u članu 2. točki 30. definirali su dodirni napon kako slijedi: »Dodirni je napon dio napona uzemljivača što ga čovjek može premostiti dodirom.« To tumačenje ilustrirat ćemo slikom 5. kojom prikazujemo jedan način kako se može relativno jednostavno analitički provjeriti koliki je napon dodira i uspoređujući te veličine s aktualnim propisima, dolazimo do zaključka da li zadovoljavamo naše Tehničke normative ili ne.



Sl. 5. Definicija napona dodira (a); nakon dodira u slučaju premještanje putem čovječjeg tijela (b); nedomjesna shema otpora (c).

Prema sl. 5. vidimo prema potencijalnoj krivulji da će na udaljenosti od 1 m u slučaju kvara postojati potencijalna razlika koju nazivamo napon dodira, gdje nam je V_0 napon prema beskonačnoj zemlji

$$V_d = V_0 - V_1$$

Ozpćenito možemo reći da nam je $V_0 = I_{kz}^* (r_1 + r_2)$, a $V_1 = I_{kz}^* r_1 (er_1)$. S druge strane možemo napisati jednadžbu u slučaju kada čovjek dodirne dio pod naponom kroz koji prolazi struja $I_č$.

$$V_0 - V_1 = I_č(R_č + R_p).$$

Uvrštavajući da je $I_č = V_d/R_č$, dobivamo konačno:

$$V_0 - V_1 = V_d \frac{R_č + R_p}{R_č}.$$

U gornjoj jednadžbi zanima nas napon na kojemu je čovjek, tj. V_d:

$$V_d = V_0 - V_1 \frac{R_č}{R_č + R_p}.$$

Razliku potencijalnih gradijenata $V_0 - V_1$ možemo prikazati kao produkt $V_0 - V_1 = \varepsilon V_0$ pa je konačno napon dodira

$$V_d = V_0 \varepsilon \frac{R_č}{R_č + R_p}. \qquad (18)$$

Ovdje nam R_p znači prijelazni otpor stopala i podloge na kojoj čovjek stoji. Ako pretpostavimo da je stopalo disk s radijusom od 8 cm, tada ćemo dobiti za prijelazni otpor stopala

$$R_p = \frac{\rho}{4r} = 3\rho,$$

gdje je ρ specifični otpor tla na površini postrojenja.

Konačno, jednadžbu možemo napisati u prikladnijem obliku [L. 13]:

$$V_d = I_{kz}^* R^* \varepsilon \frac{1}{1 + 1{,}5\,\rho/Rč}, \qquad (19)$$

u kojoj su nam poznate sve veličine uz pretpostavku da uzmemo za otpor čovječjeg dijela kao opće usvojenu vrijednost 1000 oma, osim koeficijenta koji predstavlja omjer između maksimalnog napona koji će se pojaviti u središtu zamke i potencijala (V_0) prema beskonačnoj zemlji. Prema navodima u literaturi vrijednost ovoga koeficijenta kreće se u redu veličine 0,15, a numerički ga možemo izračunati prema izrazu (20) za složena uzemljenja bez vertikalnih uzemljivača [L. 13]:

$$\varepsilon = \frac{\rho}{R\sqrt{S}}\, 0{,}22 \lg (0{,}088\sqrt{S}/d\,h)\,(D/\sqrt{S})^{0{,}6}. \qquad (20)$$

U navedenoj jednadžbi osim već poznatih oznaka D — nam znači širinu zamke, d — promjer vodiča, h — dubinu ukopavanja, sve u metrima. Za naš slučaj razmatranja, uz pretpostavku da je srednja širina jedne zamke 10 m, dobivamo za $\varepsilon = 0{,}21$, te će napon dodira na najnepovoljnijem mjestu biti

$$V_d = 12000 \cdot 0{,}099 \cdot 0{,}21 \cdot 0{,}46 = 115 \text{ V}.$$

Ako je projektnim zadatkom postavljen uvjet da ne postoji zaštita sabirnica, odnosno da napone dodira valja svesti prema našim propisima na vrijednost od 125 V, tada bismo širinu zamke mogli eventualno uzeti s još većom vrijednosti. Ako računamo napon dodira prema jednadžbi (24), dobivamo $V = \rho \cdot I_{kz}^* / L = 100 \cdot 12000 / 10000 = 120$ V, uzevši iste pretpostavke kao u prijašnjem računanju, a rezultati se tek za malenkost razlikuju. U američkoj literaturi opasni naponi se računaju prema ovim formulama

$$V_k = k_s\, k_i\, I_{kz}^* / L\,\rho \qquad (21)$$

$$V_d = k_m\, k_i\, I_{kz}^* / L\,\rho. \qquad (22)$$

Način kako se određuju koeficijenti k_m, k_i, k_s dan je u [L. 9], a Laurant je dao približne koeficijente kako slijedi:

$$V_k = (0{,}1 \text{ do } 0{,}2)\,\rho \frac{I_{kz}^*}{L} \qquad (23)$$

$$V_d = (0{,}6 \text{ do } 0{,}8)\,\rho \frac{I_{kz}^*}{L}. \qquad (24)$$

5.2. Utjecaj vremena na dzvoljene napone dodira

Normalno je da kvarom pogođeno mjesto, nalazilo se ono u samom postrojenju ili na dalekovodu, što prije isključimo.

To je moguće ako raspolažemo selektivno podešenom zaštitom i brzim prekidačima. Projektant uzemljenja ne može izravno utjecati na ove veličine, ali njihove vrijednosti mjerodavne za proračun uzemljenja mora poznavati, odnosno one moraju biti navedene u projektnom zadatku.

Prema tome ukupno vrijeme djelovanja struje kratkog spoja na koje moramo računati bit će suma vremena djelovanja zaštite (t_z) i vlastitog vremena prekidače t_p.

Na temelju poznavanja ukupnog vremena (t) možemo odrediti maksimalne dozvoljene napone prema slikama 4. i 5. u članu 111. i 112 naših Tehničkih normativa. Ako postoji zaštita sabirnica u transformatorskoj stanici (u tom je slučaju vrijeme t = 90ms), neće biti nikakvog problema s uzemljenjem i moramo računati s prvim stupnjem djelovanja zaštite, a ako ne postoji zaštita sabirnica, unutarnji kvarovi biti će štićeni obično drugim stupnjem distantne zaštite i u tom slučaju mogu se pojaviti problemi pri rješavanju uzemljenja transformatorske stanice. Razumljivo je da u projektu izračunati, odnosno na terenu izmjereni naponi dodira, moraju biti manji od onih veličina koje zahtijevaju naši Tehnički normativi. U literaturi je opisano mnogo načina pomoću kojih možemo anali-

tički kontrolirati da li je uzemljenje postrojenja dobro riješeno s obzirom na dozvoljene napone dodira i koraka. Potonji se ne pojavljuju nikada kao neki posebni problem pa ih već ni VDE 0114 ne uzima u obzir.

6. POTREBNA DUŽINA UZEMLJIVAČA

Općenito usvojenu formulu Dalziela [L. 9] pomoću koje možemo izračunati napon dodira poznavajući otpore tijela čovjeka, otpor stopala i maksimalnu struju koju čovjek može podnijeti u ovisnosti o vremenu možemo napisati ovako:

$$V_d = \left(R_č + \frac{R_s}{2}\right) I_č. \qquad (25)$$

Nakon uvrštanja vrijednosti za $R_č = 1000$ oma i $R_s/2 = 1{,}5\rho$ dobivamo dopuštene veličine napona dodira prema formuli (26):

$$V_d = \frac{165 + 0{,}25\,\rho}{\sqrt{t}}. \qquad (26)$$

Ako izjednačimo (26) sa (22), dobivamo za potrebnu dužinu uzemljivača L poznavajući specifični otpor zemlje, te ukupno vremensko zatezanje zaštite:

$$L = k_m k_i \frac{I^*_{kz}\sqrt{t}}{165 + 0{,}25\,\rho}, \qquad (27)$$

U jednadžbama (25), (26) i (27) ρ nam označava specifični otpor površinskog tla postrojenja, a ta se veličina kod nehomogenog tla može bitno razlikovati od vrijednosti za ρ u formulama (15) i (16) slučaj asfaltiranja dijelova postrojenja, nasipavanje tucanikom itd. U našem su slučaju, kada je tlo homogeno, ove veličine brojčano jednake.

Prema tome, za slučaj koji promatramo, ako su sabirnice 110 kV proviđene zaštitom i ako možemo uzeti da je vremensko zatezanje 0,1 sek, potrebna dužina uzemljivača bila bi uz pretpostavku da je $km \cdot ki = 1{,}90$ kao minimalna vrijednost vidi [L. 9 str. 23]:

$$L = \frac{1{,}90 \cdot 100 \cdot 12\,000 \cdot 0{,}316}{165 + 0{,}25 \cdot 100} = 3{,}792\ \text{m}.$$

Suprotno tome, uz pretpostavku da ne postoji zaštita sabirnica i da moramo računati s drugim stupnjem distantnog releja 0,8 sek,

$$L = \frac{1{,}90 \cdot 100 \cdot 12\,000 \cdot 0{,}89}{165 + 0{,}25 \cdot 100} = 10\,680\ \text{m}$$

Jasno je da ovim računom dobivamo samo orijentacijsku dužinu potrebnog uzemljivača, jer u nekim slučajevima može se utrošiti više užeta za povezivanje svih aparata i veza između užeta kod velikih postrojenja s malim specifičnim otporom tla i kratkotrajnim vremenskim zatezanjem zaštite od vrijednosti koje smo dobiti računom. Važno je uočiti kako je porast dužine uzemljivača s povećanjem vremena isključenja bolesnog dijela postrojenja velik.

7. PROVJERA TERMIČKOG NAPREZANJA UZEMLJIVAČA

Dimenzioniranje presjeka vodiča za uzemljenje u mehaničkom i toplinskom pogledu obavlja se na temelju ukupne struje jednopolnog kratkog spoja. Pretpostavljajući, prema našim Tehničkim normativima ,član 105, da će vrijeme trajanja kratkog spoja biti 1 sekundu kao termički ekvivalent struje kratkog spoja može se uzeti početna (subtranzijenta) vrijednost struje kratkog spoja ili, ako je kratki spoj daleko od izvora prolazna (tranzijentna) vrijednost struje $3I'_k = 0.8 \cdot 3I''_k$, kako se to uobičajilo i usvojilo u njemačkoj literaturi.

U našem slučaju zadana je početna struja kratkog spoja $3I_k'' = 38$ kA. Uzmimo u obzir da ćemo dozemne vodove s konstrukcijom spojiti tako da napravimo na mjestu spoja petlju, dakle možemo računati s polovicom struje kratkog spoja tj. $3I_k'' = 19$ kA.

U tablici 4. u članu 77. naših Tehničkih normativa daju se dozvoljene vrijednosti struje kojom možemo opteretiti vodiče za uzemljenje identične onim vrijednostima koje donosi VDE 0141/2. 64 ali s tom razlikom što se u našim Tehničkim normativima daje napomena da su vrijednosti u tablici 4. dane za graničnu struju 150°C, a VDE navodi da su vrijednosti dane za krajnju temperaturu 200°C. Možda je u našem prijevodu učinjena pogreška? Osim toga, VDE navodi da se u slučajevima kada ne postoji opasnost od požara može krajnja temperatura biti 300°C, tj. navedene vrijednosti za struju mogu se povećati za 20%. U našim se propisima jednom rečenicom navodi: »Najveća dopuštena trajna struja iz tablice IV. može se povećati za 20% ako ne postoji opasnost od požara«. Kakvog smisla ima ovdje govoriti o »trajnoj struji«, a VDE propisi govore da se vrijednosti mogu pomnožiti sa 1. 2, ostaje nedorečeno našim propisima. Mi bismo prema toj tablici mogli opteretiti Cu uže 100 mm² sa strujom 19.200 A. Mislimo da bi za naš slučaj u cijelosti kao uzemljivač zadovoljilo Cu uže

$$S = 95\ \text{mm}^2.$$

Zanimljivo je da američka praksa prema (L. 9) presjek vodiča za uzemljenje određuje na temelju stvarnog vremenskog zatezanja zaštite, a ne na 1 sekundu. U ruskoj literaturi navodi se također način kako se određuje presjek uzemljivača

$$S \geq 0{,}012\, I_k \sqrt{\rho t}\ \text{mm}^2 \qquad (25)$$

i za dozemne vodove

$$S \geq \sqrt{\frac{I_k t}{b\,\vartheta}}\ \text{mm}^2, \qquad (26)$$

U formulama (25) i (26) t nam označuje vrijeme trajanja jednopolnog pratkog spoja, b je konstanta koja iznosi za čelik 41, aluminij 74 i bakar 172, a I_k je ukupna struja kratkog spoja.

8. UZEMLJENJE OGRADE

Naši Tehnički normativi član 111, navode u vezi s uzemljenjem ograde slijedeće:

Ograde visokonaponskih postrojenja treba postaviti tako da se pri zemljospoju ne pojave izvan ograde viši dodirni naponi ili naponi koraka označenih na slikama 4. i 5. (u TN). Dopušteni napon koraka u postrojenjima s djelotvorno uzemljenom neutralnom točkom, ovisno o vremenu isklopa dionice u kvaru, prikazuje se na slici 4, a dopušteni dodirni napon na slici 5.

U članu 112. navedenih Tehničkih normativa navodi se:

»Pojavi li se na kovinskoj ogradi previsok dodirni napon, s vanjske strane ograde na udaljenosti od 1 m polaže se trakasti uzemljivač ukopan 0,5 m duboko, kojim se povezuje ograda.

Za odvođenje induciranih struja ograde dostatni su manji šipkasti ili trakasti uzemljivači, ako sigurnost od dodirnoga napona ne zahtijeva polaganje kovinske trake.

Kolosijeci, cjevovodi i vanjski kovinski plaštevi što izlaze iz visokonaponskoga postrojenja električno se odvajaju umecima od izolacijskog materijala (ako je potrebno, na više mjesta) da bi se spriječilo prenošenje opasnih potencijala izvan postrojenja.«

Već citirani VDE propisi u točki 5.3.5. navode o uzemljenju ograde ovo:

»Ograde postrojenja izvedene žicom zaštićenom plastikom ne trebaju biti uzemljene bez obzira na vrstu upotrijebljenih stupova.

Ograde iz vodljivog materijala moraju biti uzemljenne na maksimalno udaljenim razmacima od 100 m sa sondama ili trakama duljine približno 1 m ako ograda nema odgovarajući uzemljivač za izravnavanje potencijala prema E.2.2, odsjek 4.4.2. Sonde ili trake mogu biti priključene na metalne stupove ograde.«

Navodimo još što o uzemljenju ograde postrojenja govore ruska Pravila ustrojstva elektroustanovok [L. str. 65]: »Razmak rubnog uzemljivača do ograde postrojenja s unutarnje strane mora biti najmanje 3 m ili, ako površina postrojenja nije dovoljna i uzemljenje moramo položiti izvan ograde, tada ogradu i ostale metalne mase koje sačinjavaju ogradu moramo spojiti na uzemljenje postrojenja.

Izravnjavanje potencijala mora biti također izvedeno na prolazima u postrojenju između ograde i uzemljenja putem ukopavanja dvaju vodiča na udaljenosti 1 i 2 m od uzemljenja na dubini 1 i 1,5 m i povezano s uzemljenjem najmanje na dva mjesta. Predmetni vodiči moraju biti duži od širine prolaza sa svake strane po 1 m.

Izravnavanje potencijala mora biti osigurano također kod uzemljenja koji prelaze granice ograde pomoću ukopavanja jednog vodiča, naokolo uzemljenja na udaljenosti 1 m od rubnog uzemljivača i na dubini 1 m.

Ako je uzemljenje transformatorske stanice nekog industrijskog postrojenja vezano s uzemljenjem transformatorske stanice koja ima veću struju jednopolnog kratkog spoja, tada okolo takovih građevina na udaljenosti 1 m od zida i na dubini 1 m u zemlju se mora položiti vodič i povezati na unutarnji uzemljivač, a na prolazima mora se izvršiti izravnavanje potencijala pomoću ukopavanja vodiča na udaljenosti 1 i 2 m od uzemljenja i dubini 1 i 1,5 m.

Da se spriječi iznošenje potencijala, zabranjuje se napajanje potrošača koji se nalaze izvan ograde s većim strujama jednopolnog kratkog spoja i ne ulaze u granice uzemljenja transformatora 380/220 V ili 220/127 V koji se nalaze u tim granicama. Ako moramo napajati potrošače, možemo to učiniti samo pomoću izolacionih transformatora.«

Odmah možemo zaključiti da ni jedan od navedenih propisa ne određuju striktno da se ograda postrojenja poveže na uzemljenje postrojenja ili da se ograda odvoji i uzemlji posebno.

Tako su nastala dva potpuno oprečna mišljenja o veoma važnom problemu, jer opasnost od napona dodira pojavljuje se baš s vanjske strane ograde koja je dostupna i nepozvanim osobama, a ograda spojena na uzemljivač izložena je najvećem gradijentu napona koji postoji na rubu uzemljenja [L. 9]:

a) ogradu treba uključiti unutar površine mreže uzemljenja;

b) treba je postaviti izvan mreže uzemljenja sa ili bez čvrste električne veze između ograde i vanjske rubne trake uzduž ograde po čitavoj dužini, ali bez električne veze između ograde i glavnog uzemljivača.

Iz navedenog je očito da npr. naši Tehnički normativi ne govore o tome kako valja ogradu uzemljiti, nego samo da je treba uzemljiti. To je i pravilno, jer način uzemljenja prepušten je projektantu od slučaja do slučaja, jer za postrojenja s malim specifičnim otporima i malim strujama JKS koje teku kroz zemlju, kada se mogu postići vrlo maleni naponi dodira, nema razloga da se uzemljenje ograde ne poveže na zajedničko uzemljenje. U protivnom slučaju bolje je i prema iskustvenim mjerenjima ogradu odmaknuti od unutarnjeg rubnog uzemljivača i tako smanjiti napone dodira s vanjske strane ograde.

Kod većih specifičnih otpora zemlje i velikih struja JKS trebat će s vanjske strane ograde izvršiti izravnavanje potencijala ukopavajući npr. dvije trake na različitim dubinama. Novi VDE propisi, za razliku od starih, više ne razlikuju »dozvoljeni napon dodira u postrojenju« i »dozvoljeni

napon dodira van postrojenja«, nego samo »dozvoljeni napon dodira kao funkcije trajanja kvara«. Ako naši TN pretrpe izmjene u smislu novih VDE propisa, trebat će u tom smislu razmatrati uzemljenje ograde.

U slučaju a) uzmimo da ograda leži 1 m unutar rubnog uzemljivača i čovjek stoji 1 m izvan ograde i iznad vodiča dodiruje ogradu. On će biti izložen razlici potencijala od $0{,}569\rho \cdot i$; to je vertikalna razlika potencijala između vodiča mreže uzemljenja (koji je vezan s ogradom) i površine tik iznad vodiča na kojemu čovjek stoji.

U slučaju da je ograda iznad rubnog uzemljivača i čovjek dodirne ogradu stojeći 1 m izvan ograde biti će izložen naponu koji je jednak razlici vertikalne komponente plus horizontalne komponente dužine 1 m što daje ukupni napon $0{,}924\rho \cdot i$ ili 60% veći od prije navedenog slučaja. Za proračun kakvi se naponi mogu u ovom slučaju pojaviti na ogradi mogu se primijeniti formule dane u [L. 9]. Kod današnjeg stanja struja JKS teško je udovoljiti zahtjevu da se održe naponi dodira na ogradi u granici dozvoljenih. Praktična iskustva pokazuju da je svrsishodnije ogradu postrojenja odmaknuti oko 3 m od rubnog uzemljivača. Mjerenja dodirnih napona na ogradi u ovom slučaju pokazali su da opasni naponi ostaju u granicama dozvoljenih napona i da njihova vrijednost padne za 50% od onih u postrojenju. U posebnim slučajevima treba izvršiti izravnavanje potencijala s vanjske strane ograde kada se rješavaju postrojenja s višim specifičnim otporima tla i značajnim strujama JKS.

Navedimo još što govore Tehničke preporuke 23 [L. 8] u vezi s ovim problemom u točki 2.3.1.

Vezanje ograde na uzemljivač postrojenja provodi se zavisno od njihova međusobnog razmaka gledanog na površini tla.

Ako je razmak između uzemljivača postrojenja i ograde na mjestu najvećeg približavanja 2 i više metara, ograda se ne priključuje na uzemljivač postrojenja, ali se obavezno uzemljuje posebnim uzemljivačem s vanjske strane u obliku prstena na udaljenosti od 1 m i na dubini 0,5 m.

Ako je razmak između uzemljivača postrojenja i ograde manji od 2 m, ograda se veže na uzemljivač postrojenja, a preporučuje se da vanjska kontura uzemljivača postrojenja bude što bliža ogradi, odnosno da prati njezin oblik površinskog postrojenja.

9. SAŽETAK

Ovaj osvrt na problematiku uzemljenja i uzemljivača samo je pokušaj da se projektantima donekle olakša trud u izboru i pronalaženju osnovnih veličina potrebnih za izradu projekta uzemljanja. Nastojao sam dati cjelovit prikaz ove problematike na temelju novije literature s osvrtom na postojeće propise drugih zemalja. Možda će ovo biti i poticaj stručnjacima koji bolje poznaju ove probleme da se počne raditi na promjeni i reviziji naših Tehničkih normativa o uzemljenju, kako je to već učinjeno u VDE propisima za dvije osnovne veličine, tj. za pronalaženje struja kratkog spoja uzimajući u obzir zaštitnu užad, uzemljenje učinskih transformatora i povećanje dozvoljenih dodirnih napona za kratka vremena otklanjanja kvara, što se današnjim stanjem rasklopnih aparata i zaštitnih releja može postići. Sve to vodi smanjenju troškova za uzemljenje, a sigurnost osoblja u postrojenjima nije ugrožena.

Bez obzira na rezultate računa koje projektant unosi u projekt i ostalu dokumentaciju o rješenju uzemljenja obavezno je na gotovu postrojenju i to u razna godišnja doba, mjeriti jesu li naponi u dozvoljenim granicama.

Normalno je da treba znati kolika je aktualna struja koja se zatvara kroz zemlju i koliko je vrijeme djelovanja zaštita. Baš ovdje, u našim Tehničkim normativima postoji velika praznina kako treba ova mjerenja provesti, koliku vrijednost uzeti za otpor čovječjeg tijela, jer o tome ne postoji jedinstveno mišljenje.

Normativi bi trebali obuhvatiti i način proračuna inducirane komponente struje koje preuzima zaštitno uže ili dati koeficijente za proračun ove komponente.

LITERATURA

1. Richard Muckenhüber, ÖVE Wien E und M, Jahrgang 82, Heft 12
2. Filipović — Grčić Božidar, dipl. ing. Utjecaj zaštitnih užeta dalekovoda, potencijalnih polja uzemljivača na raspodjelu struja jednopolnog kratkog spoja. Referat br. 34 Šesto savjetovanje o prijenosu električne energije Cavtat 1976. god.
3. Richard Roeper, Short — Circuit Currents in Thrre — Phase Networks Pitman Publishing, London
4. Markovčić Boris, dipl. ing., Uloga zaštitnog užeta kod dozemnog spoja na dalekovodima 110 kV i 220 kV. Jugoslavenski nacionalni komitet C.I.G.R.E referat broj 301/64 Bled/Kranj 1964.
5. Pierre Laurent, General fundamentals of electrical grouding techniques Bulletin de la Societe Francaise des Electriciens, july 1951.
6. Walter Koch, Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV. Springer — Verlag 1961. god.
7. Manoilov V., Fundamentals of electrical safety. Mir puplishers Moscow, 1975.
8. Tehničke preporuke 23 Projektovanje, izgradnja i održavanje uzemljenja elektroenergetskih postrojenja, ZEP — Beograd, 1974.
9. IEEE Guide for Safety in Alfernating — Current Substation Grounding. Published by Institut of Electrical and Electronics engineers, 1961.
10. Pravila ustrojstva elektroustanovok Izdateljstva »Energije« Moskva, 1964.
11. Deutchen Normen VDE 0141/7. 76. VDE — Bestimmung für Erdungen in Wechselstromanlagen für Nennspannungen über 1 kV.
12. VDE 0102 Teil 1/11. 71 Leitsatze für die Berechnung der Kurcschlussströme
13. A. A. Vasiljeva, Elektriceskaja častj stanciji i podstanciji, čast vtoraja energija — Moskva, 1972.

Naslov pisca:

Andrija Milićević, dipl. ing.
»Elektroprenos« Zagreb

UTJECAJ SPOJNIH VODOVA NA POGREŠKU MJERENJA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA MJERNIM MJESTIMA DISTRIBUTIVNIH POTROŠAČA

Vojmir Dvornik, Split

Razmatra se utjecaj strujnih i naponskih spojnih mjernih vodova na točnost mjernja električne energije i snage. Naglašava se potreba temeljite analize njihova utjecaja kako na rad konfiguracije mjernog mjesta u cijelosti, tako i na rad mjernih transformatora.

DK 621.317:621.316

1. UVOD

Pod pojmom spojnih vodova na mjerenim mjestima potrošača električne energije razumijevaju se svi vodiči koji spajaju — neposredno ili posredno, putem priključnih rednih stezaljki — sekundarne stezaljke mjernih transformatora sa stezaljkama temeljnih brojila mjerne garniture.

Ovisno o tome da li su spojni vodovi sastavni dio kruga strujnih ili naposkih transformatora, razlikujemo:

— strujne mjerne vodove i
— naponske mjerne vodove.

Dakako da spojni mjerni vodovi u spomenutim strujnim krugovima predstavljaju impedancije na kojima nastaju padovi napona i gubici snage. Stoga je s aspekta točnosti mjerenja problemu izbora ovih vodova nužno posvetiti punu pozornost.

2. STRUJNI MJERNI VODOVI

Iz teorije mjernih transformatora poznato je da je pogreška strujnog transformatora rezultat postojanja struje magnetiziranja (I_0). Kako je struja magnetiziranja posljedica inducirane elektromotorne sile (E_2), koja se, prema II Kirchhoffovu zakonu, troši na svladavanje padova napona u sekundarnom krugu strujnog transformatora, slijedi da je:

$$\bar{E}_2 = \bar{I}_2 R_2 + \bar{I}_2 X_2 + \bar{U}_2 \qquad (1)$$

gdje znači:

I_2 — sekundarna struja strujnog transformatora

$R_2; X_2$ — omski, odnosno induktivni otpor sekundarnog namota strujnog transformatora

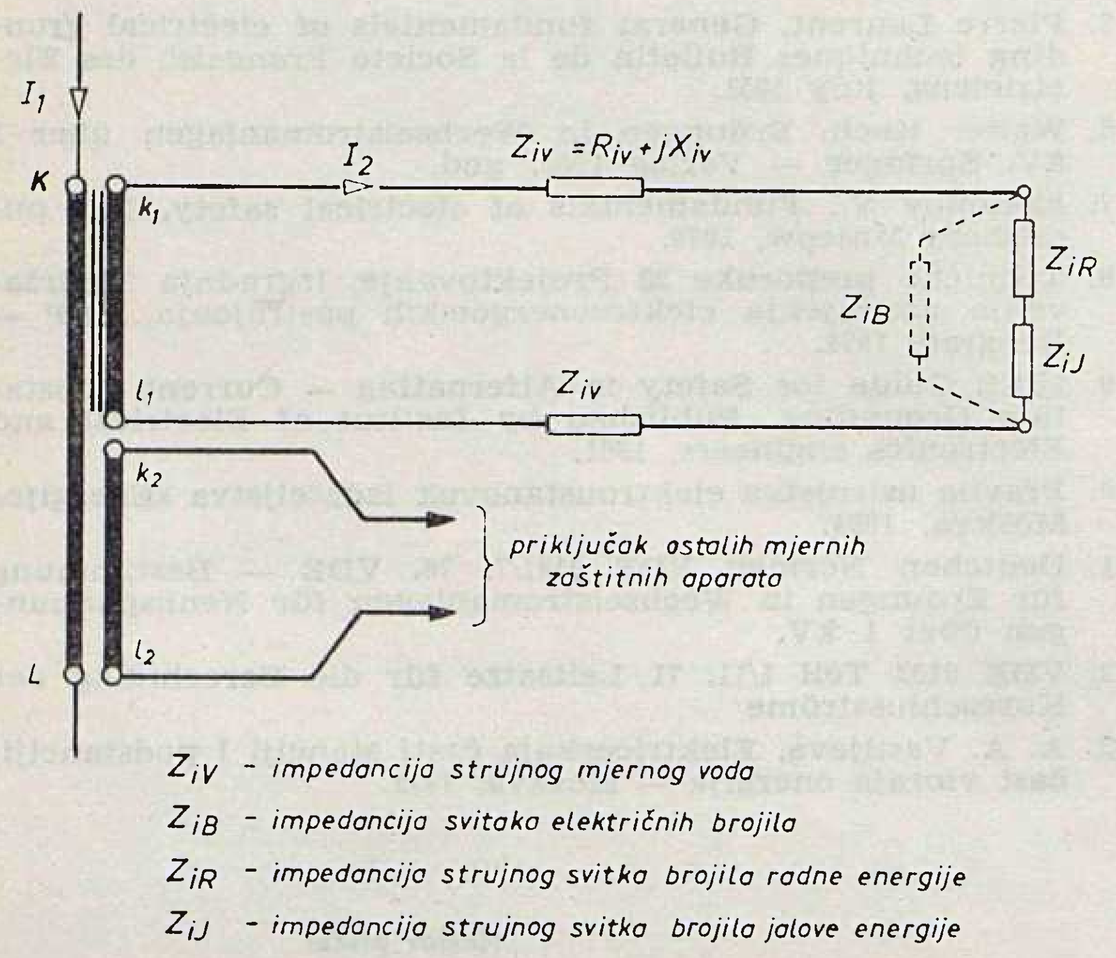
U_2 — pad napona na priključenom sekundarnom bremenu.

Vidljivo je dakle da veličina struje magnetiziranja (I_0), odnosno pogreška strujnog transformatora uglavnom ovisi o priključenom bremenu (N_2), odnosno njegovoj impedanciji (Z_2) na kojoj nastaje pad napona (U_2). Baš iz tih razloga proizvođači daju za svaki pojedinačni tip strujnog transformatora tzv. nazivnu snagu (N_{2n}), koja je definirana kao:

$$N_{2n} = I_{2n}^2 \cdot Z_{2n} \ [VA] \qquad (2)$$

a predstavlja zapravo najveće breme koje se smije priključiti na sekundarne stezaljke pa da pogreška strujnog transformatora ostane u granicama deklarirane klase točnosti. Budući da su pogreške strujnog transformatora najveće pri velikim strujnim opterećenjima (blizu ili preko nazivnog) i niskom bremenu, odnosno niskom strujnom opterećenju i velikom bremenu (oko ili preko N_{2n}), preporučuje se opterećivati strujne transformatore između 25% i 100% nazivnog N_{2n}. Pri tome upotrijebljeno breme mora imati faktor učina 0,8. Izuzetno, ako je priključeni teret manji od 5 VA, faktor učina mora biti jednak jedinici.

Na slici 1. prikazana je shema sekundarnog kruga strujnog transformatora iz koje se vidi da strujni mjerni vodovi predstavljaju breme serijski priključeno bremenu strujnih svitaka električnih brojila. Zanemarenje ovog bremena može izazvati da strujni transformatori rade izvan granica klase točnosti.



Sl. 1. Shema opterećenja strujnog transformatora na mjernom mjestu

Breme priključeno na sekundarne stezaljke strujnih transformatora računamo prema izrazu:

$$N_2 = \sqrt{(P_{iV} + P_{iB})^2 + (Q_{iV} + Q_{iB})^2} \qquad (3)$$

gdje znači:

P_{iV} — gubitak radne (omske) komponente snage u strujnim mjernim vodovima (W),

P_{iB} — gubitak radne komponente snage u strujnim svicima priključenih mjernih instrumenata (brojila),

Q_{iV}; Q_{iB} — odgovarajuće jalove komponente snage pri čemu je:

$$Q_{iV} = \sqrt{N_{iV}^2 - P_{iV}^2}$$

$$Q_{iV} = \sqrt{N_{iB}^2 - P_{iB}^2} \qquad (4)$$

Uvrste li se u relaciju (3) izrazi (4), dobivamo da priključeni sekundarni teret možemo odrediti prema obrascu:

$$N_2 = \sqrt{(P_{iV} + P_{iB})^2 + (\sqrt{N_{iV}^2 - P_{iV}^2} + \sqrt{N_{iB}^2 - P_{iB}^2})^2} \qquad (5)$$

pri čemu je faktor učina ($\cos \beta_2$) priključenog bremena:

$$\cos \beta_2 = \frac{P_2}{N_2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{i_i}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} P_{i_i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{n} \sqrt{N_{i_i}^2 - P_{i_i}^2}\right)^2}} \qquad (6)$$

U interesu točnog mjernja valja težiti da priključeni teret (N_2) bude što bliže optimalnom (N_{2opt}), koji prema dosadašnjim izlaganjima mora zadovoljavati relacije:

$$N_{2opt} \approx 0{,}25\, N_{2n} \text{ do } 1{,}0\, N_{2n}$$

$$\cos \beta_{2opt} \approx 0{,}8 \text{ do } 1 \qquad (7)$$

Želimo li da strujni mjerni vodovi ne budu uzrokom dodatne pogreške mjerenja električne energije, radni, odnosno jalovi gubitak snage u njima iznostit:

$$P_{iV} = N_{2opt} \cdot \cos\beta_{2opt} - P_{iB}$$

$$Q_{iV} = N_{2opt} \cdot \sin\beta_{2opt} - Q_{iB} \qquad (8)$$

Slijedi da strujne mjerne vodove treba dimenzionirati tako da prividni gubitak snage (N_{iV}) u njima zadovoljava relaciju:

$$N_{iV} = \sqrt{P_{iV}^2 - Q_{iV}^2} \qquad (9)$$

uz faktor učina:

$$\cos \beta_{iV} = \frac{P_{iV}}{N_{iV}} \qquad (10)$$

Na mjernim mjestima distributivnih potrošača iduktivni otpor strujnih vodova, zbog relativno malenih presjeka i kratkih dužina, redovno smijemo zanemariti ($X_{iV} \approx \varnothing$; $Q_{iV} \approx \varnothing$) pa slijedi:

$$N_{iV} \approx P_{iV} = 2\, I_2^2\, \delta_{iV} \cdot \frac{l_{iV}}{s_{iV}} \qquad (11)$$

gdje je:

l_{iV}; s_{iV} — dužina odnosno presjek strujnog mjernog voda,

ς_{iV} — specifični otpor materijala strujnog vodiča.

Budući da l_{iV} predstavlja dužinu strujnog mjernog voda koja je određena udaljenošću između stezaljki strujnog transformatora i električnih brojila i obično je poznata, slijedi da presjek strujnog voda, ovisno o materijalu odabranog vodiča (Cu ili Al), mora zadovoljavati jednadžbu:

$$s_{iV} = 2\, I_2^2\, \delta_{iV} \cdot \frac{l_{iV}}{N_{iV}} \qquad (12)$$

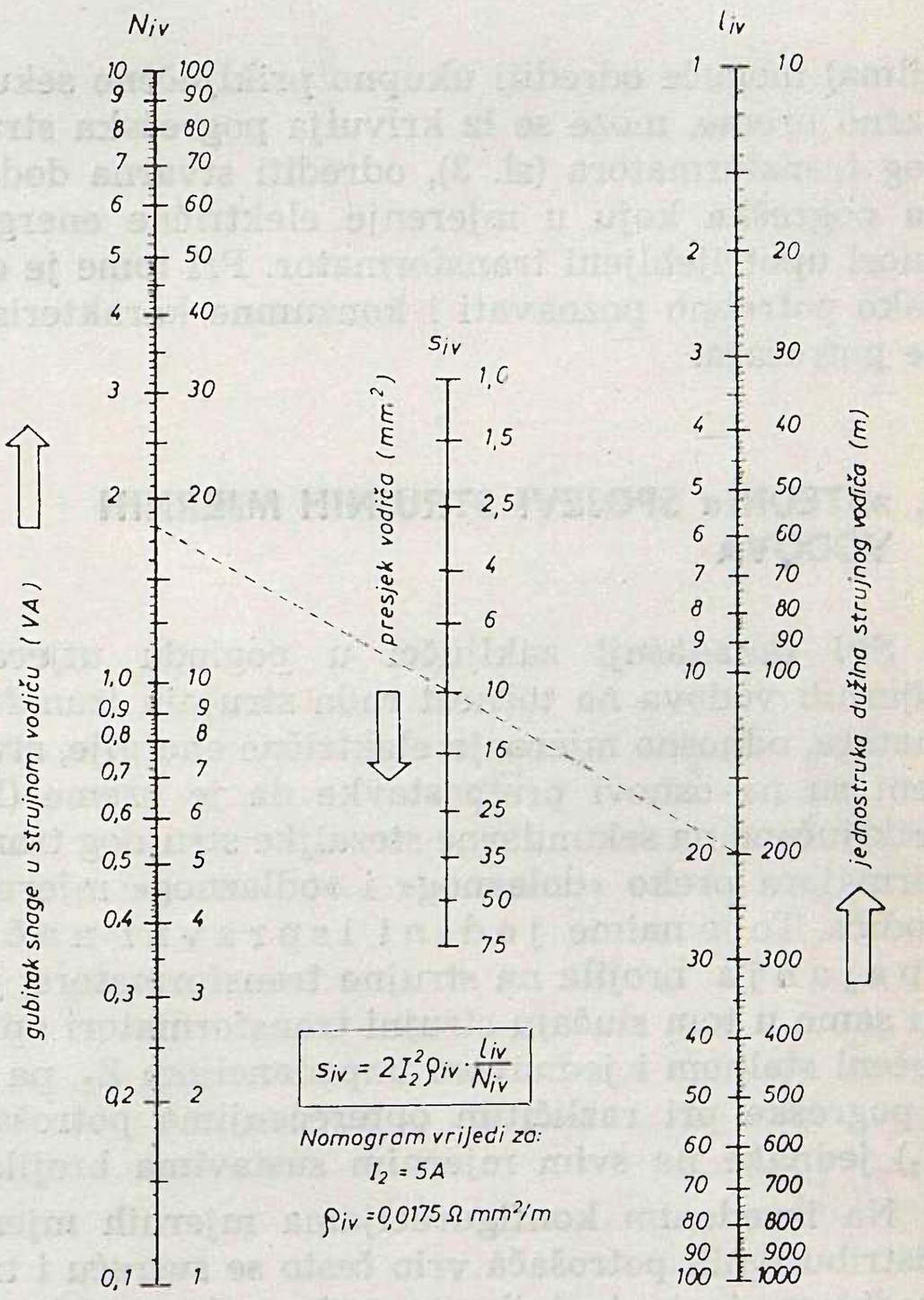
Grafička interpretacija izraza (12) prikazana je nomogramom na sl. 2, i daje mogućnost brzog, ispravnog dimenzioniranja strujnog mjernog voda.

Cilj svakog projektanta odnosno izvođača mjernog mjesta mora biti da se presjekom odabranog strujnog voda (S_{iV}) što više približi »računskom« presjeku (S_{ivr}), tj. mora težiti izrazu:

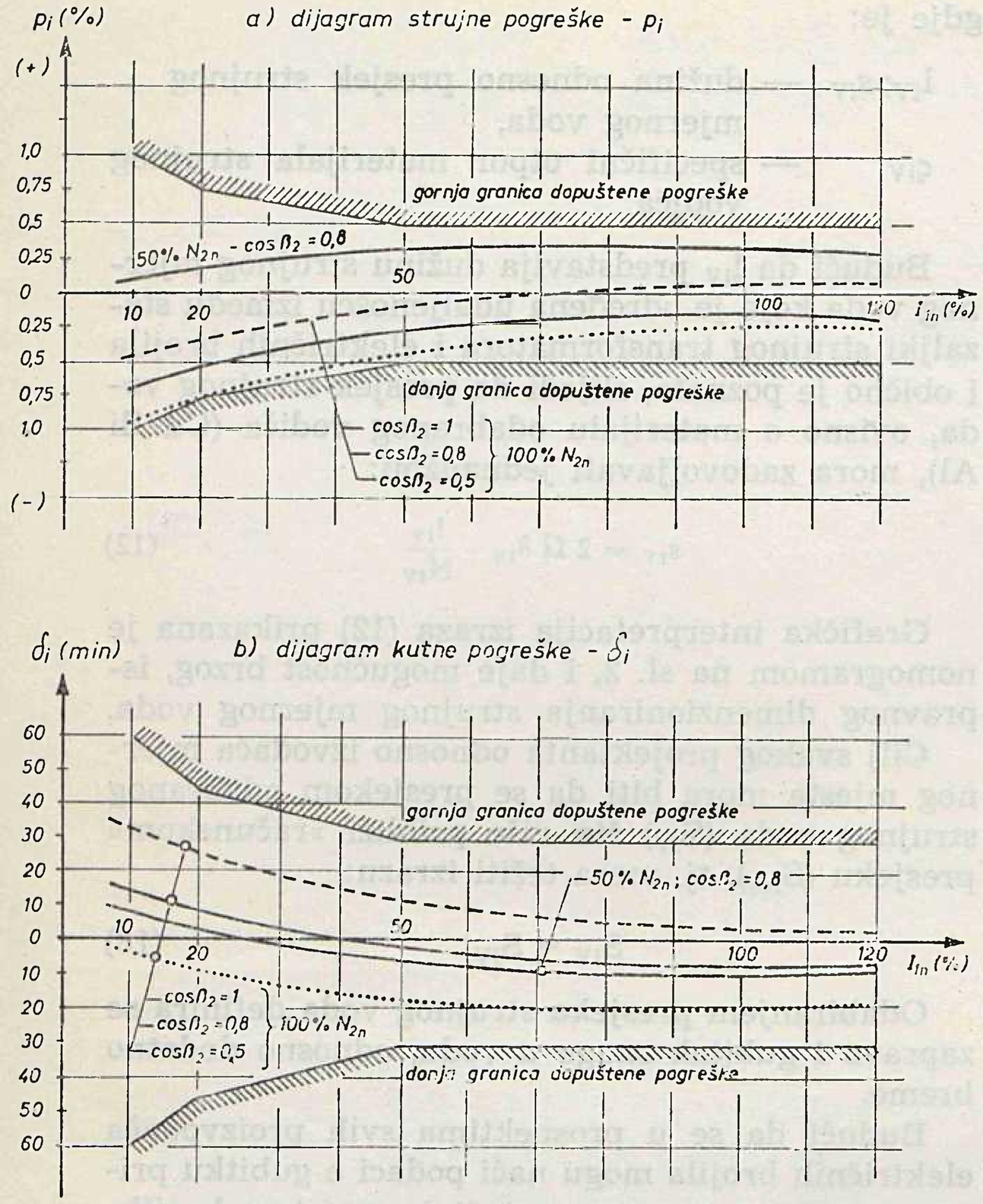
$$S_{iV} \approx S_{iVr} \qquad (13)$$

Odabiranjem presjeka strujnog voda definira se zapravo i gubitak snage u vodu, odnosno dodatno breme.

Budući da se u prospektima svih proizvođača električnih brojila mogu naći podaci o gubitku prividne i radne snage u pojedinim svicima brojila, na osonovi kojih je (u skladu s prethodnim izlaga-



Sl.2. Monogram za određivanje presjeka strujnog mjernog voda



Sl. 3. Ovisnost pogrešaka strujnog transformatora o veličini priključenog sekundarnog bremena (N_2) i primar. struje (I_1)

njima) moguće odrediti ukupno priključeno sekundarno breme, može se iz krivulja pogrešaka strujnog transformatora (sl. 3), odrediti stvarna dodatna pogreška koju u mjerenje električne energije unosi upotrijebljeni transformator. Pri tome je dakako potrebno poznavati i konzumne karakteristike potrošača.

3. »ŠTEDNI« SPOJEVI STRUJNIH MJERNIH VODOVA

Svi dosadašnji zaključci u pogledu utjecaja mjernih vodova na točnost rada strujnih transformatora, odnosno mjerenja električne energije, stvoreni su na osnovi pretpostavke da je breme (N_2) priključeno na sekundarne stezaljke strujnog transformatora preko »dolaznog« i »odlaznog« mjernog vodiča. To je naime jedini ispravni način spajanja brojila na strujne transformatore, jer su samo u tom slučaju strujni transformatori opterećeni stalnom i jednakom impedancijom Z_2, pa su i pogreške pri različitim opterećenjima potrošača (I_1) jednake na svim mjernim sustavima brojila.

Na izvedenim konfiguracijama mjernih mjesta distributivnih potrošača vrlo često se susreću i tzv. štedni spojevi strujnih mjernih vodova, gdje se dva ili tri vodiča (ovisno o vrsti upotrebljenih brojila) udružuju u zajednički vod. Tako izveden priključak brojila na strujne transformatore nije ispravan, a pri upotrebi dvosustavnih brojila na mjernom mjestu može u mjerenje električne energije i vršnog opterećenja unijeti značajnu dodatnu pogrešku.

O čemu se zapravo radi?

Poznato je iz osnova elektrotehnike da se dvovatmetarska metoda mjerenja električne snage (Aronov spoj) može primijeniti samo pri simetrično opterećenim fazama, tj. kada vrijedi:

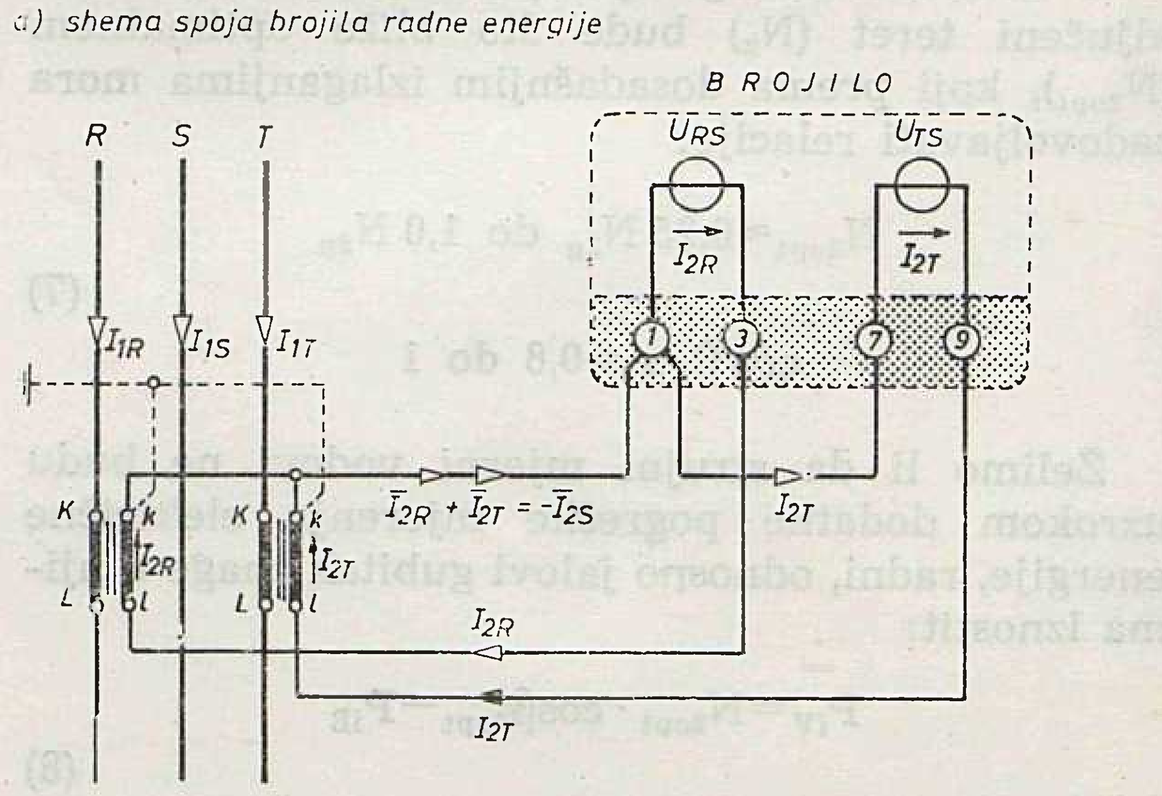
$$\bar{I}_{2R}+\bar{I}_{2S}+\bar{I}_{2T}=\varnothing \qquad (14)$$

Isti uvjet mora biti ispunjen i pri upotrebi dvosustavnog brojila električne energije. Tada, prema sl. 4.a, zajedničkim vodom protječe struja (I_{2S}) koja iznosi:

$$\bar{I}_{2S}=-(\bar{I}_{2R}+\bar{I}_{2T}) \qquad (15)$$

Da bi razmatranja bila što razumljivija, zanemarit ćemo one dijelove strujnih vodiča koji praktički ne utječu na kvalitetu izvedenih zaključaka. Pri tome dobivamo nadomjesnu shemu prikazanu na slici 4.b.

Kao što se vidi na približnom vektorskom dijagramu (sl. 5.a) koji je izveden na osnovi spomenu-



U_{2I_R}; U_{2I_T} – naponi na sekundarnim stezaljkama strujnih transf. „R" odnosno „T" faze
Z_{IV}; R_{IV} – impedancija, odosno omski otpor priključnog strujnog vodiča
I_{2R} ; I_{2T} – sekundarne struje u strujnim transformatorima „R" odnosno „T" fazu
Z_{IB_R}; Z_{IB_T} – impedancije strujnih svitaka brojila priključenih na „R" odnosno „T" fazu

Sl. 4. »Štedni« spoj strujnih mjernih vodova na mjernom mjestu s dvosustavnim električnim brojilima

te ekvivalentne sheme, strujni transformatori u fazama »R« i »T« nemaju jednake napone na stezaljkama ni po iznosu, ni prema faznom pomaku. Za konkrektni smo primjer dobili:

$$U_{2I_R} > U_{2I_T} \equiv > Z_{2R} > Z_{2T}$$

$$\cos\beta_{R2}\,(\text{ind.}) \neq \cos\beta_{2T}\,(\text{kap.})$$

Iz dosadašnjih izlaganja (relacije 1. i 2) poznato je da nejednaka bremena (Z_2) zahtijevaju i nejednake EMS, odnosno nejednake struje magnetiziranja, pa i to već rezultira nejednakim dodatnim pogreškama koje u mjerenje električne energije unose strujni transformatori. Dodamo li k tome da se i fazni pomaci između napona i struje (β_e) obaju strujnih transformatora bitno razlikuju, tada je sasvim jasno da su dodatne pogreške na mjernim sustavima brojila različite. Möllinger-Geweckov dijagram na slici 5.b ovu postavku zorno potvrđuje. Tu je naime vektorski dijagram sa slike 5.a nacrtan odgovarajući dijagram koji grafički predočuje iznose pogrešaka strujnog transformatora u fazi »R« i fazi »T«. Vidi se da ni strujne a ni kutne pogreške strujnih transformatora nisu međusobno jednake. U konkretnom slučaju dobili smo:

$$p_{iR} > p_{iT}$$

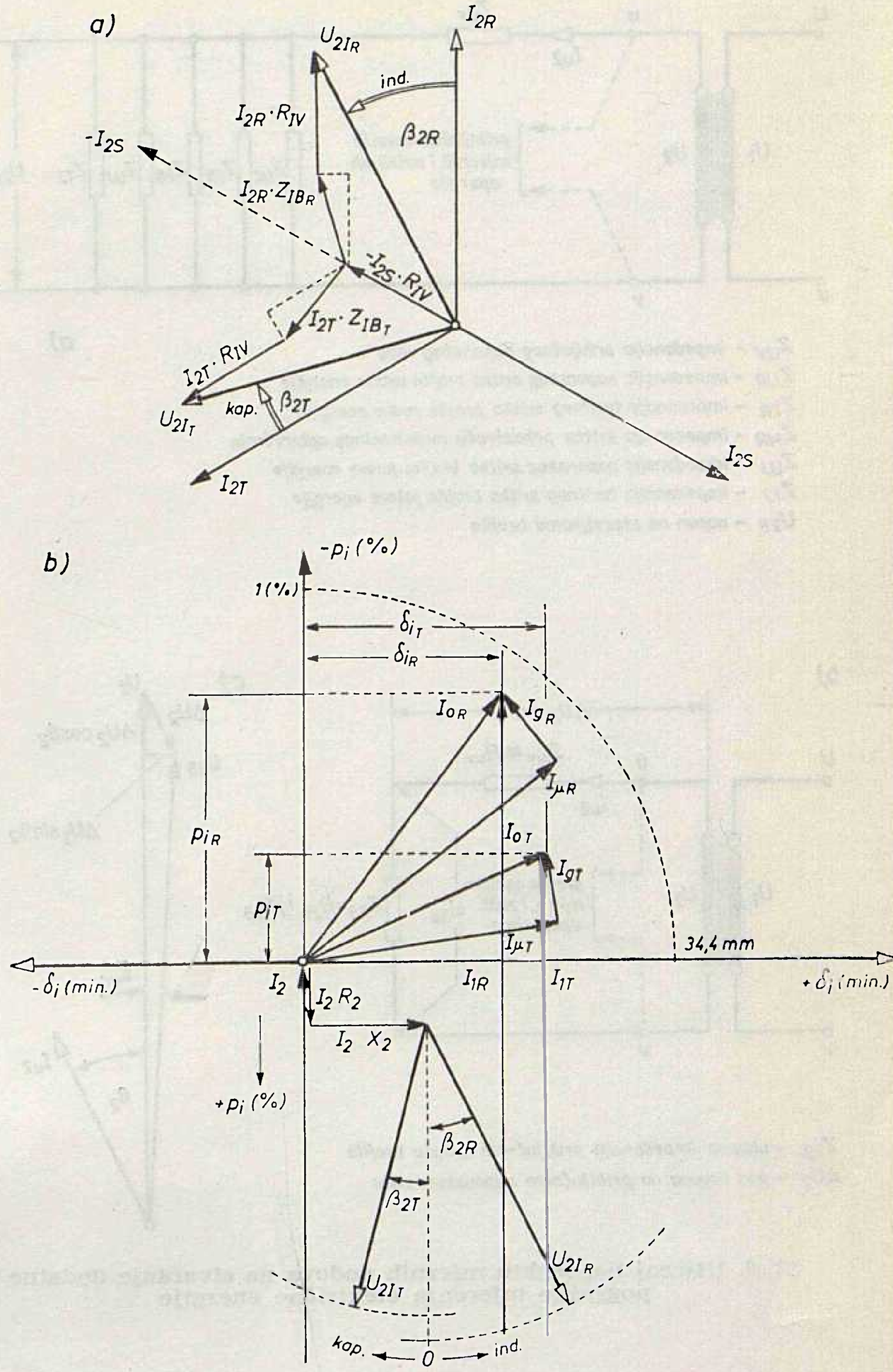
$$\delta_{iR} < \delta_{iT},$$

što je na početku razmatranja ovako izvedenog spoja i pretpostavljeno.

Slična razmatranja sa sličnim rezultatima (nešto blažim) dobivaju se i kod »štednog« spoja primijenjenog na mjernim mjestima s trosustavnim električnim brojilima.

Daljnje analize pokazuju da se štedni spojevi mogu tolerirati samo onda ako je konfiguracija mjernog mjesta takva da su strujni transformatori i brojila blizu jedna drugima, pri čemu je dodatno breme strujnih vodova zanemarivo maleno prema bremenu koje čine strujni svici brojila. To praktički znači da su brojila priključena direktno na stezaljke strujnih transformatora, što je ziasta iznimman slučaj.

Zbog toga se na mjernim mjestima za obračun električne energije i vršnog opterećenja ne smije izvoditi »štedno« priključivanje brojila na strujne transformatore, jer se kod takvih spojeva ne mogu egzaktno odrediti pogreške strujnih transformatora a time ni stvarna pogreška mjerenja zato što pogreške koje se pri tome mogu pojaviti mogu bi i (kako je i dokazano) vrlo različite.



Sl. 5. Vektorske predodžbe »štednog« spoja sa slike 4.11

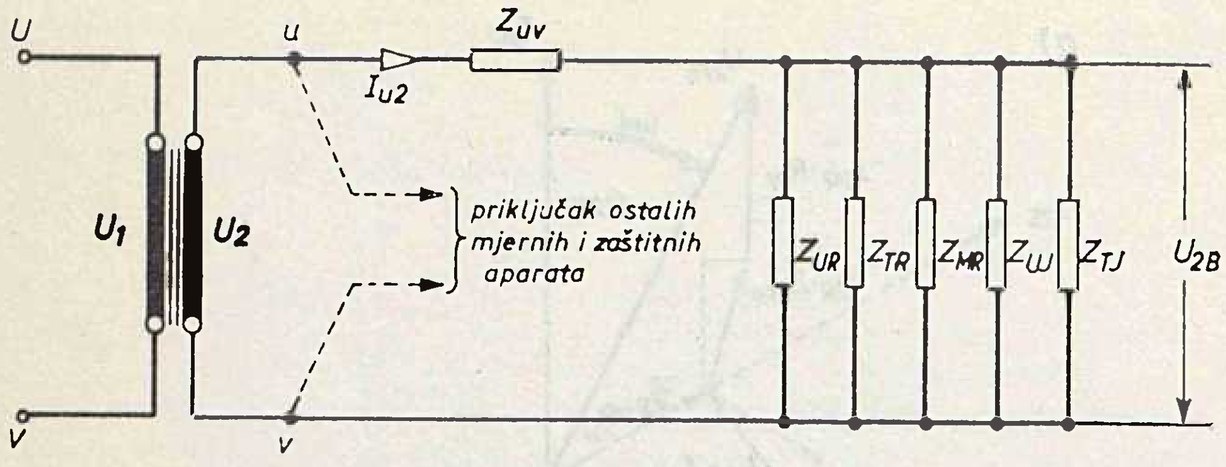
4. NAPONSKI MJERNI VODOVI

Naponski mjerni vodovi, koji predstavljaju galvanski spoj između stezaljki naponskih trnasformatora i naponskih stezaljki temeljnih brojila, utječu dvojako na točnost mjerenja električne energije i vršnog opterećenja:

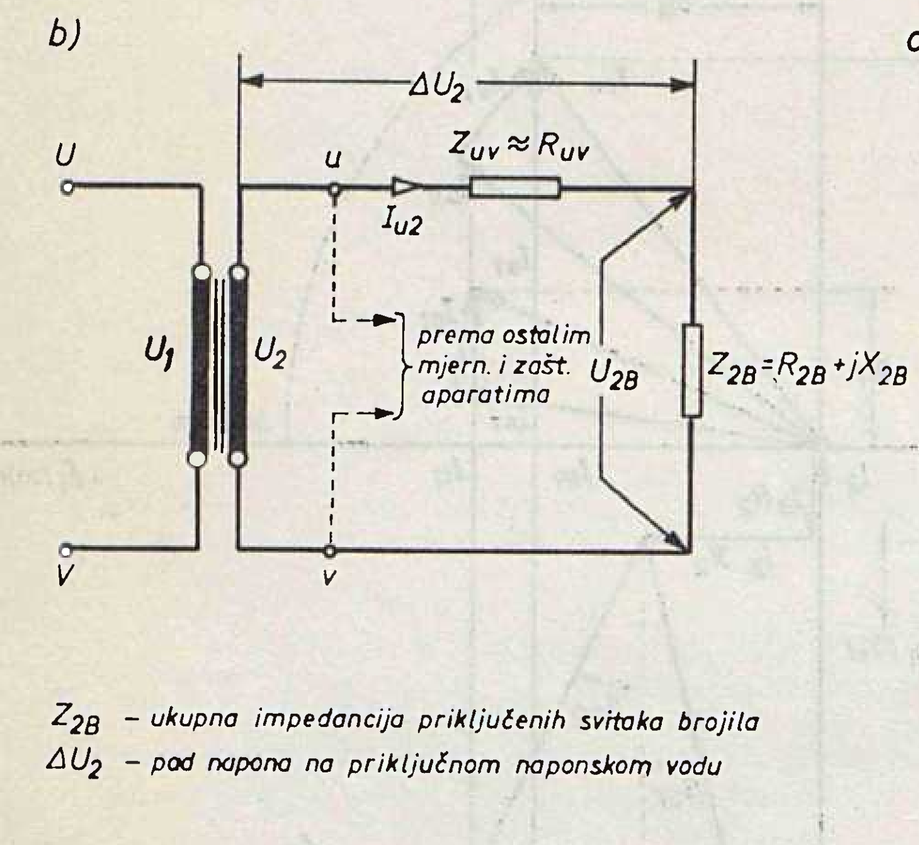
a) predstavljaju dodatno breme u sekundarnom krugu naponskog transformatora,

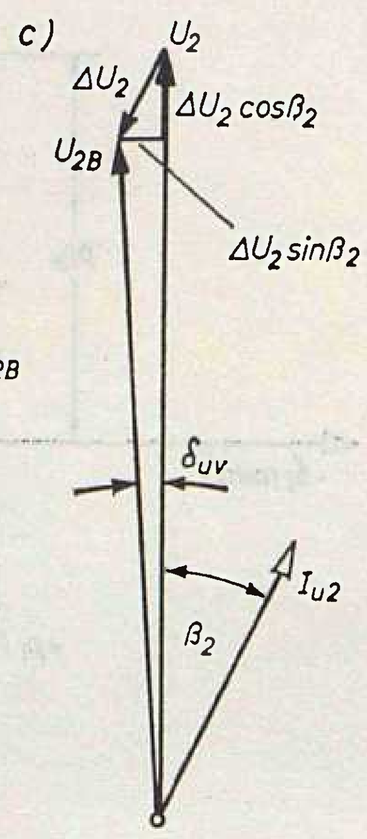
b) uzrokuju pad napona, zbog čega na stezaljkama brojila imamo redovito niži napon od nazivnog.

Za razlog naveden ad a) vrijedi sve ono što je kazano u odsječku 2. »Strujni vodovi«. S obzirom na to da su transformatori redovito dimenzionirani za znatno veće nazivno breme (N_{2n}) nego strujni, kod najvećeg broja konfiguracija mjernih mjesta distributivnih potrošača ovaj utjecaj možemo zanemariti. Iznimno, dobijemo li na osnovi podataka iz prospekta da ukupan teret (N_2) priključen na naponske transformatore iznosi 85-90% nazivnog tereta (N_{2n}), preporučuje se obaviti detaljniju analizu ovog utjecaja na točnosti mjerenja. To je neophodno zato što stvarni gubitak snage u naponskim svicima brojila i svicima ostalih mjernih uređaja može katkada odstupiti 10% i više od vrijed-



Z_{UV} – impedancija priključnog naponskog voda
Z_{UR} – impedancija naponskog svitka brojila radne energije
Z_{TR} – impedancija tarifnog svitka brojila radne energije
Z_{MR} – impedancija svitka pokazivača maksimalnog opterećenja
Z_{UJ} – impedancija naponskog svitka brojila jalove energije
Z_{TJ} – impedancija tarifnog svitka brojila jalove energije
U_{2B} – napon na stezaljkama brojila





Z_{2B} – ukupna impedancija priključenih svitaka brojila
ΔU_2 – pad napona na priključnom naponskom vodu

Sl. 6. Utjecaj naponskih mjernih vodova na stvaranje dodatne pogreške mjerenja električne energije

nosti navedenih u prospektima. Samo pri tome bi dodatno breme naponskih vodova na mjernim mjestima, na kojima su temeljna električna brojila znatno udaljena od naponskih transformatora moglo ozbiljnije utjecati na pogreške naponskih transformatora, a time i na točnost mjerenja električne energije i vršnog opterećenja.

Što se pak tiče pada napona u naponskim mjernim vodovima, kao mogućeg izvora pogreške mjerenja električne energije, valja kazati da taj problem treba u cijelosti sagledati na svakom mjernom mjestu.

U tu svrhu poslužit ćemo se sl. 6. na kojoj je shematski prikazan priključak naponskih i pomoćnih svitaka temeljnih brojila na naponske transformatore (a), odgovarajuća shema nadomjesnih impedancija (b), te s tim u vezi i odgovarajući vektorski dijagram (c).

Problem ćemo razmotriti pri mjerenju radne energije koju na idealnom mjernom mjestu dobivamo prema relaciji:

$$W_1 = k_i \cdot k_u \cdot W_2 \qquad (16)$$

gdje je:

W_2 — sekundarna električna energija dobivana iz stanja brojčanika brojila u odgovarajućem razdoblju,

k_i — konstanta nazivnog prijenosnog odnosa strujnih transformatora,

k_u — konstanta nazivnog prijenosnog odnosa naponskih transformatora,

W_1 — električna energija koju je dotični potrošač preuzeo na mjernom mjestu.

Pretpostavimo li za trenutak samo da je prijenos struje idealan, te da prisutnost eventualne dodatne pogreške u mjerenju energije možemo pripisati samo naponskim vodovima, tada umjesto sekundarne energije koja iznosi:

$$W_2 = 3\, U_2 I_2 \cos\varphi_2 t \qquad (17)$$

brojilo stvarno mjeri:

$$W'_2 = 3\, U_{2B}\, I_2 \cos\varphi_{2B}\, t \qquad (18)$$

gdje, prema sl. 6.c, znači:

U_{2B} — efektivna vrijednost faznog napona na naponskim stezaljkama brojila a iznosi:

$$U_{2B} = U_2 - \Delta U_2 \cos\beta_2 \qquad (19)$$

$\cos\varphi_{2B}$ — faktor učina na stezaljkama brojila, koji iznosi:

$$\cos\varphi_{2B} = \cos(\varphi_2 \pm \delta_{uv}) \qquad (20)$$

Razvijemo li izraz (20) putem adicionog teorema i uzmemo li u obzir da je δ_{uv} vrlo malen kut, $\cos\varphi$ zadovoljava jednadžbu:

$$\cos\varphi_{2B} = \cos\varphi_2 \pm \delta_{uv}^{(rad)} \cdot \sin\varphi_2 \qquad (21)$$

Uvrštavanjem izraza (19) i (21) u (18) te sređivanjem i zanemarenjem članova koji na točnost mjerenja praktično ne utječu ($\pm \Delta U_2 \cdot \delta_{uv}^{(rad)} \cdot \cos\beta_2 \cdot \sin\varphi_2$), energija koju brojilo stvarno mjeri iznosi:

$$W'_2 = 3\, I_2\, t\,(U_2 \cos\varphi_2 + U_2\, \delta_{uv}^{(rad)} \cdot \sin\varphi_2 - \Delta U_2 \cos\beta_2 \cdot \sin\varphi_2) \qquad (22)$$

Apsolutnu dodatnu pogrešku mjerenja energije zbog naponskih vodova (ΔW_{uv}) izražavamo relacijom:

$$\Delta W_{uv} = W'_2 - W_2 \qquad (23)$$

koja nakon uvrštenja izraza (17) i (22) i sređivanja iznosi:

$$\Delta W_{uv} = 3\, I_2\, t\,(\pm U_2\, \delta_{uv}^{(rad)} \cdot \sin\varphi_2 - \Delta U_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \cos\varphi_2) \qquad (24)$$

Relativna dodatna pogreška mjerenja energije (Δp_{uv}) zadovoljava relaciju:

$$\Delta p_{uv} = \frac{\Delta W_{uv}}{W_2} \cdot 100\ [\%] \qquad (25)$$

Sređivanjem izraza (25) relativnu dodatnu pogrešku koju u mjerenje unose mjerni vodovi izražavamo kao:

$$\Delta p = \pm 100\, \delta_{uv}^{(rad)} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 - \frac{\Delta U_2 \cos \beta_2}{U_2} \cdot 100 \qquad (26)$$

Tu relaciju možemo pisati i u drugačijem obliku:

$$\Delta p_{uv} = \pm 0{,}0291\, \delta_{uv}^{(min)} \operatorname{tg} \varphi_2 - \frac{\Delta U_2 \cos \beta_2}{U_2} \cdot 100 \qquad (27)$$

Budući da relaciju (27) možemo pisati kao:

$$\Delta p_{uv} = p\delta_{uv} + p_{uv} \qquad (28)$$

slijedi da mjerni vodovi unose dodatnu pogrešku u kutnu i amplitudnu pogrešku naponskih transformatora. Pri tome dodatna kutna pogreška iznosi:

$$p\,\delta_{uv} = \pm 0{,}0291\, \delta_{uv}^{(min)} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \; [100] \qquad (29)$$

a amplitudna (naponska):

$$p_{uv} = - \frac{\Delta U_2 \cdot \cos \beta_2}{U_2} \cdot 100\; [\%] \qquad (30)$$

Prema sl. 6.c dodatnu apsolutnu kutnu pogrešku mjernih vodova (δ_{uv}) možemo prikazati kao:

$$\delta_{uv}^{(rad)} \approx \operatorname{tg} \delta_{uv} = \frac{\Delta U_2 \cdot \sin \beta_2}{U_2 - \Delta U_2 \cdot \cos \beta_2} \qquad (31)$$

ili:

$$\delta_{uv}^{(min)} = \frac{\Delta U_2 \cdot \sin \beta_2}{U_2 - \Delta U_2 \cos \beta_2} \cdot 3440 \qquad (32)$$

Uvrštavanjem izraza (32) u (29) slijedi da relativnu pogrešku ($p\delta_{uv}$) možemo prikazati i slijedećom relacijom:

$$p\delta_{uv} = \pm \frac{\Delta U_2 \cdot \sin \beta}{U_2 - \Delta U_2 \cdot \cos \beta_2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot 100\; [\%] \qquad (33)$$

U izrazima (22) do (33) znači:

U_2 — napon na sekundarnim stezaljkama naponskih transformatora (V),

ΔU_2 — pad napona u naponskom mjernom vodu (V),

φ_2 — fazni pomak struje i napona u sekundarnom mjernom krugu,

β_2 — faktor učina bremena N_2, priključenog na sekundarne stezaljke naponskog transformatora.

Budući da pad napona (ΔU_2), faktor učina priključenog bremena ($\cos\beta_2$) i tanges učina sekundarnog mjernog kruga ($\operatorname{tg}\varphi_2$) u praksi nisu poznati pa ih valja računati, zgodno je dodatne pogreške, prema izrazima (30) i (33), prikazati veličinama koje su na svakom realnom mjernom mjestu poznate. Te veličine su:

— prividni gubitak snage u naponskim svicima brojila — N_{uB} (VA),

— radni gubitak snage u naponskim svicima brojila — P_{uB} (W),

— dužina — l_{uV} (m), presjek — s_{uV} (mm^2) i specifični otpor — δ_{uV} ($\Omega\ mm^2/m$) materijala mjernih naponskih vodova,

— napon na sekundarnim stezaljkama naponskog transformatora — U_2 (V).

Pad napona u naponskom mjernom vodu (ΔU_2) možemo tada prikazati izrazom:

$$\Delta U = \frac{N_{uB}}{U_2} \cdot \frac{\delta_{uv} \cdot l_{uv}}{s_{uv}} \qquad (34)$$

Faktor učina priključenog bremena ($\cos\beta_2$) i njegova konfunkcija ($\sin\beta_2$) iznose:

$$\cos \beta_2 = \frac{P_{uB}}{N_{uB}}$$

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{N_{uB}^2 - P_{uB}^2}}{N_{uB}} \qquad (35)$$

Što se tiče tangesa učina sekundarnog mjernog kruga ($\operatorname{tg}\varphi_2$), vrijedi relacija:

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \operatorname{tg}(\varphi_1 \pm \delta_u) \qquad (36)$$

gdje je:

δ_u — kutna pogreška naponskog transformatora,

φ_1 — fazni pomak između struje i napona potrošača.

Primijenimo li na izraz (36) adicioni teorem i zanemarimo faktor $\operatorname{tg}\delta_u$, koji je na realnom mjernom mjestu zaista blizak nuli, dobivamo:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 \approx \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{W_J}{W_R} \qquad (37)$$

gdje znači:

W_R — radna energija potrošača (kWh),

W_J — jalova energija potrošača (KVArh).

Uvrstimo li izraze (34) do (37) u izraz (29) odnosno izraz (33) pa obavimo sređivanje, dobijemo praktične relacije za proračun dodatne amplitudne (p_{uv}) i kutne ($p\delta_{uv}$) pogreške:

$$P_{uv} = - \frac{P_{uv}}{U_2^2} \cdot \frac{\delta_{uv} \cdot l_{uv}}{s_{uv}} \cdot 100\; [\%] \qquad (38)$$

$$p\delta_{uv} = \pm \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \frac{\delta_{uv} \cdot l_{uv} \sqrt{N_{uB}^2 - P_{uB}^2}}{U_2^2 \cdot s_{uv} - P_{uB} \cdot \delta_{uv} \cdot l_{uv}} \qquad (39)$$

koje na relativno jednostavan način pružaju mogućnost kontrole dodatne pogreške mjerenja energije na realnom mjernom mjestu.

Pokazuje se da naponski mjerni vodovi praktički ne unose dodatnu pogrešku u mjerenje električne energije i vršnog opterećenja ako relativni pad napona (p_{uv}) u njima ne premašuju vrijednosti:

a) za naponske transformatore klase točnosti 0,5

$$p_{uv} \leqq 0{,}1\%\ U_2 \qquad (40)$$

b) za naponske transformatore klase točnosti 0,2

$$p_{uv} \leqq 0{,}05\%\ U_2 \qquad (41)$$

Pri takvim su, naime, padovima napona u naponskom vodu, dodatne amplitude (p_{uv}) i kutne ($p\delta_{uv}$) pogreške tolike da se o njima može kazivati samo u posve teorijskom smislu.

Poznavajući te činjenice, problem dodatne pogreške koju u mjerenje električne energije mogu

unijeti naponski mjerni vodovi možemo postaviti i drugačije. Može se naime, postaviti pitanje:

Kolika smije biti dužina naponskog voda, poznatog presjeka i materijala vodiča da pad napona u njemu ne bude veći od naznačenog u relacijama (40) i (41)?

Odgovor na to pruža relacija (38) koja drugačije pisana izgleda:

$$l_{uv} \leqq K \cdot \frac{S_{uv}}{P_{uB} \cdot \delta_{uv}} \cdot 10^{-2} \qquad (42)$$

gdje je:

l_{uv} — najveća dužina naponskog voda koja se na dotičnom mjernom mjestu smije upotrebljavati (m),

s_{uv} — presjek upotrebljenog vodiča (mm^2),

δ_{uv} — specifični otpor materijala upotrijebljenog vodiča,

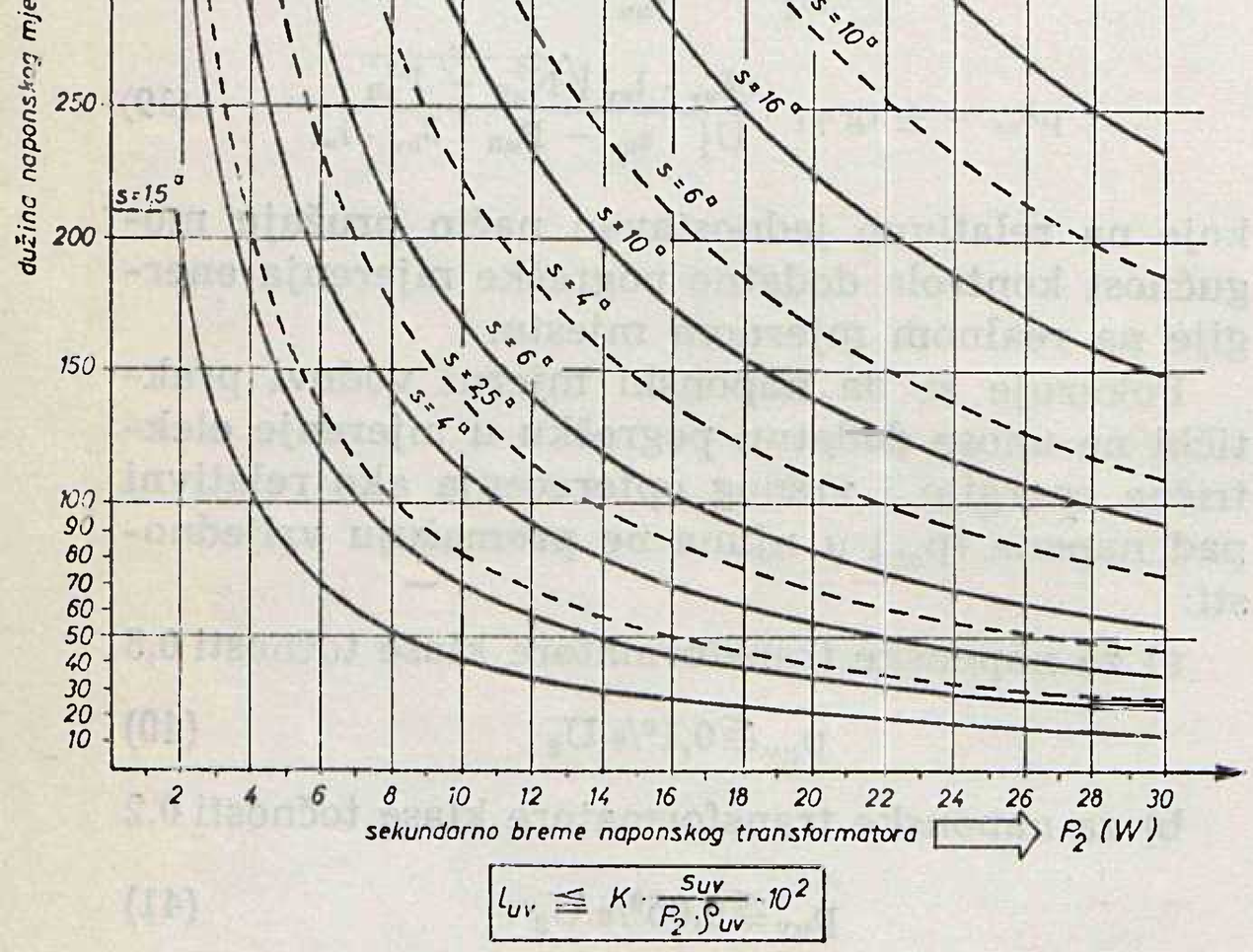
P_{uB} — radni gubitak snage u priključenim svicima brojila (W),

K — konstanta koju u ovisnosti o vrsti i klasi točnosti upotrijebljenog naponskog transformatora biramo prema tablici 1.

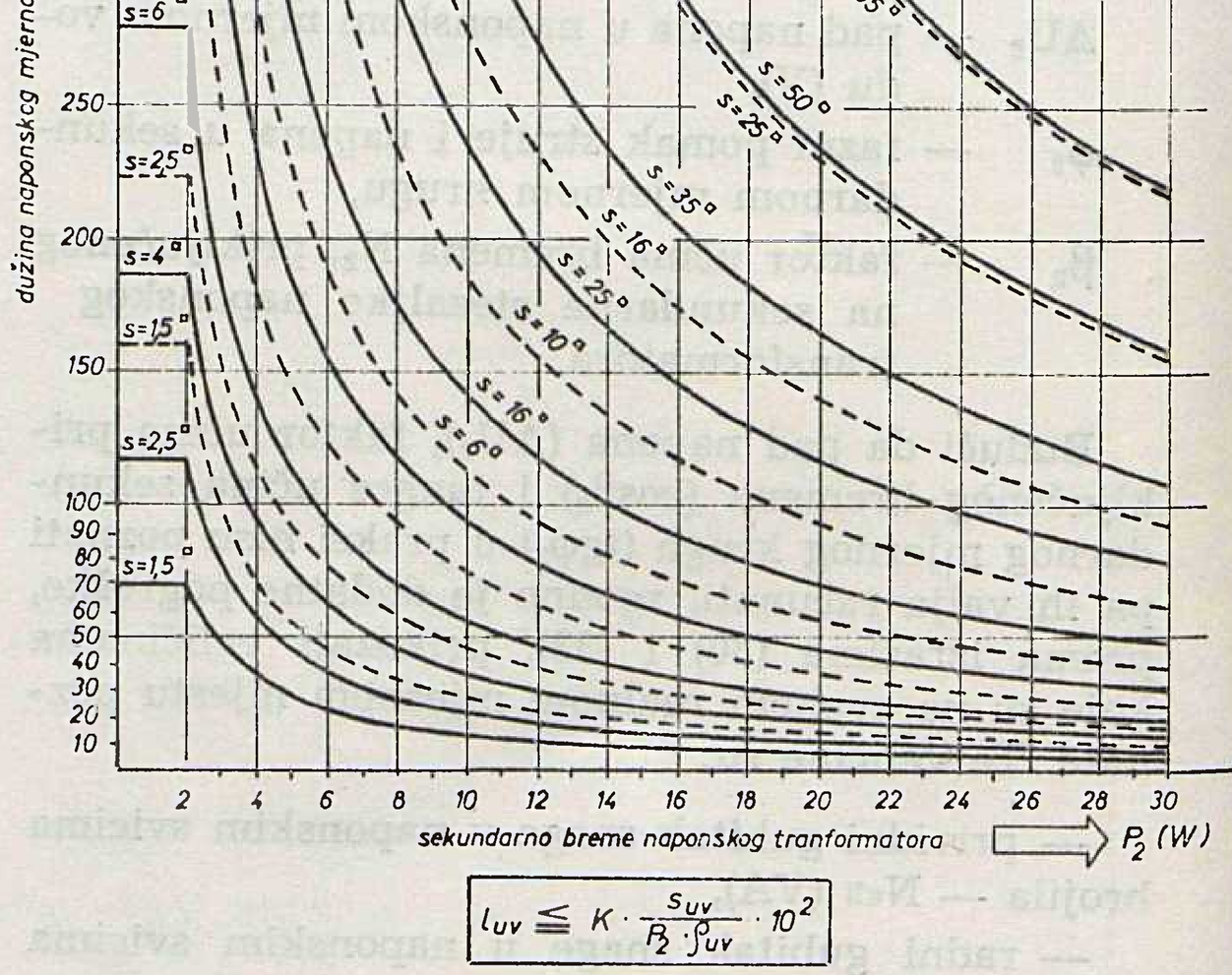
Vrst naponskog transformatora	klasa točnosti	
	0,5	0,2
jednopolno izolirani ($U_2 = 100/\sqrt{3}$ V)	$K = 10^3/3$	$K = 5 \cdot 10^2/3$
dvopolno izolirani ($U_2 = 100$ V)	$K = 10^3$	$K = 5 \cdot 10^2$

Na osnovi relacije (42) i tablice 1. izrađeni su na slikama 7. i 8. dijagrami iz kojih se, s obzirom na upotrijebljene naponske transformatore i električna brojila te konfiguraciju mjernog mjesta, vrlo brzo i jednostavno može izabrati takav naponski mjerni vod da njegov utjecaj na točnost mjerenja električne energije i vršnog opterećenja bude potpuno zanemariv.

U slučaju da naponski svici temeljnih brojila predstavljaju breme blisko nazivnom bremenu upotrebljenog namota, sve pomoćne naponske svitke brojila (tarifne svitke, svitke pokazivača vršnog



Sl. 7. Ovisnost dužine naponskih mjernih vodova o priključenom bremenu na dvopolnim izoliranim napon. transform. ($U_2 = 100$ V)



Sl. 8. Ovisnost dužine naponskih mjernih vodova o priključenom bremenu na jednopolnim naponskim transformatorima ($U_2 = 100/\sqrt{3}$ V)

opterećenja i dr.) valja priključiti na drugi namot (ako postoje naponski transformatori s dva sekundarna namota), odnosno drugi izvor napona.

Na kraju valja napomenuti da se pri dimenzioniranju mjernog naponskog voda ne smije smetnuti s uma i gubitak snage u zaštitnoj sklopki ili osiguračima, koji su redovito uključeni u sekundarni strujni krug naponskog transformatora, a koji je katkada čak i veći od gubitka snage u samim naponskim vodovima.

5. ZAKLJUČAK

Da bi utjecaj spojnih mjernih vodova na točnost mjerenja električne energije i snage na mjernim mjestima distributivnih potrošača bio što manji, valja:

— pravilnim izborom mjernih vodova koji su sastavni dio priključenog bremena, prilagoditi krivulje pogrešaka mjernih transformatora karakteru potrošnje potrošača te odabranim brojilima (o ovome posebno treba paziti pri dimenzioniranju strujnih mjernih vodova);

— spoj strujnih svitaka brojila sa strujnim transformatorima izvesti s odlaznim i dolaznim vodičem; samo takav spoj garantira nepromjenjivost bremena strujnih transformatora, a s tim u vezi i neovisnost pogreške strujnog transformatora u jednoj o primjeni opterećenja u drugim fazama;

— naponske mjerne vodove odabrati i dimenzionirati tako da pad napona u njima ne bude veći od 0,1% kod primjene naponskih transformatora klase 0,5, odnosno 0,05% pri primjeni naponskih transformatora klase točnosti 0,2; dodatna pogreška naponske i kutne pogreške naponskih transformatora u tom slučaju zanemarivo je malena;

— naponski mjerni vod u pravilu izvoditi kao posebni vod sa stezaljki naponskih transformatora (sl. 6.a); ako su na mjernom mjestu ugrađeni naponski transformatori s dva sekundarna namotaja, za obračunsko mjerenje uvijek koristiti jedan, a za sva ostala mjerenja drugi namotaj.

Naslov pisca:
Mr Vojmir Dvornik
Elektrodalmacija Split

ELEKTRA

KRIŽEVCI

ELEKTRA KRIŽEVCI

OSNOVNA ORGANIZACIJA UDRUŽENOG RADA

ELEKTRE ZAGREB

TRG KALNIČKIH PARTIZANA 3

Telefon: 74-322, 74-074, 74-100

Savjetovanja i konferencije

IZVJEŠTAJ O RADU I ZAKLJUČCI XIII SAVJETOVANJA ELEKTROENERGETIČARA JUGOSLAVIJE

Boris Markovčić, Zagreb

Od 17. do 22. travnja 1977. održano je na Bledu XIII sasavjetovanje JNK CIGRE. Tradicionalni skup elektroenergetičara Jugoslavije dobio je ovom prilikom posebno značenje, jer je održan u godini u kojoj najsvečanije obilježavamo epohu od četerdeset godina dolaska druga Tita na čelo Saveza komunista Jugoslavije.

Ova je godina jubilarna i u razvoju Jugoslavenske elektroprivrede, koja slavi 20-godišnjicu tehnički jedinstvenog elektroenergetskog sistema. U proteklih dvadeset godina održano je deset savjetovanja JNK CIGRE. Na tim je skupovima raspravljano o nizu problema i razmijenjena su mnoga iskustva, što je mnogo pridonijelo podizanju tehničkog nivoa naših elektroenergetičara i omogućilo svladavanje tehnologije velikih mreža visokog napona.

Na XIII savjetovanju u Sloveniji prisustvovalo je 1 170 registriranih učesnika iz elektroprivrede, elektroindustrije, instituta, fakulteta i drugih zainteresiranih radnih organizacija. Podnešeno je ukupno 180 referata. Domaćin savjetovanja bila su združena elektrogospodarska podjetja Slovenije. Uloženo je mnogo truda da boravak gostiju bude ugodan i postignuta je primjerna organizacija savjetovanja.

Svečano otvaranje održano je u nedjelju 17. travnja u 18 sati u velikoj festivalskoj dvorani pod predsjedništvom predsjednika JNK CIGRE prof. Milorada Velaševića, dipl. ing. Nakon uvodnog govora predsjednika skup su pozdravili:

Drago Petrović, dipl. oec., član Izvršnog vijeća i predsjednik Komiteta za energetiku SR Slovenije, dr Leopold Pernuš, dipl. ing. predsjednik Skupštine općine Radovljica, Radivoje Marković, dipl. ing. zastupnik generalnog direktora Zajednice jugoslavenske elektroprivrede, Janez Sterniša, dipl. ing. dipl. oec, generalni direktor Združenih elektrogospodarskih podjetja Slovenije.

S otvorenja poslan je pozdravni brzojav drugu Titu, u kojem se ujedno izražava želja prisutnih da mu se dodijeli treći put Orden narodnog heroja.

Radni dio savjetovanja održan je na sastancima radnih grupa 18, 19, 20. i 21. travnja. Rad se odvijao ujutro i popodne, usporedo u dvije dvorane. U dvorani A (festivalska dvorana) i dvorani B (kino-dvorana).

Domaćin je u predvorju festivalske dvorane priredio izložbu umjetničkih slika s motivima elektrifikacije Slovenije. Svečano otvorenje izložbe bilo je popodne 18. travnja.

U utorak u 20,30 sati održan je za sve prisutne drugarski sastanak u prostorijama hotela Toplice, a dan kasnije vrlo uspjeli kulturno-umjetnički program u velikoj festivalskoj dvorani. Obje priredbe organizirao je također domaćin.

Za vrijeme ove velike manifestacije energetičara Jugoslavije, u četvrtak 21. IV, otkrivena je u Ljubljani bista pokojnog prof. dr. Milana Vidmara, prvog predsjednika JNK CIGRE. Svečanosti su prisustvovali brojni posjetioci Savjetovanja, a prof. Velašević, uz ostale, održao je prigodan govor.

Za vrijeme savjetovanja održano je nekoliko poludnevnih izleta u okolicu Bleda, a na završetku prisutni su mogli birati jednu od četiri stručno-turističke ekskurzije po Sloveniji.

Savjetovanju je dan publicitet u štampi i televiziji, a PTT je izdala posebne prigodne omotnice sa žigom koji se upotrebljavao za vrijeme savjetovanja.

Nakon završetka rada pojedinih grupa sastali su se studijski komiteti. Na tom su sastanku formulirani zaključci i perferencijalne teme za slijedeće, XIV savjetovanje. Zaključci su pročitani na plenumu u petak 22. IV i prihvaćeni s manjim ispravcima. Na ovom su savjetovanju studijski komiteti, prema usvojenom pravilniku, prvi puta predlagali najbolji referat svoje grupe za dodjelu diplome.

Zaključci i preferencijalne teme za XIV savjetovanje po grupama su slijedeći:

Sekcija I: ELEMENTI POSTROJENJA

Grupa II — ROTACIONI STROJEVI

Sastanak grupe održan je 11. IV ujutro i popodne u dvorani B.

Sastankom su rukovodili:

predsjednik	prof. dr Božidar Frančić, dipl. ing.
stručni izvjestlac	prof. dr Zvonko Sirotić, dipl. ing.
sekretar	Zvonko Čulig, dipl. ing.

Na osnovi izvještaja stručnog izvjestioca i zaključaka studijskog komiteta referati i informacije svrstani su po preferencijalnim temama u 9 skupina:

1. Elektromagnetski problemi velikih generatora (referat 11. 01.)

2. Konstrukcioni problemi velikih generatora (referati 11. 02, 11.03, 11.04)

3. Uzbudni sistemi i regulacija uzbude generatora (referati 11.05, 11.06, 11.07, 11.08, 11.09)

4. Izbor parametara sinhronih generatora (nema referata ni informacija)

5. Reverzibilni agregati (referati 11.10, 11.11)

6. Izolacija velikih strojeva (referat 11.12)

7. Metoda mjerenja i ispitivanja velikih strojeva (referat 11.13, informacija 11.14)

8. Asinhroni rad sinhronih generatora (nema referata ni informacija)

Na savjetovanju su također raspravljani referati 321.02 i 344.02 iz programa rada Grupa 32 i 34. Zbog aktualnog sadržaja ovi su referati obrađeni i u grupi 11, u okviru preferencijalne teme 3 (uzbudni sistemi i regulacija uzbude generatora).

Zaključci

1. ELEKTROMAGNETSKI PROBLEMI VELIKIH GENERATORA

1.1. U proteklom razdoblju domaća je industrija postigla značajne rezultate na razvoju i osvajanju proizvodnje velikih turbogeneratora. U budućnosti je nužno postići još bolju i organiziraniju suradnju elektroprivrede i industrije na studiju i izboru najpovoljnjih parametara generatora i uzbudnih sistema, imajući na umu potrebe odgovarajuće unifikacije i standardizacije.

1.2. Potrebno je voditi računa o dozvoljenoj opteretivosti generatora inverznom komponentom struje, kako u trajnom radu tako i u prijelaznim stanjima. Te podatke treba utvrđivati konkretno za pojedine strojeve, što je na današnjem stupnju razvoja svakako moguće. Ograničenja opteretivosti

inverznom komponentom struje s porastom su snaga sve izraženija pa se može očekivati da je kod snaga većih od 500 MW nužno ovom pitanju posvetiti odgovarajuću pažnju zbog usklađenja sa sistemom zaštite.

1.3. Potrebno je i ubuduće istraživati prilike gubitaka i zagrijavanje generatora u čeonom dijelu da bi se mogla odrediti realno dozvoljena opteretivost u poduzbuđenom stanju. Za nove generatore takve je podatke dužan dati proizvođač. Na postojećim je generatorima potrebno u suradnji elektroprivrede i industrije organizirati mjerenja da se što točnije odredi područje dozvoljenih opterećenja u poduzbuđenom stanju. U tu je svrhu potrebno iskoristiti razdoblje remonta da bi se ugradile odgovarajuće mjerne sonde.

2. KONSTRUKCIONI PROBLEMI VELIKIH GENERATORA

2.1. Potrebno je proučiti mogućnost da se dizalica u elektrani dimenzionira za nosivost manju od težine rotora, što svakako pojeftinjuje gradnju. Tada se lamelirani jaram rotora ugrađuje u samoj jami generatora, a mora se računati i s dužim trajanjem remonta.

2.2. Torzione vibracije rotora turboagregata mogu se pouzdano proračunavati uzimajući u obzir raznovrsne poremećaje momenata generatora zbog simetričnih i nesimetričnih prelaznih stanja. Ovakve se analize moraju izvoditi za konkretne objekte, a kada proračuni ukazuju na moguće teškoće, valja pristupiti metodama eksperimenata i fizikalnog modeliranja. Pri tome valja posebno voditi računa o vibracijama lopatice turbine.

2.3. Cijevni agregati moraju biti predmet intenzivnog istraživanja i razvoja zbog njihove aktualnosti u daljnoj gradnji elektroenergetskog sistema. Pri tome se naglašava:

2.3.1. Tlak u agregatu valja optimirati između zahtjeva za što boljim iskorištenjem materijala i zahtjeva za korisnošću. Danas su tehnički potpuno izvediva i rješenja sidirektnim hlađenjem namota statora vodom.

2.3.2. Parametri su cijevnih generatora prirodno nepovoljni u pogledu stabilnosti. Ne može se očekivati da se taj nedostatak racionalno nadoknadi ulaganjem u skupe uzbudne sisteme. Zbog toga kod cijevnih agregata valja računati s povećanom mogućnošću gubitka sinhronizma, pa na to mora biti dimenzioniran prigušni kavez i zaštita usmjerivača. Moguće je primijeniti i statičke i beskontaktne uzbudne sisteme, imajući pri tome na umu potrebnu zaštitu.

2.3.3. U zaustavljanju agregata valja što šire primjenjivati hidraulično kočenje, a mehaničko kočenje svesti na najmanju moguću mjeru.

2.3.4. Mehanički problemi cijevnog agregata naročito su značajni. Razvijene su odgovarajuće metode proračuna torzionih oscilacija i učvršćenja statora, koje valja kombinirati s odgovarajućim pokusima i fizikalnim modelima.

2.3.5. Izbor parametara cijevnih agregata valja proučavati kako sa stajališta potreba elektroenergetskog sistema, ali i vodeći računa o racionalnoj gradnji takvih strojeva. Posebno je važno pitanje izbora faktora snage zbog ograničenja u hlađenju uzbudnog namota. To je u prvom redu ekonomsko pitanje, a valja ga rješavati u okviru cjelovitog promatranja kompenzacije jalove snage.

3. UZBUDNI SISTEMI I REGULACIJA UZBUDE GENERATORA

3.1. Suvremena teorija sistema omogućuje da se i u regulaciju uzbude generatora uvedu djelotvorne metode optimalnog vođenja procesa. Takve regulacione zahvate valja ostvarivati primjenom najsuvremenije elektroničke tehnologije, s pažljivim izborom stupnja pouzdanosti.

3.2. Dostignut stupanj razvoja omogućuje da se u matematičke modele reguliranog sinhronog generatora uvedu sve zakonitosti regulacije koje su od interesa za istraživanje i primjenu. Zbog toga nije više nužno ograničavati se u matematičkim modelima samo na proporcionalnu regulaciju po naponu.

3.3. Opravdanost primjene brze demagnetizacije valja i dalje proučavati, pogotovo u vezi s uvođenjem beskontaktnih uzbudnih sistema. Postoje izgledi da će ubuduće brza demagnetizacija gubiti na značenju.

3.4. Može se očekivati da će utjecaj višeagregatnosti (relativno gibanje agregata unutar jedne elektrane) najčešće biti beznačajan za statičku stabilnost; mjerodavno je kretanje elektrane kao cjeline.

4. IZBOR PARAMETARA SINHRONIH GENERATORA

Za izbor parametara vrijede zaključci iz točaka 1.1. i 2.3.5.

5. REVERZIBILNI AGREGATI

Predstoji ugradnja i puštanje u pogon značajnih reverzibilnih agregata. Potrebno je prikupiti što više pogonskih iskustava o vladanju tih strojeva, naročito u specifičnim režimima rada (npr. zalet).

6. IZOLACIJA VELIKIH STROJEVA

6.1. Rezultate preventivnih ispitivanja izolacije valja povezivati sa životnom dobi i kvarovima generatora u eksploataciji. U tu je svrhu nužno organizirati odgovarajuću informatiku i koristiti također i inozemne izvore podataka.

6.2. Potrebno je povezivati i koordinirati rad Radne grupe za izolaciju Studijskog komiteta 11 s djelovanjem odgovarajućih organa JUGEL-a. Treba težiti stvaranju zajedničkih radnih grupa JUGEL—CIGRE.

7. METODE MJERENJA I ISPITIVANJA VELIKIH STROJEVA

Potrebno je i nadalje unapređivati metode mjerenja i ispitivanja velikih električnih strojeva, posebno suvremene metode statičkog mjerenja parametara i sintetske metode opterećenja.

8. POGONI S VELIKIM MOTORIMA

8.1. Potrebno je proučiti koji su primjerni zahtjevi na korisnost velikih motora za elektrane s obzirom na korisnost cjelokupnog postrojenja.

8.2. Potrebno je proučiti koji su primjereni zahtjevi na buku električnih strojeva u elekranama s obzirom na ostale okolne izvore buke.

8.3. U rješavanju termičke zaštite velikih motora mora postojati koordinacija s cjelovitim sistemom zaštite.

Preferencijalne teme

1. Izbor parametara sinhronih generatora i uzbudnih sistema
2. Gradnja velikih generatora
3. Uzbudni sistemi i regulacija uzbude generatora
4. Posebna pogonska stanja sinhronih strojeva
5. Izolacija velikih strojeva
6. Metode mjerenja i ispitivanja velikih strojeva
7. Pogoni s velikim strojevima.

Grupa 12 — TRANSFROMATORI

Sastanak je održan u četvrtak 21. IV ujutro u dvorani B. Sastankom su rukovodili:

predsjednik	prof. dr Tomislav Kelemen, dipl. ing.
sekretar	Josip Šindler, dipl. ing.
stručni izvjestilac	prof. dr Petar Jereb, dipl. ing.

Zaključci

1. Za način terećenja energetskih transformatora u različitim pogonskim uvjetima treba primjenjivati I.E.C. — smjernice — publikacija 354/72. Bilo bi korisno da Jugoslavenski zavod za standardizaciju izda ove smjernice kao JUS-standard.

2. Pitanje zaštite transformatora od preopterećenja bilo bi dobro staviti na dnevni red Komiteta za zaštitu.

3. Dosadašnja iskustva kontrole stanja izolacije transformatora putem klinske kromatografije kod nas i u svijetu pokazuje da treba nastaviti raditi na ovom području. Preporuča se da i druge organizacije u tome sudjeluju kako bi se prikupilo što više podataka i iskustava u vrednovanju rezultata.

4. Bilo bi korisno istraživati i druge metode koje mogu pridonijeti boljem uočavanju i lociranju mogućih slabih mjesta u transformatoru.

5. Ocjenjuje se da je preventivna akcija kontrole stanja izolacije uljnih mjernih transformatora u pogonu vrlo korisna.

6. Zaključke o kontroli stanja izolacije mjernih transformatora donesene na XII savjetovanju treba i dalje provoditi, a postavljene kriterije trajno dograđivati i usavršavati.

7. Paralelno realizaciji zaključaka s XII savjetovanja preporuča se istraživanje i analiza i drugih metoda koje mogu pridonijeti boljem uvidu u stanje izolacije mjernih transformatora.

8. Potrebno je nadalje izvještavati o radovima na istraživanju pojava u transformatorima. Pri razvoju novih tipova transformatora preporuča se intenzivnija suradnja korisnika i proizvođača.

9. Ocjenjuje se korisnim intenzivirati rad na istraživanju svojstava i mogućnosti primjene nekonvencionalnih mjernih transformatora.

10. Preporuča se daljnje istraživanje utjecaja temperature na točnost mjernih transformatora.

11. Preporuča se daljnje istraživanje prolaznih stanja na energetskim i mjernim transformatorima.

Preferencijalne teme

1. Iskustva u pogledu izbora parametara energetskih i mjernih transformatora najviših napona i stajališta u pogledu budućeg razvoja

2. Iskustvo iz eksploatacije energetskih i mjernih transformatora u jugoslavenskim mrežama
Prikupljanje i statistička obrada podataka radi njihova korištenja pri projektiranju, ispitivanju i u eksploataciji

3. Nove tendencije u razvoju transformatora u pogledu koncepcije, konstrukcije, tehnologije, ispitivanja i područja primjene

4. Karakteristike mjernih i energetskih transformatora za vrijeme prijelaznih pojava u mreži.

Grupa 13 — SKLOPNI APARATI

Sastanak grupe održan je u utorak 19. IV ujutro u dvorani B.

Sastankom su rukovodili:

stručni izvjestilac	mr Ante Miliša, dipl. ing.
predsjednik	Ivan Naumovski, dipl. ing.
tajnik	Miloš Abadžić, dipl. ing.
	Sead Krajinić, dipl. ing.

Zaključci

1. Treba nastaviti s eksperimentalnim istraživanjima sklopnih prenapona usporedo s teorijskom analizom. Apelira se na elektroprivredne Zajednice da uz čvršću koordinaciju JUGEL-a slijede primjer ZEP-a u naporima na tom području.

2. Treba inicirati početne studije koje bi pomogle kod definiranja parametara sklopnih aparata buduće mreže napona iznad 430 kV u Jugoslaviji.

3. Prihvaćaju se zaključci doneseni na proširenom sastanku studijskog komiteta br. 13 u lipnju 1976. u Opatiji u vezi s pitanjem pouzdanosti sklopnih aparata. S tim u vezi zadužuje se radna grupa za pouzdanost sklopnih aparata da u zajednici s radnom grupom ZEP-a i uz pomoć JUGEL-a učini sve da ovi zaključci što prije ožive u praksi. Uspjeh prikupljanja podataka prvenstveno ovisi o naporima elektroprivrednih poduzeća.

4. Proučavanje matematičkih modela luka radi upoznavanja interakcije prekidača i mreže te interakcije medija i luka u prekidačima s različitim medijima ima značajnu uloga u usavršavanju metoda ispitivanja s jedne i istraživanju sistema za gašenje luka s druge strane. Smatra se da treba nastaviti s naporima radi iznalaženja potpunijih i adekvatnijih matematičkih modela luka.

5. Radi efikasnijeg rješavanja pitanja utjecaja zagađenosti na električne karakteristike izolatora treba uspostaviti bolju suradnju svih radnih grupa koje rade na tom području. U tom smislu predlaže se da Studijiski komitet broj 33 organizira rad zajedničke radne grupe tako da se što prije dođe do odgovarajućih zaključaka i uputa upotrebljivih za korisnike i za proizvođače visokonaponske opreme.

Preferencijalne teme

1. Problematika sklopne opreme za mreže 420 kV i više
2. Pouzdanost sklopnih aparata
3 Aktualni problemi ispitivanja sklopnih aparata
4. Studij pojava u okolini nul-točke prekidne struje
5. Razvoj i primjena metalom i izolacijom oklopljenih postrojenja.

Grupa 15 — IZOLACIONI MATERIJAL

Sastanak grupe održan je u četvrtak 21. IV popdne u dvorani B.

predsjednik	Vladimir Bek, dipl. ing.
stručni izvjestilac	dr Petar Jereb, dipl. ing.
	Vladimir Bek, dipl. ing.

Zaključci

1. Iako sve preferencijalne teme nisu bile zastupljene referatima, može se konstatirati da je interes za problematiku vezanu za izolacione materijale i sisteme bio živ, o čemu govori i ukupno 9 referata koji tretiraju probleme ovog područja.

2. Značajan dio referata prelazi interes same grupe 15 u užem smislu, tako da je bio prezentiran i na ostalim grupama prve sekcije (rotacioni strojevi i transformatori), gdje su primljeni s očitim zanimanjem o čemu svjedoče i vođene diskusije.

3. Tretiranje izolacije kao sastavnog dijela proizvoda predstavlja pozitivnu i korisnu orijentaciju u okviru djelatnosti prve sekcije, pa će se takva i dalje njegovati i razvijati.

4. Značajno je da među objavljenim referatima u ovoj grupi ima veoma mnogo prikazanih rezultata koji su plod značajnih višegodišnjih naučnoistraživačkih radova sve šireg kruga učesnika.

5. Daljnji rad na području sistematskog i profilaktičkog ispitivanja izolacionih sistema električnih proizvoda smatra se veoma korisnim jer će pridonijeti stvaranju odgovarajućih podloga za tehničke propise i preporuke.

6. S obzirom na njihovu permanentnu aktualnost preferencijalne teme za ovo zasjedanje zadržat će se u nešto modificiranom obliku i za iduće razdoblje.

Preferencijalne teme

1. Svojstva i performanse konvencionalnih i novih izolacionih materijala uključujući metode ispitivanja

2. Suvremeni sistemi izolacije i tehnologija izoliranja električnih proizvoda

3. Sistematska i profilaktička ispitivanja sistema izolacije električnih proizvoda u procesu proizvodnje, u toku instaliranja i u toku rada. Usvajanje adekvatnih metoda i utvrđivanje kriterija za procjenu stanja sistema izolacije, i to:

a) rotacionih strojeva

b) transformatora

c) sklopnih aparata i drugih proizvoda.

Sekci'a II: KABELI, VODOVI I POSTROJENJA

Grupa 21 — ENERGETSKI KABELI

Sastanak grupe održan je u utorak 19. IV popdne u dvorani A.

Sastankom su rukovodili:

Svetozar Carević, dipl. ing.
Miodrag Stevanović, dipl. ing.
Krunoslav Jalušić

Zaključci

1. Predložiti dopunu standarda JUS N C5. 220 novim podacima o veličini presjeka električne zaštite i uvjetima za poluproizvodne slojeve.

2. Provesti studiju radi određivanja optimalnog modela za vođenje tehničke dokumentacije o kabelima u sklopu jedinstvenog sistema dokumentacije.

3. Kabelske mreže koje su u pogonu i one koje se projektiraju u uvjetima velike otpornosti tla i višeg izokreraunčkog nivoa podvrgavati posebnoj kontroli i koristiti se dodatnim mogućnosti za saniranja ove situacije ojačanjem konstruktivnih elemenata kabela ili korištenjem dodatnih sredstava zaštite od atmosferskih pražnjenja.

Preferencijalne teme

1. Usporedba tehničko-ekonomskih karakteristika 110 kV kabela

2. Ponašanje i osobine 110 kV kabela u mrežama s direktnom transformacijom

3. Pribor za 110 kV kabele i polaganje

4. Informacija o kabelima za prijenos velikih snaga naponom 110 kV i većim.

Grupa 22 — NADZEMNI VODOVI

Sastanak grupe održan je u srijedu 20. IV ujutro u dvorani A.

Sastankom su rukovodili:

Ban Jovanović, dipl. ing.
Veroslava Jovanović, dipl. ing.
Fuad Cerić, dipl. ing. (odsutan)
zamjenjuje: mr Miloje Nikolić, dipl. ing.

Zaključci

1. Prikupljanje, analiza i obrada meteoroloških podataka, njihova primjena i utjecaj na određivanje parametara nadzemnih vodova i razrada metodologije u ovom pravcu, ostaje i dalje stalna potreba i zadatak.

2. Nastaviti s ispitivanjem opravdanosti primjene iskrišta na krajevima nadzemnih vodova ispred postrojenja, kao dopunskoj vrsti zaštite. Proučiti mogućnost ugradnje pogodnih brojača radi utvrđivanja efikasnosti ovakve zaštite.

3. Potrebno je nastaviti ispitivanje izolatorskih lanaca u nezagađenoj atmosferi i započeti ispitivanja lanaca u zagađenoj atmosferi.

4. Pristupiti sistematskoj obradi i reonizaciji pojedinih područja zagađenosti (industrija, područje s posolicom, rudnici itd.) radi analiziranja optimalnih tipova izolatorskih članaka i izolatorskih lanaca za pojedine slučajeve u ovakvim područjima.

5. Primjena »Bentonita« za smanjenje otpora trakastih uzemljivača predstavlja poseban interes i treba nastojati da se započeta ispitivanja nastave i završe. Potrebno je ispitivati djelovanje »Bentonita« na smanjenje korozionog djelovanja dobro vodljivoga agresivnog zemljišta.

6. Postoji potreba da se ubrza donošenje pojedinih propisa a naročito propisa o utjecaju nadzemnih vodova na telekomunikacione vodove i cjevovode, kao i o sredstvima za smanjenje utjecaja jer nedostatak ovih propisa predstavlja prepreku kako dosadašnjem, tako i budućem radu na izgradnji visokonaponske mreže.

7. S obzirom na dosadašnja dobra iskustva sa zaštitnom užadi od legure AlMg 1/Fe. posebno u Sloveiji, potrebno je prikupiti što više podataka i ispitivanja u vezi s ovim materijalom radi njegove šire upotrebe.

Preferencijalne teme

1. Iskustva iz projektiranja, izgradnje i pogona nadzemnih vodova.

— Havarije zbog djelovanja vjetra i dodatnog opterećenja, kao i ostalih uzroka
— Ponašanje: izolatorskih lanaca (posebno u zonama zagađene atmosfere i posolice), armature, vodiča, zaštitne užadi stupova, uzemljena itd.
— Pojave mehaničkih oscilacija, djelovanje prigušivača
— Ispitivanje materijala demontiranog sa starih vodova

2. Razmatranje potreba, mogućnosti i efikasnosti ugradnje iskrišta na prilaznim dijelovima nadzemnih vodova ispred postrojenja. Razmatranje postavljanja brojača djelovanja iskrišta. Preporučuje se obrada ove teme zajedno sa studijskim komitetom 33
— Prenaponi i koordinacija izolacije

3. Uklapanje nadzemnih vodova u okolinu i zašitita čovjekove sredine

4. Problematika zaštitne užadi, primjena legure Al Mg 1/Fe. Problemaitka i prednosti primjene izolirane zaštitne užadi i užadi SLK (zaštitno uže sa telekomunikacionim kabelom)

5 Utjecaj nadzemnih vodova na telekomunikacione vodove i cjevovode s gledišta projektiranja izgradnje i održavanja

6 Problematika rada pod naponom na nadzemnim vodovima. Korištenje suvremenih sredstava u njihovu održavanju.

Grupa 23 — RAZVODNA POSTROJENJA

Sastanak grupe održan je u četvrtak 21. IV ujutro i popodne u dvorani A.

Sastankom su rukovodili: Velimir Ribar, dipl. ing.
predsjednik Dragan Maksimović, dipl. ing.
sekretar Miloš Pirivatrić, dipl. ing.
stručni izvjestilac

Zaključci

1. Racionalizacija rješenja za dijelove postrojenja visokog napona u ukupnom kompleksu izgradnje objekata visokonaponske mreže smatra se kao neophodan put u procesu usavršavanja i modernizacije osnovnih rješenja visokonaponskih postrojenja.

U tom smislu potrebno je predložiti nadležnom organu da poduzmu korake za dopunu tehničkih propisa za projektiranje i izgradnju energetskih postrojenja visokog napona.

Potrebno je isto tako da domaća industrija preispita mogućnost smanjenja osnovnih dimenzija pojedinih visokonaponskih aparata (rastavljači).

2. Imajući na umu brojne prednosti unfikacije razvodnih postrojenja i stupanj postignute unifikacije u inozemstvu predlažemo da se pristupi izradi preporuka za unifikaciju pojedinih dijelova postrojenja 400 kV. Ocjenjujemo da bi organizatorsku ulogu u ovom poslu morale imati elektroprivredne organizacije na čelu s JUGEL-om.

3. U pogledu izbora konstruktivnih rješenja visokonaponskih postrojenja 400 kV preporučuje se izrada varijanti, za poznatu mikrolokaciju, uzimajući u obzir tehničke probleme (visoke vrijednosti nominalnih struja); struja kratkog spoja i dr.), mogućnosti domaće industrije, (izrada cijevi vezni materijal, montaža i sl.), kao i ukupne ekonomsko- komercijalne efekte.

4. S obzirom na zahtjeve i potrebe urbanih sredina i industrije primjena postrojenja sa SF-6 tehnikom pogodna je pa se preporučuje da se i dalje nastavi s radom na usavršavanju i moderniziranju ovog načina izvođenja postrojenja.

5. Podržava se zaključak grupe 13, 22 i 35 da se organizira zajednička radna grupa koja bi obradila upute i smjernice za poduzimanje mjera na smanjenju zagađenosti postrojenja.

6. Preporuča se projektnim organizacijama da radi modernizacije tehnološkog procesa izrade projektne dokumentacije primjene i suvremena sredstva iz ovog područja (računala i sl.).

7. Kako se u eksploataciji razvodnih postrojenja visokih napona sve više nailazi na prenapone u sekundarnim krugovima inducirane zbog utjecaja komutacionih prenapona u primarnim krugovima, to se preporuča da elektroprivredne organizacije izrade preporuke o preventivnim mjerama kako bi se prenaponi u sekundarnim krugovima ograničili na dopuštene vrijednosti.

8. Preporuča se da budući referati obrađuju materiju s iskustvima iz izgradnje i pogona razvodnih postrojenja s posebnim osvrtom na probleme novoizgrađenih 400 kV postrojenja.

9. Preporuča se nastaviti započeti rad na problematici vrlo visokih napona radi spoznavanja osnovnih parametara razvodnih postrojenja uključujući i postrojenja za povezivanje sa susjednim velikim energetskim sistemima (pretvaračke stanice).

Preferencijalne teme

1 Racionalizacija i optimizacija razvodnih postrojenja visokog napona

2. Iskustva u izgradnji i pogonu novoizgrađenih 400 kV postrojenja

3. Vlastita potrošnja velikih TE

4. Specifična rješenja vlastite potrošnje velikih TS

5. Problematika postrojenja (SF-6) za napon 110 kV i više i postrojenja srednjih napona smanjenih dimenzija.

6. Obrada oklopljenih postrojenja u pogledu sigurnosti protiv lukâ

7. Korištenja računskih strojeva pri projektiranju elektroenergetskih postrojenja

8. Principi daljinskog upravljanja

9. Problematika postrojenja vrlo visokih napona.

Sekcija III: MREŽE

Grupa 32 — PLANIRANJE I POGON ELEKTRIČNE MREŽE

Sastanak je održan po podgrupama.

Podgrupa 321 — PRIJENOSNE MREŽE

Sastanak ove podgrupe održan je u utorak 19. IV prije podne u dvorani A.

Sastankom su rukovodili:

predsjednik	prof. dr Marijan Plaper, dipl. ing.
stručni izvjestilac	Boris Markovčić, dipl. ing.

Zaključci

1. Unatoč brojnim diskusijama o problemu jalove snage na svim naponskim nivoima, a naročito u vezi s pogonom mreže 400 kV, učinjeno je veoma malo. Taj problem treba obuhvati u cjelini, proučiti i predložiti najogodnija rješenja.

2. Treba dalje proučavati tehničku stranu i utjecaj interkonekcije s inozemstvom u slučajevima koji se predlažu za perspektivu.

3. Preporuča se da se za jugoslavenske potrebe utvrde jedinstveni parametri koje treba uzeti u račun kratkog spoja za određene svrhe i određene naponske nivoe.

4. Treba raditi na poboljšanju matematičkog modela za proračun naponskih stanja i tokova snaga, uzimajući u obzir i ograničenja po parametrima režima koji su uvjetovani pogonskim karakteristikama pojedinih elemenata sistema

5. Treba također razvijati postupke koji će omogućiti da se prilikom ispitivanja mreže, već u toku računanja na računalu, automatski vrše tražene analize i eliminiraju nezadovoljavajući rezultati.

6. Treba nastojati da se omogući dobivanje potrebnih podataka za elektroenergetske analize. Odabiranje i sistematiziranje takvih podataka stavlja se u plan rada Studijskog komiteta za mreže.

Preferencijalne teme

1. Planiranje električnih mreža

a) Perspektivni planovi visokonaponskih mreža, kako parcijalni, tako i kompleksni za Jugoslaviju u cjelini

b) Zahtjevi koji se postavljaju prijenosnoj mreži visokog napona pri planiranju za rad u normalnim i abnormalnim pogonskim uvjetima. Utjecaj statičkih i dinamičkih karakteristika potrošnje na projektiranje mreže. Razrada metodologije i prikaz ostvarenih rezultata

c) Problemi reaktivnih snaga i promjene napona u visokonaponskoj mreži u normalnim i poremećenim stanjima, posebno u početnim uvjetima izgradnje prijenosne mreže.

2. Eksploatacija elektroenergetskih sistema

a) Iskustva u ekskplotacijzi visokonaponskih prijenosnih mreža. Usporedba između projekata i realizacija

b) Koncepcije, funkcionalne karakteristike i realizacije upravljanja elektroenergetskim sistemima u SFRJ u normalnim i abnormalnim pogonskim uvjetima

c) Upravljanje elektroenergetskim sistemima u normalnom radnom stanju u periodu operativnog planiranja (priprema pogona) i u realnom vremenu. Razrada metoda i postupaka uz respektiranje zahtjeva sigurnosti, ekonomičnosti i okoline.

Podgrpa 322 — DISTRIBUTIVNE MREŽE

Sastanak podgrupe održan je u utorak 19. IV popdne u dvorani A.

predsjednik	Jozo Šuste, dipl. ing.
stručni izvjestilac	Vojislav Plazinić, dipl. ing.

Zaključci

1. Velike struje dozemnih kratkih spojeva u mrežama 110 kV stvaraju znatne poteškoće u pogledu ispunjenja uvjeta bezopasnosti u elektroenergetskim postrojenjima i u instalacijama potrošača. To upućuje na nužnu suradnju elektroprivrednih radnih organizacija radi rješavanja ovog problema.

Predlaže se da i Predsjedništvo studijskih komiteta ovo pitanje stavi na svoj dnevni red kao zajedničko pitanje rada više studijskih komiteta.

2. Pri proračunu uzemljenja objekata treba uzeti u obzir efekt svih uzemljivača (kabela, zemljovodnih užadi, temeljnih uzemljivača, uzemljivača susjednih objekata i sl.) koji su galvanski međusobno povezani.

3. Nužno je hitno uskladiti postojeće propise s rezultatima najnovijih istraživanja u području zaštita od previsokih napona dodira i koraka.

4. Ustanovljeno je da postoji zaostajanje u prikupljanju i obradi osnovnih podataka o mrežama. Potrebno je hitno pristupiti formiranju sistema za njihovo prikupljanje i obradu koji će, organizirani u bazi podataka, poboljšati održavanje i planiranje mreža.

5. Pri doguročnom planiranju potrebno je poći od idejnog planiranja koje rješava energetske parametre i osnovne parametre mreža, a tek nakon toga prijeći na konkretna rješenja ostalih problema (dispečarsko upravljanje, uzemljenje zvjezdišta i sl.).

6. I ovaj se put naglašava da uvođenje direktne transformacije ne znači i ukidanje mreže 35 kV prije njezina ekonomskog iskorištenja.

7. Preporuča se da Studijski komitet razmotri postojeće propise i razradi potrebne prijedloge za vodove 20 kV i kabelske vodove.

Preferencijalne teme

1. Problemi uzemljenja u elektroprivrednim objektima i u instalacijama

2. Planiranje i oblikovanje distributivnih mreža

3. Razrada koncepcije baze podataka elemenata mreža, njezino osnivanje i korištenje

4. Racionalno korištenje električne energije.

Grupa 33 — PRENAPONI I KOORDINACIJE IZOLACIJE

Sastanak je održan u pondjeljak 18. IV popdne u dvorani A.

Sastankom su rukovodili:

predsjednik	prof. Ljubiša Milanković, dipl. ing.
tajnik	Sreten Stojanović, dipl. ing.
stručni izvjestilac	Miodrag Cvetković, dipl. ing.

Zaključci

1. Nastaviti s registriranjem atmosferskih pražnjenja. Sisematizirati metode mjerenja primjenljive za cijelu zemlju. Mjernjima treba obuhvatiti:

— broj pražnjenja odnosno broj grmljavinskih dana.
— amplitude struje i napona.
— strminu struje pražnjenja.

Pri mjerenjima treba voditi računa o uvjetima mjerenja.

2. Prenaponskoj zaštiti velikih transformatora treba posvetiti punu pažnju i nastaviti s istraživanjem i ispitivanjem u tom području.

3. Nastaviti s istraživanjem prenaponskih pojava u niskonaponskim mjernim, signalinim i sličnim krugovima.

Razviti jednostavnije metode mjerenja i kontrole za ovu svrhu.

4. Nastaviti s mjerenjem sklopnih prenapona na svim naponskim nivoima u mreži. Posebno je značajno da se ova mjerenja izvrše pri puštanju novih dionica 400 kV mreže u pogon.

5. Preporuča se proizvođačima i korisnicima opreme da koriste opremljene domaće ispitne laboratorije radi dobivanja sklopnih preskočnih karakteristika izolacije.

6. Predlaže se udruženim elektroprivrednim i ostalim zainteresiranim organizacijama da intenzivnije i sistematičnije istražuju probleme ponašanja izolacije u zagađenim uvjetima. Studijski komitet 33 treba da razmotri ovu problematiku i s drugim zainteresiranim studijskim komitetima.

7. Nastaviti s ispitivanjem iskrišta koja se primjenjuju u mreži svih naponskih nivoa radi dobivanja pouzdanijih karakteristika.

8. Nastaviti s razradom i primjenom računskih metoda za proračun sklopnih prenapona u mreži.

9. Sugerira se sistematska obrada materijala iz područja koordinacije izolacije. Treba obratiti posebnu pažnju:

— prenaponskim pojavama u mreži,
— zaštitnoj opremi,
— karakteristikama izolacije.

Preferencijalne teme

1. Dalji razvoj računskih metoda za proračun sklopnih prenapona, njihova verifikacija i primjena
2. Utvrđivanje izolacionih karakteristka oprema
3. Prenaponska zaštita velikih transformatora
4. Koordinacija izolacije elektroenergetskog sistema (vodova i postrojenja)
5. Problemi zagađenja zraka.

Grupa 34 — ZAŠTITA I AUTOMATIKA

Grupa je održala sastanak u srijedu 20. IV ujutro u dvorani B.

Sastankom su rukovodili:

predsjednik	prof. dr. Anton Ogorelec, dipl. ing. Albin Kurnik, dipl. ing.
tajnik	Velimir Hangi, dipl. ing. dr Ferdo Gubina, dipl. ing.
stručni izvjestilac	Karel Hribšek, dipl. ing.

Zaključci

1. Nastaviti s proučavanjem specifične problematike kod zaleta motora s uvažavanjem tranzientnih pojava, a s posebnim osvrtom na zaštitu.

2. Potrebno je i dalje proučavati ponašanje motora pri nesimetričnom napajanju i odgovarajuću zaštitu. Ovu zaštitu treba primijeniti naročito kod snaga motora od 100 kW i većih.

3. Pristupiti izučavanju problematike preventivnih zaštita turbogeneratora iznad 300 MW. Takvi turbogeneratori ugrađivat će se u bližoj budućnosti u našoj mreži.

4. Proučavati problema odvajanja industrijskih elektrana i toplana od sistema u slučajevima poremećaja u mreži (rafinerije, kemijske industrije itd.).

5. Posvetiti punu pažnju i nastaviti s istraživanjem i ispitivanjem turbinskih regulatora za hidroelektrane i sistema grupne regulacije.

6. Višeparametarsku regulaciju pobude potrebno je dalje razvijati. Zbog dinamičke stabilnosti mreže bit će potrebno pripremiti s njom sve značajnije agregate.

7. S porastom snaga kratkog spoja u velikim gradskim kabelskim mrežama javlja se potreba za rješenjima zaštite koja će omogućiti brza isključenja.

8. Prilikom uvođenja statičke zaštite treba naročitu pozornost obratiti mjerama za suzbijanje tranzientnih prenapona u sekundarnim krugovima postrojenja.

9. Proizvođači statičkih uređaja zaštite i automatike trebaju da misle na kvalitetu statičkih komponenata i proizvode odgovarajuća ispitivanja statičkih uređaja, predviđena standardima I. E. C.

10. S obzirom na široko uvođenje statičkih zaštita i automatike preporuča se organiziranje izobrazbe kadrova.

11. Zaštita od zatezanja prekidača našla je svoju primjenu u postrojenjima prijenosne mreže, a posebno u kombinaciji sa zaštitom sabirnica. Preporuča se naročito u elektranama, kako bi došlo do isključenja generatora s mreže i u slučaju zatajenja prekidača u generatorskom polju.

12. Potrebno je proučavati mogućnosti praktičke primjene zaštite na nivou postrojenja sistema (zaštita na više nivoe).

13. U daljnjem radu treba posvetiti pažnju pitanjima međusobnog povezivanja procesnih računala, centara upravlajnja u integriranu mrežu. Potrebno je također razmatrati mogućnosti povezivanja ove mreže s mrežom poslovnih računala.

14. Buka u elektranama ozbiljan je problem, pa kod projektiranja novih postorojenja treba tome posvetiti odgovarajuću pozornost.

Preferencijalne teme

1. Preventivna zaštita velikih motora i dosadašnja iskustva

2. Zaštita velikih turbogeneratora, uzimajući u obzir način uzbude generatora

3. Automatizacija pogona u hidroelektranama i dosadašnji rezultati

4. Kronologija događaja i diagnostika kvarova u elektroenergetskim postrojenjima te njihova daljnja obrada

5. Problematika regulatora i sistemi grupne regulacije u hidroelektranama

6. Zaštita i automatizacija u postrojenjima srednjih napona, povezana sa daljinskim upravljanjem postrojenja

7. Problematika tranzientnih prenapona u sekundarnim krugovima i iskustva u pogonu

8. Superponirani sistemi zaštite na nivou postrojenja i sistema

9. Nove metode određivanja udaljenosti mjesta kvara

10. Automatsko odvajanje industrijskih elektrana, uz osiguranje elektrana, uz osiguranje kontinuiteta napajanja.

11. Ispitivanje zaštitnih uređaja i automatike mreže 400 kV s analizom rezultata

12. Aparaturna i programska oprema centara upravljanja

13. Zaštita transformatora od preopterećenja (u suradnji sa Studijskim komitetom 12).

Grupa 35 — KOMUNIKACIJE

Sastanak grupe održan je u ponedjeljak 18. IV prije podne u dvorani A.

Sastankom su rukovodili:

predsjednik	Biljana Radoman, dipl. ing.
tajnik	Dragoljub Popović, dipl. ing.
stručni izvjestilac	Mirko Majić, dipl. ing.

Zaključci

1. Izgradnja telekomunikacione mreže mora brže i dosljednije pratiti izgradnju elektroenergetskog sistema jer je to osnovni preduvjet za formiranje sistema upravljanja koji može garantirati siguran i ekonomičan rad elektroenergetskog sistema

Neophodno je na širem, jugoslavenskom planu osigurati veći stupanj koordinacije u finaciranju i korištenju primijenjenih istraživanja u području telekomunikacija, koja se vrše na temelju narudžaba elektroprivrede.

2. Izboru organizacije i strukture informacionih sistema za potrebe dispečerskog upravljanja treba pristupiti uz veće uvažavanje realnih zahtjeva i karaktera dispečarskog upravljanja, specifičnosti organizacije i odnosa u jugoslavenskoj elektroprivredi i mogućnosti suvremene računsko-komunikacione opreme. S obzirom na složenost zadataka dispečerskog upravljanja i zahtjevanih performansi informacionog sistema preporuča se formiranje zasebnih (informaciono spregnutih) sistema za operativno upravljanje i za planiranje i analize pogona.

Da bi se ostvarila maksimalna raspoloživost i konzistentnost informacija u svim centrima upravljanja, preporuča se formiranje autonomne teleinformacione mreže u sklopu sistema za operativno upravljanje.

3. Radi ostvarivanja visokih performansi koje se traže od telekomunikacione mreže neophodno je uvođenje adekvatne metodologije i tehničkih sredstava za određivanie i praćenje njezine efikasnosti. Za rješavanje tog zadatka preporučuju se ove praktične mjere:

a) daljnja istraživanja na izboru i primjeni adekvatnih metoda i sredstava za mrežu veza jugoslavenske elektroprivrede,

b) uvođenje sistematskog praćenja i ispitivanja eksploatacionih karakteristika svih elemenata mreže veza koji su već u pogonu.

4. Kod projektiranja VF veza po vodovima visokog napona potrebno je u što većoj mjeri uzimati u obzir realne karakteristike visokonaponskih vodova kao prijenosnih medija. Veze po vodovima visokog napona ostaju i ubuduće bitne komponentne elektroprivredne mreže veza i stoga se preporuča uvođenje u širu primjenu i eksploataciona verifika-

cija rigoroznijih modela i razvijenih računskih programa. Primjenu razvijenih programa treba također usmjeriti i na daljnja istraživanja ponašanja prijenosnih karakteristika u najnepovoljnijim uvjetima rada ove vrste veza.

5. Za realiziranje usmjerenih radio-veza u elektrodistribucijama gradskog tipa preporuča se korištenje opsega od 13 GHz.

6. Nužno je nastaviti sa sistematskim eksperimentalnim istraživanjem i mjerenjem kvalitete prijenosnih kanala elektroprivredne mreže veza iz aspekta prijenosa podataka. Kod projektiranja kanala za prijenos podataka u elektroprivrednoj mreži veza preporuča se korištenje rezultata mjerenja prezentiranih u ref. 35. i 14.

7. Kod izbora telemehaničkih uređaja preporučaju se uređaji kod kojih je zaštita podataka pri prijenosu ostvarena primjenom cikličkih (polinomskih) zaštitnih kodova.

8. Kod većih elektroenergetskih objekata, gde postoje i kućne centrale, preporučuje se ostvarivanje tandem-spreg kućne i elektroprivredne centrale. Pri tome treba uvažavati odgovarajuće tehničke uvjete ZJE.

9. Primjena računala u automatizaciji hidroelektrana verificirana je u jugoslavenskoj elektroprivredi, i to realizacijama domaćih projektanata i izvođača (HE Varaždin, He Đerdap).U skladu s tim iskustvima, kod izgradnje novih i rekonstrukcije starih hidroelektrana preporuča se smjelije uvođenje računala za funkcije akvizacije i obrade podataka i nad zora objekata.

10. S obzirom na značaj i višestruko korištenje registriranih podataka o snazi i energiji i potrebi njihovih daljih obrada, treba i dalje nastaviti raditi na formiranju računarski zasnovanih pristupačnih datoteka s ovim podacima. Preporuča se razvijanje aktivnosti na zasnivanju jedinstvene, elektroprivredne baze podataka ove vrste.

11. Preporuča se da se tehnički uvjeti za spoj u grupu ZJE upotpune dijagramima mogućih širina propusnih opsega spojnih filtra impedancijom dalekovoda i kapacitivnošću sprežnog kondenzatora kao parametrima.

12. Rješavanju problema primjene suvremenih informacionih sistema u elektroprivredi potrebno je pristupati multidisciplinirano uz sudojelovanje stručnjaka koji se bave problemima dispečarskog i poslovnog upravljanja elektroenergetskim sistemom, problemima informacionih sistema, telekomunikacija i ostalih dodirnih disciplina.

Preferencijalne teme

1. *Transmisioni putovi*

Koncepcija, teorijska proučavanja, rezultati mjerenja i eksploatacije transmisionih putova koji se koriste u informacionim sistemima energetskih mreža. Uspoređenje transmisionih putova s gledišta ekonomičnosti, sigurnosti i pouzdanosti.

2. *Informacioni sistemi* — Prijenos podataka za daljinsko upravljanje (uključivši i tele-zaštitu) i zahtijevane karakteristike. Rezultati isptivanja raznih sredstava prijenosa. Sistemi daljinskog upavljanja: potrebe, zadovoljnje u pogledu brzine odziva, točnosti, sigurnosti i pouzdanosti. Strukture sistema i računarske mreže. Strukture podataka. Primjeri praktičnih realizacija i dobijeni rezultati.

3. *Telekomunikacione mreže* — Telefonske i telegrafske mreže: kriteriji, koncepcije, posebne mogućnosti, sistemi komutacije.

4. *Napajanje uređaja informacionog sistema.*

Grupa 36 — PERTURBACIJE

Sastanak grupe održan je u utorak 19. IV, popodne u dvorani B.

Sastankom su rukovodili:

predsjednik	doc. Ivan Plačko, dipl. ing.
tajnik	Branko Kragić, dipl. ing.
stručni izvjestilac	Dobrivoje Živković, dipl. ing.

Zaključci

1. Intenzivan razvoj elektroenergetske mreže, posebno 400 kV, kao i istovremeni brzi razvoj javne telekomunikacijske mreže i funkcionalnih komunikacijskih mreža elektroprivrede. ŽTP, JNA i sl. potencira probleme koegzistencije elektroenergetskog i telekomunikacijskog sistema. U tom smislu nužno je nastaviti rad na proučavanju utjecaja visokonaponskih postrojenja na telekomunikacijska postrojenja, a posebno u dosad nedovoljno proučavanom i nedovoljno ispitivanim područjima, kao što su radio-smetnje, prijelazne pojave u VN-postrojenjima, korozija metalnog plašta kabela i opreme, te povišeni potencijal i posljedica njegova iznošenja posredstvom metalnih uzemljenih vodiča.

2. Da bi se pronašle za naše prilike najefikasnije mjere zaštite, potrebno je posvetiti posebnu pažnju prikupljanju podataka o djelovanju primijenjenih zaštitnih mjera i opreme, kao i podataka o atmosferskim izbojima u telekomunikacijska postrojenja.

3. Inicirati postupak donošenja propisa o reguliranju materije iz područja elektroenergetskih postrojenja na telekomunikacijska postrojenja i metalne cjevovode čija izrada još nije započela, a energično zahtijevati od Saveznog zavoda za standardizaciju da se ubrza i okonča postupak donošenja JUS-standarda o utjecaju visokonaponskih i vodova na telekomunikacijske vodove i JUS-standarda o zaštitnim mjerama od utjecaja visokonaponskih vodova na telekomunikacijske vodove.

Preferencijalne teme

1. Elektromagnetski utjecaj visokonaponskih postrojenja na telekomunikacione vodove i metalne cjevovode s posebnim osvrtom na efikasnost i ponašanje pojedinih mjera zaštite.

2. Daljnje prikupljanje i analiza statističkih podataka o radio-smetnjama zbog pojave korone na visokonaponskim vodovima te nalaženje i verifikacija optimalne metode za proračun i mjerenje radio-smetnji

3. Analiza utjecaja smetajućeg spektra frekvencija koji nastaje u visokonaponskoj mreži zbog primjene tiristorskih ispravljača i prijelaznih pojava

4. Problemi zaštite telekomunikacionih kabela i opreme od korozije uslijed lutajućih struja.

Sekcija IV: ELEKTROENERGETIKA

Grupa 41 — ELEKTRANE I ENERGETSKI SISTEMI

Sastanak grupe održan je u srijedu 20. IV popodne i četvrtak 21. IV ujutro u dvorani A.

Sastankom su rukovodili:

predsjednik	prof. dr Hrvoje Požar, dipl. ing.
stručni izvjestilac	Dejan Mandić, dipl. ing.

Zaključci

1. Konstatira se da se uvijek ili vrlo često pojavljuje problem nedovoljnog broja provjerenih podataka o eksploataciji elektrana i mreže, koji su potrebni za analizu pogonskih događaja i za planiranje budućeg razvoja. Preporuča se da se zbog toga izradi studija u kojoj bi se definirali podaci koje treba prikupljati, diferencirano za proizvodnju i potrošnju, eksploataciju, energetske karakteristike elektrana itd., način njihova spremanja i njihove obrade.

2. Za potrebe ekonomskog dispečinga potrebno je osim ostalog poznavati karakteristike elektrana, pa zbog toga treba osigurati stalna snimanja tih karakteristika. Preporuča se da se izrade upute za takva snimanja koja bi se mogla provoditi kontinuirano u pogonu. Svrha je uputa da se uvedu metode snimanja karakteristike i da se utvrde koje od karakteristika treba pratiti.

3. U Zajednici jugoslavenske elektroprivrede prate se pogonski događaji u termoelektranama, pa se smatra da bi na sličan način trebalo registrirati pogonske događaje u hidroelektranama, a na odgovarajući način i na transformatorskim stanicama i dalekovodima.

4. Prilikom rasprave o sigurnosti rada sistema pojavljuju se pojmovi vezani za te pojave, ali se često ne zna o čemu se radi, pa je potrebno izraditi egzaktne definicije pojmova iz područja sigurnosti i područja kvarova, ispada i slično.

5. U nas danas postoji nekoliko modela za ekonomski dispečing. Teško je uspoređivati te modele, jer su proračuni provedeni uz različite pretpostavke i za različite sisteme. Zbog toga će Studijski komitet izraditi model sistema s nekoliko hidroelektrana i termoelektrana povezanih dalekovodima, na kojem će biti moguće testirati i uspoređivati sve takve matematičke modele.

6. Iskustvo pokazuje da upotreba nabavljenih gotovih programskih paketa s aplikacionim programima ne daje zadovoljavajuće rezultate, pa se preporuča izrada programa vlastitim snagama, jer se oni mogu bolje prilagoditi potre-

bama i u njima je jednostavno izmijeniti pojedine dijelove, što se često pojavljuje u praksi. To se ne odnosi na operativne software i na standardne matematičke programe.

7. I dalje je potrebno razvijati nove metode i unapređivati postojeće za unapređivanje korištenja sezonskih akumulacija u hidroelektranama, kako sa sajališta planiranja u neposrednoj budućnosti, tako i za izradu perspektivnih planova.

8. Konstatirana je mala primjena procesne tehnike u upravljanju elektroenergetskim objektima, pa se smatra da bi elektroprivredne organizacije morale poduzeti odgovarajuće mjere za unapređenje tog područja.

9. Prilikom planiranja razvoja elektroenergetskog sistema postoji niz nesigurnosti (prognoza konzuma, rokovi ulaska u pogon, ekonomski uvjeti i sl.) pa je potrebno na dovoljno dugi rok planirati taj razvoj i permanentno obnavljati analize planova, kako bi se sigurnije planirao razvoj u neposrednoj budućnosti, ili i predvidio razvoj za dulje vremensko razdoblje. U takve analize treba uključiti i faktore nesigurnosti da bi se došlo do što pouzdanijih rezultata.

10. Razvoj elektro-energetike u znatnoj mjeri ovisi o razvoju ostale energetike, pa je potrebno, također na dovoljno dugi rok, razrađivati planove razvoja kompleksne energetike.

Preferencijalne teme

1. Obrada i analize pogonskih podataka i podataka potrošnje
2. Upotreba procesne tehnike u elektroenergetskim postrojenjima; izvedbe, iskustva i koristi
3. Uspoređenje modela ekonomskog dispečinga; modeli s pumpno-akumulacionim postrojenjima
4. Iskorištavanje sezonskih akumulacija; godišnji planovi i perspektivni razvoj
5. Modeli za optimizaciju razvoja elektroenergetskog sistema
6. Uklapanje toplana u elektroenergetski sistem
7. Valorizacija gubitaka energije i snage
8. Prikazi razvoja opće energetike
9. Energetika i ekološki problemi
10. Novi izvori energije.

Nakon usvajanja zaključaka i preferencijalnih tema plenum je usvojio prijedloge Studijskih komiteta za dodjelu diplome autorima najzapaženijih referata.

Diplome će dobiti autori ovih referata:

M. Bučić, A, Reicher

Ref. 11.01

Novi veliki turbogeneratori proizvodnje poduzeća »Rade Končar«

V. Pejović, A. Bojković

Ref. 12.02

Iskustva Instituta »Nikola Tesla« s kontrolom transformatora u pogonu pomoću gasne hromatografije

V. Vukelja, M. Vučinić

Ref. 13.05

Metodologija evidentiranja rada aparata visokog napona

J. Jakše, J. Kern

Ref. 22.11

Oblikovanje daljnovodnih koridorjev i vključevanje letel v okolico

Dr. M. Ožegović

Ref. 321.06

Međusobni utjecaj vodova u računu kratkog spoja

Dr. J. Nahman

Ref. 322.09

Programi EFD-1 i EFD-2 za proračun uzemljivačkih sistema u dvoslojnom i homogenom tlu

F. Božuta

Ref. 344.04

Primjena statičkih zaštita u visokonaponskim postrojenjima

N. Pocajt

Ref. 35.10

Proračun pogonskog slabljenja i ulazne impedanse trofazn'h simetričnih vodova visokog napona

Dr. H. Požar, G. Granić

Ref. 41.12

Metoda za određivanje vremena ulaska u pogon pumpno-akumulacionih postrojenja.

Naslov pisca:

Boris Markovčić, dipl. ing.
Generalni sekretar CIGRE

AKTIVNOST ORGANIZACIJE UNIPEDE

Vladimir Zloković, Beograd

1. ORGANIZACIJA I CILJEVI

UNIPEDE — Internacionalna unija proizvođača i distributera električne energije povezuje na internacionalnom planu reprezentativne organizacije koje zastupaju u svojoj zemlji privrednu granu proizvodnje, prijenosa i distribuciju električne energije. Svrha je UNIPEDE da omogući unapređenje elektroprivrede putem internacionalne izmjene iskustava. Rad se odvija u studijskim komitetima, potkomitetima i radnim grupama. Svake tri godine održava se, uvijek u drugoj zemlji, internacionalni kongres. Zajednica jugoslovenske elektroprivrede aktivni je član ove organizacije.

1. GEOGRAFSKO PODRUČJE NADLEŽNOSTI

UNIPEDE ima ponajprije evropski karakter i zbog efikasnosti i kohezije ne teži proširenju svoje aktivnosti na cijeli svijet.

No UNIPEDE održava tijesne veze s dvjema organizacijama istog područja aktivnosti koje postoje na drugim kontinentima:

— s *Comission de Integracion Electrica Regional* (CIER) — (Komisija elektroprivredne zajednice Južne Amerike), čije je sjedište u Montevideu (Urugvaj), za Južnu Ameriku; i

— *Union des Producteurs, Transporteurs et Distributeurs d'Energie Elektrique des Pays Africains, Malgache et Mauricien* (UPDEA) — (Unija proizvođača, transportera i distributera električne energije afričkih zemalja, Madagaskara i otoka Mauritiusa) — čije je sjedište u Abidjanu (Obala bjelokosti), za Afriku.

Osim toga, UNIPEDE nastoji ojačati postojeće veze s *Edison Electric Institute* (Elektrotehnički institut Edison — New York) i s Canadian Electrical Association (Kanadsko elektrotehničko društvo) u Sjevernoj Americi, a posebno prilikom kongresa i kolokvija organiziranih s one strane Atlantika. Tako su predstavnici Sjedinjenih Država aktivno sudjelovali na Kolokviju o marketingu u Londonu 1974. godine, na Kolokviju o informatici u Madridu 1975. godine i na Kolokviju o tarifama u Madridu 1975. godine. Simpozij o električnom vozilu u Washingtonu 1974. godine organizirali su zajednički UNIPEDE i Američki savjet za električna vozila, u okviru sporazuma koji predviđa da se takve manifestacije održavaju svake druge godine naizmjenično u SAD i u Evropi.

Napomenimo također da stanovit broj profesionalnih grupacija i nacionalnih javnih ustanova izvanevropskih zemalja, koje se interesiraju za potpuniju informaciju o radovima UNIPEDE, čine kategoriju prisutnih članova, a nekoliko elektroprivrednih poduzeća lokalnog ili regionalnog karaktera tih istih zemalja primljeno je kao pridruženi članovi.

Posredstvom svog *Komiteta za koordinaciju istraživanja u elektroprivredi* UNIPEDE aktivno surađuje sa Sjedinjenim Američkim Državama, Kanadom i Japanom u skladu s Konvencijom o suradnji za razmjenu informacija na području istraživanja u elektroprivredi (*International Electric Research Exchange*, IERE), sačinjenom u lipnju 1969. godine.

Cilj je IERE da se brine o načinima koji omogućuju elektroprivrednim poduzećima zemalja članica da u duhu međusobne suradnje međusobno razmjene informacije o istraživanju u elektroprivredi kojima raspolažu. Takva razmjena informacija treba da ubrza tehnički progres u području naše elektroprivrede i potakne zajedničko istraživanje na međunarodnom planu.

3. KOMISIJA EVROPSKIH ZAJEDNICA

Za vrijeme trogodišnjeg razdoblja koje je nedavno proteklo, UNIPEDE je posredstvom svog *Komiteta Evropske zajednice*, nastavilo održavati tijesne veze s *Komisijom Evropskih zajednica*.

Kontakti s *Glavnom direkcijom XVII »Energie«* bili su isto tako pojačani formiranjem *Stalne grupe Komisija UNIPEDE za konzultaciju*, koja se od početka 1974. godine sastajala redovno svaka tri mjeseca.

Organiziranje tih kontakata s Komisijom još je više poboljšano stvaranjem Biroa Stalne grupe za konzultaciju sastavljene od predstavnika elektroprivrednih organizacija, članova UNIPEDE, koji borave u Bruxellesu.

Svrha je biroa da se pobrine da članovi Stalne grupe za konzultaciju i *Komiteta Evropske zajednice* budu obaviješeni o svim studijama i prijedlozima akcija što ih predviđaju službe Komisije ili drugi organi Evropskih zajednica.

Biro se također brine da s mišljenjem svih članova UNIPEDE zemalja Zajednice što prije u svakoj prilici budu upoznate Službe Komisije ili svaki drugi organ Evropskih zajednica odgovoran za izradu ili redakciju raznih dokumenata namijenjenih interesima članova UNIPEDE zemalja Zajednice.

Najzad, zadatak je predsjednika *Komiteta Evropske zajednice* i glavnog delegata UNIPEDE da izrade, u tijesnoj suradnji s generalnim sekretarom, deklaracije ili usvoje službene stavove UNIPEDE u pogledu objavljenih tekstova od Komisije ili nekog drugog organa Zajednica i da ih podnesu Stalnoj grupi na konzultaciju i, u slučaju potrebe, *Komitetu Evropske zajednice*.

Među mnogim pitanjima koja zanimaju predstavnike zemalja Zajednice, slijedeće su teme pridonijele stvaranju grupa eksperata:

a) Orijentacioni program o projektima investicija

Komitet Evropske zajednice usavršio je mehanizam koji omogućuje da skupi i uspoređuje orijentacione programe o srednjoročnim investicijama zemalja Zajednice, kao i o javnim službama i o proizvođačima električne energije za vlastite potrebe (industrije).

Tako sastavljeni orijentacioni programi — koji se svake godine objavljuju — dostavljaju se Komisiji. Treba istaknuti značenje ovog posla koji je značajan primjer međunarodne suradnje i slobodnog prihvaćenja.

b) Problemi nuklearnih goriva

Grupa za informacije formirana za proučavanje ovih problema u okviru *Komiteta Evropske zajednice* UNIPEDE prikupila je opsežnu dokumentaciju te je izradila njezin pregled koji stalno objavljuje.

Prikupljeni podaci omogućili su da se ocijene instalirane snage nuklearnih elektrana koje se predviđaju u zemljama Zajednice i za cijelu zapadnu Evropu do 1985, odgovarajuće potrebe u prirodnom uranu i kapaciteti za obogaćivanje urana i postrojenja za preradu.

Godine 1974. Komisija je dala *Savjetu Evropskih zajednica* obavijest o politici opskrbe nuklearnim gorivom Zajednice, prema kojoj je *Komitet Evropske zajednice* iznio svoj stav izražavajući želju elektrotehničara da budu pružene garancije protiv diskriminacije svih vrsta koje bi isporučioci goriva mogli pokušati primijeniti idućih godina i da se formalno spriječi svaki sistematizam, svaka intervencija i svaka administrativna teškoća koja bi mogla smetati zajedničkom stavu u ovoj domeni.

Uz ostalo *Komitet Evropske zajednice* iznio je stavove o ovim pitanjima:

— *o suglasnosti koja se odnosi na formiranje United Reprocessors G.m.b.H.*

— *o preradi ozračenih goriva*

— *o obradi i uskladištenju radioaktivnih otpadaka*

— *o odgovornosti proizvođača električne energije u vezi s radioaktivnim otpacima*

— *o finaciranju gorivog ciklusa*

— *o perspektivama ekonomičnosti brzih oplodnih reaktora.*

Na traženje *Komiteta za koordinaciju brzih reaktora* u Bruxellesu je 1971. formirana Specijalna grupa za proučavanje u dugoročnoj perspektivi ekonomičnosti brzih oplodnih reaktora.

Referat koji je sastavila spomenuta grupa u početku se odnosio samo na Zajednicu šest zemalja, a zatim je proširen na Zajednicu devet zemalja.

Ovaj dokument je bio ponovno dostavljen Komisiji 1974. godine, a zatim objavljen 1975. On je proširen dopunskom studijom u kojoj su autori pokušali procijeniti višak troškova investicija za vrlo brze oplodne reaktore u usporedbi s lakovodnim reaktorima, višak koji bi se mogao kompenzirati uštedama na troškovima koje se postižu u gorivom ciklusu vrlo brzih oplodnih reaktora.

c) Sigurnost lakovodnih reaktora

Eksperti UNIPEDE od 1972. godine aktivno sudjeluju u radovima radnih grupa koje je formirala Komisija za proučavanje problema postavljenih u vezi s usklađivanjem normi za sigurnost rada lakovodnih reaktora.

UNIPEDE je 1975. iznio svoj stav o Izvještaju Komisije Savjetu u vezi s tehnološkim problemom zaštite od nuklearne energije.

d) Perspektive visokotemperaturnih reaktora

U 1975. godini bila je formirana Grupa eksperata za proučavanje ovog problema. Njihov referat bit će stavljen na raspolaganje Komisiji, koja je odlučila da organizira seriju zasjedanja eksperata radi razmatranja stečenog iskustva i perspektiva razvoja plinom hlađenih reaktora.

4. USVOJENI STAVOVI UNIPEDE

U toku protekloga trogodišnjeg razdoblja, pošto je raspolagao sadržajem tekstova što ih je objavila Komisija (projekti direktiva, obavijesti Komisije Savjeta, rezolucije i obavijesti Savjeta, itd.), *Komitet Evropske zajednice* dao je službeni stav o ovim pitanjima:

— o *provođenju smjernica i prioritetnih akcija za zajedničku energetsku politiku*

— o *uskladištenju goriva za klasične termoelektrane*

— o *izgradnji termoelektrana na tekuće gorivo*

— o *novoj strategiji energetske politike za Zajednicu*

— o *pravcima srednjoročnog razvoja za ugljen 1975—1895. godine*

— o *akcionom programu Zajednice na području racionalne upotrebe električne energije*

— *o problemu zagađenja sredine i štetnosti u vezi s proizvodnjom električne energije*

— *o ulozi istraživanja i razvoja na području energije*

Također je donio: — *Smjernice za sektor električne energije u zajednici*

— *obavijest o investicionim projektima od zajedničkog interesa*

— *ocjenu kratkoročnih investicija i načina financiranja.*

5. SUDJELOVANJE UNIPEDE U STUDIJAMA KOJE JE IZRADILA KOMISIJA

Eksperti UNIPEDE sudjelovali su i u izradi studija koje su izrađene u okviru aktivnosti Komisije. Takva je studija *Elastičnost prilagođavanja klasičnih termoelektrana.*

U 1973. godini, na zahtjev Komisije, bile su sprovedene ankete UNIPEDE u vezi s pitanjima:

— *opskrbe električnom energijom industrija*

— *mogućnosti standardizacije i unifikacije opreme nuklearnih elektrana*

— *pomoći u financiranju nuklearnih elektrana*

— *prodora električne energije*

— *kombinirana proizvodnja električne i toplinske energije.*

UNIPEDE je zadržao pravo davanja službenog stava u pogledu sadržaja referata i prijedloga aktivnosti danih u prilogu čim budu na raspolaganju definitivne verzije.

6. VEZE S DRŽAVNIM MEĐUNARODNIM ORGANIZACIJAMA

a) Ekonomska komisija za Evropu pri Ujedinjenim narodima (CEE)

Suradnja koja je zasnovana s *Komitetom za električnu energiju* nastavila se i uspješno razvijati posljednjih godina. UNIPEDE je sudjelovao na slijedećim manifestacijama organiziranim pod pokroviteljstvom Ekonomske komisije za Evropu UN:

— *Seminaru o aspektima okolne sredine u vezi sa sistemom hlađenja termoelektrana, Zürich, svibanj 1974,*

— *Kolokviju o ulozi električne energije za pokrivanje budućih energetskih potreba i o međunarodnoj suradnji u toj oblasti:* Delfi i Atena, svibanj 1975.

— *Drugom seminaru o odstranjivanju sumpora iz goriva i izgarnih plinova:* Washigton, listopada 1975.

Grupa eksperata za probleme planiranja i eksploataciju velikih električnih mreža Ekonomske komisije za Evropu (CEE) nastavila je sa svojom aktivnosti na području interkonekcije između zemalja evropskog Istoka i Zapada i odlučila je da za studiju interkonekcije mreža koja bi obuhvatila cjelokupni teritorij Evrope primjeni metodu što ju je objavio UNIPEDE i rumunjsku metodu.

Osim toga UNIPEDE je ponudio svoje stručne službe za izradu karte evropskih mreža visokog napona.

Najzad, UNIPEDE je na vrijeme intervenirao kako bi se izbjegla upotreba dviju terminologija iz područja električne energije. Naime, CEE je objavio projekt stvaranja terminologije, a već je bila objavljena terminologija UNIPEDE.

U drugim područjima koje obuhvaća *Komitet za električnu energiju* CEE (Recipročni odnosi između električne energije i okoline, elektrane, distribucija električne energije, seoska elektrifikacija, istraživanja na području električne energije) UNIPEDE je pridonio Komitetu dajući svoja plodna iskustva i rezultate svojih vlastitih studija.

b) Organizacija ekonomske suradnje i razvoja (OCDE)

UNIPEDE je aktivno sudjelovao u radovima *Grupe ad hoc o problemima električne energije,* što ih je pokrenuo OCDE radi realizacije velike studije, objavljene 1974. godine, o perspektivama proizvodnje i potrošnje energije u zemljama članicama OCDE do 1985. godine.

UNIPEDE je posebno dao informaciju o budućem razvoju evropske mreže vrlo visokog napona, o međunarodnoj koordinaciji programa opreme za elektrane i mreže, o problemu finaciranja i potrebnim akcijama kojima bi se privoljela javnost da prihvati gradnju nuklearnih elektrana.

UNIPEDE također pažljivo prati sadašnje studije Međunarodne agencije za energiju, čije je sjedište u Parisu, a koje se odnose na dugoročni razvoj električne energije.

c) Međunarodna agencija za atomsku energiju (AIEA)

UNIPEDE je redovito sudjelovao na izvanrednim sjednicama Glavne konferencije ove organizacije čije je sjedište u Beču.

7. VEZE S NEDRŽAVNIM MEĐUNARODNIM ORGANIZACIJAMA

a) Unija proizvođača, transportera i distributera električne energije afričkih zemalja, Madagaskara i otoka Mauritiusa (UPDEA)

U toku posljednjeg trogodišnjeg razdoblja znatno su se razvile veze UNIPEDE s ovom organizacijom čije je osnivanje UNIPEDE potpomogao. Predstavnici UNIPEDE su sudjelovali na 4. i 5. kongresu UPEDA koji su održani u Monroviji (Liberija) 1975. godine i u Kinšasi (Kongo) 1976. godine.

Osim toga, *Komitet za veze* UNIPEDE/UPDEA održao je četiri sastanka: u Montereuxu (Švicarska) 1974. god., u Abidjanu (Obala Bjelokosti) 1974. god., u Londonu 1975. god. i u Lomi (Togo) 1975. god.

U okviru *Mješovite grupe eksperata* UNIPEDE/UPDEA tri eksperta UNIPEDE izradili su referat o stvaranju škole za inženjere u Africi. Referat je podnesen na Kongresu u Kinšasi, gdje je bio vrlo zapažen.

Najzad, anketa o primanju afričkih inženjera-stažista u Evropi vrlo je povoljno primljena kod zemalja — članica UNIPEDE.

b) Međunarodna federacija proizvođača i potrošača električne energije za vlastite potrebe (industrije) (FIPACE)

Veze između UNIPEDE i organizacije FIPACE obavljuju se u okviru više organa na raznim nivoima. Shema ovih veza je slijedeća:

1. K o m i t e t z a v e z u U N I P E D E / F I P A C E. Ovaj komitet, koji je u načelu sastavljen od članova *Komiteta direkcije* ovih dviju organizacija, obrađuje opća politička pitanja. On je održao tri sastanka od Kongresa UNIPEDE u Hagu.

2. M j e š o v i t a g r u p a e k s p e r a t a z a v e z e p o u g o v o r u i z m e đ u p r o i z v o đ a č a — d i s t r i b u t e r a i s a m o s t a l n i h p r o i z v o đ a č a e l e k t r i č n e e n e r g i j e. Delegacija UNIPEDE u okviru ove Mješovite grupe, koja se bavi praktičnim pitanjima eksploatacije, sastoji se od članova predstavnika zemalja FIPACE pod okriljem *Grupe eksperata za veze po ugovoru sa samostalnim proizvođačima električne energije,* priključene *Studijskom komitetu za tarifna pitanja* UNIPEDE. Pitanje odnosa sa samostalnim proizvođačima je aktualno, naročito u vezi s radovima *Pod-grupe G Komisije Evropske zajednice* u pogledu sprege toplina/snaga s gledišta racionalnog korištenja energije, te je bio izrađen referat koji služi kao osnova za raspravljanje sa FIPACE u okviru ove Mješovite grupe eksperata.

Već odavno eksperti FIPACE sudjeluju u radovima *Studijskih komiteta UNIPEDE* za *termoelektrane,* za *hidroelektrane,* za *statistiku* i u *Studijskom potkomitetu za kemiju termoelektrana.*

Isto tako predstavnici FIPACE sudjeluju na kongresima UNIPEDE koji se održavaju svake godine i na nekim kolokvijima koje organizira UNIPEDE.

3. U n i j a z a k o o r d i n a c i j u p r o i z v o d n j e i p r i j e n o s a e l e k t r i č n e e n e r g i j e (U C P T E). Da se izbjegne udvostručenje radova, uspostavljena je stalna razmjena innformacija s UCPTE i s drugim organizacijama formiranim po istom modelu (UFIPTE, SUDEL, NORDEL).

Radna grupa za neraspoloživost termoelektrana, priključena *Studijskom komitetu za statistiku UNIPEDE* osobito blisko surađuje s *Radnom grupom za termoelektrane* UCPTE radi prikupljanja podataka o neraspoloživosti klasičnih termoelektrana i nuklearnih elektrana.

Komitet za eksploataciju postrojenja UCPTE isto tako je redovno bio upućen u stanje napredovanja radova UNIPEDE u pogledu statistike o neraspoloživosti prijenosnih postrojenja.

4. M e đ u n a r o d n a u n i j a z a e l e k t r o t e r m i j u (UIE). *Komitet za vezu između UNIPEDE i UIE,* zadužen da se brine o primjeni dogovora zaključenog 1970. godine. Izradio je osnove za stalnu suradnju i razmjenu informacija između tih dviju organizacija.

Naročiti je doprinos UNIPEDE sekciji »Električno grijanje i klimatizacija prostorija« za 8. međunarodni kongres UIE, koji je održan u Liegeu listopada 1976. godine.

Komitet za vezu također sudjeluje u recenziji radova za pripremu Kolokvija o grijanju i klimatizaciji prostorija, koji će se održati u Bordeauxu listopada 1977. u organizaciji UNIPEDE, a u suradnji s UIE.

Osim toga, *Grupa eksperata za perturbacije UNIPEDE,* priključena *Studijskom komitetu za distribuciju električne energije* i slična Radna grupa UIE nastavile su s održavanjem zajedničkih sastanaka.

5. S v j e t s k a k o n f e r e n c i j a z a e n e r g i j u (WEC). U okviru sporazuma za razvijanje suradnje između dviju organizacije, zaključenog u 1971. godini, generalni delegat UNIPEDE poziva se da prisustvuje sjednicama *Međunarodnog izvršnog savjeta* i onim koje održava *Komitet za programe* (WEC).

Da bi se istaknula želja o potrebi međusobnog poboljšanja informacija ovih dviju organizacija, u ime UNIPEDE podnesen je referat o električnoj energiji i okolnoj sredini

na *Svjetskoj konferenciji za energiju* koja je održana u Detroitu (SAD) 1974. godine.

U pripremi je i referat za Konferenciju WEC koja će se održati u Istambulu u rujnu 1977. godine. Referat će biti posvećen doprinosu električne energije u rješavanju budućih energetskih problema.

Što se tiče Mješovitog komiteta UNIPEDE/WEC, osnovanog 1973. radi proučavanja mogućnosti da se na svjetskom nivou usklade definicije koje se upotrebljavaju u materiji neraspoloživosti termoelektrana — .to bi omogućilo uspoređivanje statistike koje objavljuju razne zemlje — spomenuti komitet je aktivno nastavio sa svojim radovima i već se može računati da će oni biti uspješno završeni u relativno kratkom roku.

Osim toga UNIPEDE pažljivo prati radove WEC na području terminologije, tako da se izbjegne eventualna dvostrukost termina ili neslaganje s već davno objavljenim terminologijama *Studijskog komiteta za statistiku* i *Studijskog komiteta za tarifna pitanja* UNIPEDE.

6. Međunarodna elekrotehnička komisija (IEC). UNIPEDE nastavlja održavati najbolje veze s Međunarodnom elektrotehničkom komisijom (IEC). UNIPEDE je pozvan da prisustvuje na kongresu spomenute organizacije i vrlo pažljivo prati radove na području standardizacije niskog i vrlo visokog napona, posebno one IEC.

7. Međunarodna konferencija za velike električne mreže (CIGRE). Predstavnici UNIPEDE redovno sudjeluju na konferencijama CIGRE koje se održavaju svake dvije godine. Da bi se izbjeglo nekorisno udvostručenje radova i usvajanje kontradiktornih stavova, obje su se organizacije nedavno dogovorile da se uspostavi tijesna veza između Komiteta 31, 32 i 41 CIGRE i *Studijskog komiteta za velike mreže i međunarodne interkonekcije* UNIPEDE.

8. Međunarodna konferencija za distributivne mreže (CIRED). Više članova *Studijskog komiteta za distribuciju električne energije* UNIPEDE čine dio Komiteta direkcije CIRED, što olakšava kontakte između tih dviju organizacija i omogućuje da se izbjegnu rizici o dvostrukoj primjeni.

9. Ostale nedržavne međunarodne organizacije. UNIPEDE također prati radove kongresa *Međunarodne unije za plin* (UIG), *Međunarodne unije za javni promet* (UITP) i *Međunarodne unije distributera toplinske energije* (UNICHAL), na koje se redovito pozivaju predstavnici UNIPEDE.

Naslov pisca:

Vladimir Zlokvić, dipl. ing.
ZJE, Beograd

MONTER
ZAGREB

„MONTER" MONTAŽNO PODUZEĆE

OOUR ELEKTROPOGON ■ 41000 ZAGREB, Demonjina 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 »OOUR PROJEKTNI BIRO« NAVEDENE INSTALACIJE.*

KLASIČNI I NOVI IZVORI ENERGIJE

Mogućnost iskorištenja klasićnih izvora energije sve je manja, a potrebe čovječanstva su sve veće. Upravo takva situacija zabrinula je i ponukala stručnjake da se usmjere prema novim izvorima energije i novim mogućnostima iskorištenja klasičnih izvora. Postoje razni tehnološki procesi koji mogu postojeće izvore ekonomičnije iskoristiti, kao što su usavršavanje procesa plinofikacije ugljena, primjena bituminoznih škriljaca i asfaltnog pijeska i nove mogućnosti iskorištenja hidroenegije.

Hidroenergija

Većina industrijskih zemalja uglavnom je već izgradila svoje hidroenergetske potencijale. No ne smije se zaboraviti da je još uvijek neiskorišten značajni svjetski potencijal hidroenergije koji bi mogao proizvesti oko 23 000 milijardi kWh godišnje. Danas je stvarno iskorišteno samo oko 5% tog potencijala. Pojedini su stručnjaci predvidjeli da bi do 2000 god. taj postotak mogao porasti na 30%. U očekivanju povećanja potrošnje električne energije ovakva situacija upućuje na ozbiljan problem, a to je problem ekonomskog transporta velikih količina energije s vrlo udaljenih izvora. U istu grupu može se uvrstiti i energija mora. Prvo takvo postrojenje radi, koristeći se energijom plime i oseke, u Francuskoj od 1966. godine, i to na ušću rijeke Rance (snage 240 MW). Između najvažnijih lokacija koje zaslužuju proučavanja jesu San Joze u Argentini (potencijalna mogućnost proizvodnje 51 milijarde kWh), Severu u Engleskoj (15 milijadi kWh) Passamaquoddy, u SAD Rana kod Kuteha i Cambay u Indiji, Zaljev Lecure u Australiji. Ukupan broj interesantnih lokacija u svijetu relativno je malen, a osim toga taj izvor energije opterećen je vrlo visokim troškovima investicija.

Ugljen

Od svih fosilnih goriva rezrve ugljena su najveća. Prema »US Geological Survely«, svjetske rezerve ugljena iznose 7 600 milijadi tona, što je specificirano u tablici 1.

Tablica 1.

SVJETSKE REZERVE UGLJENA			
SSSR	4 310	milijardi	tona
SAD	1 480	,,	,,
Azija (bez SSSR)	681	,,	,,
Sjeverna Amerika (bez SAD)	601	,,	,,
Zapadna Evropa	377	,,	,,
Afrika	109	,,	,,
Oceanija i Australija	59	,,	,,
Centralna i Južna Amerika	14	,,	,,
Ukupno:	7 631	,,	,,

Iz tablice se vidi da su rezerve najveće u SSSR-u i SAD i, na žalost, mnogo skromnije u Evropi. Ako bi potrošnja energije nastavila teći postojećim trendovima, ugljen bi mogao zadovoljiti ukupne svjetske energetske potrebe do kraja XXI stoljeća. To upozorava da je nastupilo vrijeme da se pripreme drugačija rješenja. U mnogim područjima, a posebno u Evropi, ležišta ugljena su siromašna i prema tome, proizvodnja je skupa, te se ne može tretirati kao dugoročni izvor energije. Slojevi su tanki, nepravilni, teško se pristupa s mehanizacijom, što povećava troškove proizvodnje, a posljedica je visoka cijena ugljena. U SAD je proizvodnja ugljena u 1972. god. dostigla skoro 600 milijuna tona, i prema predviđanjima trebao bi da do 1980. god. pređe milijardu tona. Danas je polovica te proizvodnje osigurana iz podzemnih rudarskih radova, a druga polovica dnevnim kopom.

Ako bi se predviđanja oko proizvodnje do 1 milijarde tona ugljena realizirala, čini se da bi se samo s dnevnim kopovima moglo postići takvo povećanje. Takva vrsta eksploatacije ima oblik razaranja i stvara snažan otpor sa strane zaštitnika prirode. U stvarnosti, za postizavanje proizvodnje 30—40 tona po čovjeku na dan, treba raditi s ogromnim strojevima, otvarajući kopove koji mogu dostići dubinu do 60 m i više na površini od desetak kvadratnih kilometara. Jedan od najvećih takvih strojeva je »Big Muskie«, koji u svojoj košari može iznijeti do 200 m³ materijala odjednom. Taj stroj je opremljen sa 170 elektromotora koji troše toliko električne energije da bi se mogle zadovoljiti potrebe nekog manjeg mjesta. No na taj se način razara konfiguracija određenog područja, te se može narušiti hidrološka ravnoteža većih površina, a da se ne govori o prodoru podzemnih i površinskih voda. Jedini lijek za to je restauriranje tih mjesta, što se prakticiralo u Engleskoj, u Ruhru ili u dolini Tennesseya.

Dio američkog ugljena upotrebljava se u metalurgiji (oko 90 milijuna tona), no veći dio je mrki ugljen kojeg 4/5 troše elektrane. Budući da američki ugljen sadrži mnogo sumpora, postoje vrlo strogi propisi (Clean Air Aet iz 1970. god.) o izbacivanju čestica i SO_2. Kao primjer navodimo da termoelektrana od 1 000 MW, koristeći ugljen koji sadrži 10% pepela i 4% sumpora, izbacuje u jednom satu više od 30 tona prašine i gotovo 30 tona SO_2. Da bi se izbjeglo takvo zagađivanje, predviđala se obrada dimnih plinova, gdje bi se pokupila prašina i SO_2. Mnogobrojne instalacije su montirane širom svijeta kao pokusna postrojenja (elektrostatistički kolektori, filtri katalitička oksidacija, postrojenja za vlaženje itd.), no ni jedna se ne može promatrati kao industrijsko postrojenje cijena kWh za preko 10%.

Svi spomenuti problemi govore da se ugljen neće moći koristiti drugačije nego plinoficiranjem. Pod plinofikacijom smatra se savršenija proizvodnja plina od, recimo, gradskog plina, s udvostručenim pročišćavanjem, izdvajanjem spojeva sumpora i eventualnim obogaćivanjem pomoću katalitičkih procesa.

Danas se proučavaju mnogobrojne metode plinofikacije u SAD, Engleskoj, Japanu, Njemačkoj itd. Sve te metode mogu se svrstati u dvije kategorije. Jedne daju plin s niskom, a s druge s visokom kaloričnom vrijednošću.

Prednosti takve plinofikacije jesu:

- izdvajanje sumpora obavlja se prije izgaranja, što znači da je obujam plinova koje se obrađuje znatno manji od količine plinova nakon izgaranja, propušten u dimnjak,
- tehnologije apsorpcije spojeva sa sumporom u procesu proizvodnje plina već su dostigle vrhunac,
- takav plin se može izložiti tehničkim procesima s vrlo visokim efektima, kao što su plinske turbine, mješoviti ciklus plinska turbina — parna turbina i, možda kasnije, magnetno-hidrodinamički ciklus.

Proces plinofikacije ugljena sastoji se u reakciji između ugljena zagrijanog na visoku temperaturu i vodene pare, a kao proizvod se dobiva metan, vodik i CO. Moderni procesi plinofikacije usmjereni su na povećanje metana gotovo na 100% pomoću dopunske faze u procesu nazvane metanizacijom. Bitna razlika između spomenuta dva tipa plinova jest u tome što se plin s visokom kaloričnom vrijednošću može ekonomično transportirati i što se može iskoristiti postojeća mreža plinovoda za prirodni plin, koji može »sintetički prirodni plin« ili »Syngaz« u potpunosti supstituirati. Naprotiv, plin niske kalorične vrijednosti u načelu ne podnosi transport i mora se iskoristiti izravno u elektranama na mjestu proizvodnje. Ova je posljednja primjena inače vrlo interesantna i mnoga poduzeća, između ostalih Westinghouse i General Electric, tu primjenu trenutno intenzivno proučavaju. No ovdje se pojavljuju dva problema:

— transport električne energije, jer se jeftini ugljen nalazi daleko od industrijskih centara ili gradova, i problem vode.

Ocjenjuje se da bi postrojenje koje bi proizvodilo oko 2,5 milijarde m³ plina godišnje trebalo godišnje oko 25 milijuna m³ vode. Ako se tome dodaju još količine vode potrebne za elektranu, i one za obnovu dnevnih kopova, onda je zanimljivo da pojedini stručnjaci pitaju u koje vrijeme i u kakvim razmjerima je takva solucija moguća.

Ma što se dogodilo, uzimajući u obzir da u svijetu postoje još ogromne rezerve ugljena, vjerojatno je da će tehnika plinofikacije doživjeti spektakularni razvoj već u toku nekoliko slijedećih godina. Prva »komercijalna« postrojenja bit će dovršena prije 1980. god. I dalje se obavljaju brojna istraživanja na tom području, uključujući i vrlo interesantan pristup tom problemu koji predviđa upotrebu nuklearnog reaktora kao izvor topline u plinofikaciji ugljena, čime se sma-

njuje potrošnja ugljena jer on u tim slučajevima postaje sirovina. I dalje su u toku istraživanja na iskorištavanju drugih izvora ugljikovodika, kao što su bituminizirani škriljci i asfaltozni pijesak.

Iz svega toga za sada je gotovo nemoguće donijeti zaključak o kakvim eventualnim posljedicama bi se moglo raditi u toku primjene novih načina iskorištenja izvora energije na industrijsku strukturu, i na okolinu.

Ugljikovodici danas i sutra

Ako izdvojimo naftu i proizvodni plin, treba uzeti u obzir dvije kategorije izvora energije koji nisu, iskreno govoreći, novi, ali koji postaju zbog energetske krize i porasta svjetskih cijena nafte vrlo aktualni. To su asfaltozni pijesci i bituminozni škriljci.

Asfaltozni pijesci, koji su u biti pijesci ili pješčri impregnirani vrlo teškim i vrlo viskoznim uljem s koncentracijom od 15 do 18%, raširenи su na relativno velikim područjima. Najveće poznate rezerve nalaze se u Kanadi, zatim u Venezueli (4- milijadi tona) i Madagaskaru.

Rezerve bituminiziranih škriljaca procjenjuju se pod jednakim, ako ne i većim od rezrvi ugljena. Ti škriljci sadrže krutu organsku materiju, kerogen, iz koje se može destilacijom na temperaturi od 450 do 550°C dobiti ulje i to 400 litara po toni rudne mase. Za asfaltne pijeske i bituminozne škriljce postoje tri osnovne operacije; rudarsko dobivanje, proizvodnja ulja, te poboljšavanje njegova viskoziteta kao jedne od njegovih karakteristika. Dvije posljednje operacije zasnivaju se na relativno poznatim metodama, isprobanim čak u komercijalnim razmjerima.

No općenito se smatra da se za industrijsku proizvodnju velikih razmjera, rudarska tehnika susreće s velikim problemima, slično kao kod ugljena:

— kod pijeska potrebno je izvaditi i prenijeti oko 50 000 tona pijeska dnevno i isto toliko jalove tvari za godišnju proizvodnju od 1 milijun tona ulja;

— kod škriljaca je problem istog reda veličine s tom razlikom da je još otežan prodorima vode. Rudarski radovi mogu dostići preko 40% troškova u cijeni dobivenog ulja. To je osnovni razlog da se razrađuju razne metode dobivanja ulja na terenu kako bi se izbjegli rudarski radovi. Pokušava se pomoću frontalnog spaljivanja ili ispiranjem vrućom vodom potpomognutim različitom tehnikom frakturiranja naslaga; hidrauličkim, kemijskim ili nuklearnim eksplozijama. No za sada možemo samo konstatirati, jer ni jedna od tih tehnika nije posve razrađena, da je utvrđeno bogatstvo energetskih rezervi jedna stvar, a eksploatacija i primjena druga.

Na kraju razmatranja ovog dijela o konvencionalnim gorivima i novim tehnološkim postupcima te njihovoj primjeni, treba spomenuti magnetno-hidrodinamiku. To nije energija, nego način primjene fosilnih goriva ili, još ispravnije, primjena topline kod vrlo visokih temperatura.

Na temperaturama oko 2 000°C atomi nekog plina postignu velike brzine kretanja i poprimaju sposobnost međusobnog izbijanja elektrona ili, kako se kaže, sposobnost ionizacije. Ionizacioni plin dovedu u takvo stanje (električki neutralan) da se ne ponaša kao kruta tvar, ni kao tekućina ni kao normalni plin; to je plazma ili četvrto stanje tvari. Pojedini plinovi, koji se teško ioniziraju ili kojima je potrebna za takvo stanje vrlo visoka temperatura, mogu biti »osjemenjivani« atomima koji se lako ioniziraju kao što su cezij ili kalij.

Tehnologija je konačno počela rješavati problem materijala elektroda koji mogu podnijeti tako visoke temperature i probleme visoko korodivnih fluida, a također i probleme eventualnog zagađivanja okoline vrućim plinovima obogaćenim kalijem. Unatoč velikom interesu za ovu tehniku, većina istražnih i razvojnih programa bila je prekinuta ili odgođena, često u korist realizacije ubrzavanja programa oko nuklearne enegije. Osim toga, danas se, pomoću kombinacija plinskih i parnih turbina, mogu postići efekti koji se vrijednošću vrlo malo razlikuju od spomenute nove tehnike, a tehnologija i primjena im je mnogo jednostavnija i pristupačna.

Novi izvori energije

Novi oblici energije odnose se na nekonvencionalne izvore i trebalo bi pronaći dugotrajna rješenja oko problema energetske potrošnje za cijelo čovječanstvo. Između izvora energije nuklearna energije zauzima privilegirano mjesto. Energija fisije u mnogim je industrijskim zemljama postala konkurentna drugim oblicima energije, a energija fuzije je već mnogo godina predmet važnih istražnih i razvojnih programa. Danas je nuklearnu energiju prihvatila doduše velika većina, no kriza u energiji i neke poteškoće s kojima se susreće prilikom primjene nuklearne enegije — bila je pobuda da se pojačaju sistematska istraživanja onih oblika energije koji su se do danas smatrali »utopijom« ili vrlo dalekom perspektivom, kao što su energija vjetra, geotermička energija, toplinska energija mora i sunčana energija.

Kemijska reakcija izgaranja ugljena ili ugljikovodika u zraku oslobađa energiju koja veže atome unutar različitih molekula. Nuklearna energija nastoji osloboditi energiju koja je do milijun puta više koncentrirana, vežući tom unutarnjom snagom najsitnije čestice materije (protone i neutrone) unutar jezgre atoma. Teorijski gledano moguće su dvije metode oslobađanja nuklearne energije: eksplozija izazvana pomoću nekih teških atoma ili fisija; te fuzija vrlo laganih atoma (prvi elementi prema Mendeljejevoj ljestvici). Obadvije metode primijenjene su u ratne svrhe kao atomska i hidrogenska bomba. U industrijske svrhe primijenjena je do sada samo energija fisije. Energiju fuzije, koja zahtijeva veliko iskustvo, nije još moguće primijeniti u mirnodopske svrhe.

Nuklearna energija dobivena fisijom

Tri osnovna izotopa pogodna za primjenu nuklearne fisije jesu jezgra urana-235, uran-233 i plutonij-239. U prirodi postoji samo uran-235, kojeg nema mnogo, a osim toga je vrlo dispergiran. Prirodni uran sadrži 99,3% urana-238 kod kojeg nije moguće izazvati fisiju, te samo 0,7% urana-235 koji je pogodan za fisiju. Uran-233 i plutonij-239 mogu se »proizvesti« — oni su umjetni izotopi.

Neovisno o velikoj količini oslobođene energije postoji druga važna osobina nuklearne fisije spomenutih izotopa, a to je izbijanje 2 do 3 neutrona, koji su identični s neutronom koji je izazvao eksploziju, a to znači da je omogućena lančana reakcija. Od dva do tri neutrona, oslobođena na taj način prilikom svake fizije, samo jedan može biti upotrijebljen za izazivanje i održavanje reakcije na istom otvoru (izvor korisne topline). Tako ostanu, gledano teorijski, jedan ili dva neutrona slobodna, a oni se mogu vrlo dobro iskoristiti u pojedinim slučajevima. Činjenica je da neki atomi koji ne mogu doživjeti fisijsku reakciju, kao torij-232 ili uran-238, poprimaju vrlo interesantne osobine. Nakon apsorbcije jednog neutrona pretvaraju se prema zakonima nuklearne kemije u atome urana-233 ili plutonija-239, koji podliježu fisijskoj reakciji. Stoga su ti atomi torija-232 i urana-238 plodna baza.

Postoje dakle izvanredne osobine nuklearne fisijske energije u obliku spaljivanja fisijskog goriva, pri čemu se proizvode određene količine vrlo koncentrirane energije i istovremeno, pošavši od obogaćenih elemenata, stvara novo gorivo.

U 1973. god. procijenjene su rezerve urana u tako zv. slobodnom svijetu, na oko 866 000 tona (urana). Najnovije procjene potreba za uranom u svijetu objavio je US Atomic Energy Comurission, a bazirane su na dosadašnjim narudžbama nuklearnih reaktora (mnoge narudžbe su dane za desetak godina unaprijed) uzimajući u obzir moguću politiku oko izbora tipa reaktora. Procjenjuje se da bi snaga svih izgrađenih nuklearnih reaktora trebala u 2000 god. dostići oko 2 666 000 MW, što bi odgovaralo ukupnim potrebama za prirodnim uranom od oko 3,7 milijuna tona. (tabela II).

Tablica 2.

PREDVIĐANJA KAPACITETA NUKLEARNIH REAKTORA I POTREBA URANA

	1980.	1985.	1990.	2000.
Snaga neutrona u 10^3 MW				
Sjedinjene Američke države	132	280	508	1 200
Ostali »slobodni« svijet	141	303	578	1 460
Ukupno	273	583	1 086	2 660
Ukupne potrebe prirodnog U 10^3 t				
Sjedinjene Američke države	132,2	334,0	692,7	1 775,1
Ostali »slobodni« svijet	127,1	330,9	686,3	1 904,5
Ukupno	259,3	664,9	1 379,0	3 679,6

Drugim riječima (čak dodajući rezerve u rudarskom smislu te riječi) dodatni izvori ocijenjeni ispod 10 $/1b U_3O_8, izvori osigurani do 15 $1b U_3O_8) gotovo tri puta veća cijena od trenutne na tržištu) te dopunski izvori (rezerve) mogli bi izdržati možda do 1995. god., a sigurno ne do 2000. god. Zbog toga se pojavljuje potreba, čak i nužnost za izgradnjom supergeneratora u kojima bi se stvaralo novo nuklearno gorivo, čak prije nego ponestane nafte.

Istraživanja za novim ležištima urana bila su slabo forsirana, utoliko prije što je trenutno ponuda veća od potrošnje (najmanje do 1976-78 god.). Može se predvidjeti da će se postepeno još uvijek pronalaziti nova ležišta i da će se moći stići do kraja stoljeća bez nekih velikih poteškoća, čak i bez izgradnji supergeneratora koji će kasnije postajati sve aktualniji i nezamjenjiviji.

Nuklearna energija dobivena fuzijom

Za postizavanje fuzije dvaju atoma dovoljno je izvršiti sudar jednog sa drugim s dovoljno energije potrebne za sudar. Što su lakši atomi, to će biti lakša operacija. Zapravo su kao »gorivo« odabrana dva izotopa vodika. Teški vodik ili deuterij, u prirodi postoji u takvom omjeru da jedan atom deuterija predstavlja oko 6500 atoma normalnog vodika (drugim riječima 1/6500 vodika u oceanima predstavlja gorivu tvar) a superteški vodik ili tritij ne postoji u prirodi, nego ga je potrebno proizvoditi umjetno kao što se proizvodi plutonij-239 ili uran-233. U ovom slučaju operacija je izvodiva na taj način da atom litija-6 absorbira jedan neutron, ali je ta operacija veoma skupa.

Postoje dva tipa fuzijskih reakcija:

reakcija D — D (deuterij — deuterij)

reakcija D — T (deuterij — tritij).

Reakcija sudara atoma D i D ili D i T možemo izazvati njihovim zagrijavanjem pomoću kinetičke energije plina koja se povećava s temperaturom, odakle i naziv termonuklearne reakcije.

Na žalost, fisija nas upozorava da je potrebno taj plin zagrijati na nekoliko desetina ili stotina milijuna stupnjeva. Na tim temperaturama plin je potpuno ioniziran. To je plazma. Nikakav materijal ne izdrži takve temperature. No također treba podsjetiti na pomoćna postrojenja za zatvaranje električnih i magnetskih polja. Tehnički problemi koje treba riješiti zapravo su ogromni. Nakon četvrt stoljeća i ispitivanja rada počela su se izgrađivati pokusna postrojenja koja postaju sve kompleksnija i snažnija, koja u svakoj etapi pomalo napreduju prema uspjehu koji se želi postić'. No nijedno dosadašnje iskustvo nije se ozbiljno približilo stadiju atomskog reaktora.

Laserski fizičar Russel Tang bio je jedan od pronalazača ugljičnodioksidnog lasera, naprave koju sada pokušavaju upotrijebiti kao katalizator za termonuklearnu fuziju. Kao što se može zaključiti, napravljeni su prvi koraci novom obliku dobivanja energije. S termonuklearnom fuzijom vezano je mnogo nepoznanica, a jedan je od najvažnijih problema da se postigne pozitivna energetska bilanca. To znači da se mora proizvesti više energije nego što je potrebno utrošiti za zagrijavanje plazme i za zatvaranje te energije. O »čistoći« fuzije u odnosu na radioaktivne produkte, u usporedbi sa nuklearnom fisijom, bez sumnje je prerano donositi zaključke. Sigurno je, da ne postoje produkti fuzije, koji su slični onima kod reakcije fisije, ali postoji tritij i mnogo neutrona, koji će pomoću radijacije proizvesti razne radioaktivne otpadne materije. Tek će prototipovi moći stvarno dati odgovore na ta pitanja.

Na ovom području, koje nas interesira, tj. na području energetskih izvora, postavlja se pitanje kakvi su stvarni izgledi termonuklearne fuzije pomoću reakcije D — T koja je najjednostavnija (samo 40 — do 50 milijuna stupanja!) U prirodi nema baš mnogo litija. Nalazi se u dosta rijetkim vulkanskim stijenama, kao što je pegnatit, te u solima nekih jezera. Prema jednoj procjeni, koju su dale glavne zemlje proizvođači , postojeće rezerve od 9 milijuna tona elementarnog litija — što iznosi nešto preko 67 000 tona litija-6 pretvorenog u tritij — bile bi približno jednake nuklearnoj energiji koju predstavljaju ukupne rezerve fosilnih goriva.

Gledajući dugoročno, to je mnogo manje interesantno nego uran. Svakako, ogroman interes vlada za fuziju u D—D reakciji. Brojke čovjeku zavrte glavom. Kad bismo mogli iskoristiti pomoću termonuklearne fuzije za proizvodnju energije samo jedan postotak deuterija prisutnog u oceanima, dobili bismo količinu koja je 500 000 puta veća od svih fosilnih goriva. Prema tome, čini se da je najrazumljivije s gledišta fuzije nastaviti istraživanja sa stalnim tempom, te očekivati da se objave eksperimentalni i ekonomski dokazi za taj novi izvor energije koji može biti ili spasonosno rješenje ili nedostižan san.

Konačno ulazimo u područje ostalih izvora energije: geotermičke, oceansko termičke, energije vjetra i sunčane energije. Te vrste energija imaju pasionirane zastupnike. Ti su energetski izvori proizvodni i neiscrpni, ali na žalost vrlo malo poznati. Može nas začuditi žalosno stanje u istraživanjima sunčane energije: potencijal koji je uložen a tu svrhu znantsvene djelatnosti predstavlja samo tisući dio onih sredstava koja su utrošena za istraživanja nuklearne energije.

Geotermička energija

Geotermička se energija može koristiti za proizvodnju električne energije i za direktni prijenos topline. Ocjenjuje se da u SSSR-u postoji 50-60% površina koje su interesantne kao zone s potencijalnom geotermičkom energijom. Prema sadržaju topline one se mogu usporediti sa svim izvorima vruće vode. To podsjeća na početke istraživanja nafte, jer se pojavljuje isti problem: otkrivanje nepoznatih skrivenih ležišta energije. Neke studije Ujedinjenih naroda ocijenile su da je toplina sadržana u Zemljinoj kori do dubine 3,5 km ekvivalentna količini od 20 000 milijardi tona ugljena. S obzirom na tako znatnu količinu energije svakako bi trebalo ubrzati dosadašnja proučavanja.

Najvažnija eksploatacija u Kaliforniji »The Geyrer« treba u 1985. g. postići snagu od 1600 MW za proizvodnju od 7 do 8—MW po bušotini. Tehnička eksploatacija nafte i eksploatacija geotermalne energije nije identična, no u svakom slučaju imaju mnogo zajedničkih radnji, kao bušenje, zacijevljenje, proučavanje ležišta i sl.

Toplinska energija oceana

Gerorges Claude je bio inicijator iskorištenja razlike u temperaturi između površinskih i dubinskih slojeva vode oceana. Njegova ideja bila je poticaj da se pristupi razradi projekta za korištenje Golfske struje. Svakako da postoje velike mogućnosti u apsolutnim vrijednostima, no teško se izjasniti za postrojenje koje daje svega oko 2% termičkog efekta.

Energija vjetra

Gledano tehnički, ovaj oblik energije ne predstavlja nikakav problem i energija vjetra se u manjoj mjeri iskorištava u lokalnim uvjetima. U Francuskoj je »EDF« ostvario više modela pa i u području Pariza, te je dao određena rješenja u vezi s tehničkim mogućnostima eksploatacije tog oblika energije. No relativno visoki troškovi investicija ne čine ga toliko privlačnim.

Energija sunca

Sunčeva energija pobuđuje neosporno sve veći i veći interes. Njezine su količine neograničene (Zemlja prima oko 1 kW na svaki od svojih 10^{14} m^2, uzimajući u obzir pokrov oblaka), a štetnih otpadaka nema.

Potreba konstruiranja skupih postrojenja za prikupljanje Sunčeve energije ne može biti razlog da se ne ide dalje, pa se i trenutno već razrađuju studije za masovnu proizvodnju pojedinih potrebnih dijelova. Sunčeva energija pojavljuje se s prekidima, no ni to nije zapreka ili problem za postojeću tehnologiju. Ni proizvodnja električne energije ne bi se bila razvila da se pošlo od toga kako je nije moguće pohraniti.

U SAD postoji studija o mogućnostima primjene solarne energije u toku slijedećih nekoliko desetljeća, na kojoj je radila i koju će primijeniti NASA. Uz odgovrajauće ali razumne napore u području istraživanja i primjene tokova u slijedećih 20 godina, sunčana bi energija mogla pokriti:

— najmanje 35% potreba energije za zagrijavanje postrojenja, što se može očekivati relativno brzo, zahvaljujući industrijalizaciji sistema.

— više od 30% potreba za metanom i vodikom, neophodnim u privredi za ubrzanje razvoja poljoprivrede, prijenos topline, kemijsku preradu ili bakteriološku preradu.
Ta proučavanja su već ostvarena u laboratorijskim uvjetima, prije nego što su uvedena na takozvanim »farmama energije«.

— više od 20% električne enrgije. Proučeni su do sada mnogi procesi, od kojih bi svaki mogao biti uskoro ostvaren, a neki su prilično futuristički. No zar se tako nije činilo i za atomsku energiju prije 30 godina?

Među različitim procesima pomoću kojih bi se mogla iskoristiti sunčeva energija, navodimo kao primjer:

— Sunčana farma što je predlaže Meinel zasniva se na mreži kolektora pokrivenih tankim optičkim slojem, koji propušta raspršene sunčane zrake, a suprotstavlja se gubitku infracrvenih zraka, priključujući na taj način sunčanu energiju visoke temperature (500°C).

Prijenos topline izvodi se pomoću natrija u tekućem stanju, a posredno, pomoću rastopljenih soli, opskrbljivala bi se parna turbina na normalan način. Za proizvodnju 1 000 000 MW potrebna bi bila površina od 5 000 kvadratnih milja koju zauzimaju poljoprivredne farme, a koje sa svojim proizvodima ne pokrivaju nikada više od 1% energetskih potreba. Stalna solarna stanica u orbiti Zemlje koja je oslobođena alternacija dana i noći i oblaka pohranjivala bi sunčanu energiju u prostoru zahvaljujući fotogalvanskim ćelijama, jednakim onima koje su primijenjene kod svemirskih letova. Pohranjena energije bi se transformirala u kontinuiranu struju u obliku mikrometričkih valova usmjerenih prema Zemlji, gdje bi se pomoću inverznog procesa ta snaga iskorištavala. Takav sistem mogao bi imati vrlo visok koeficijent iskorištenja, reda veličine od 55 do 75%.

Prema predviđanjima NASA-e za taj projekt bi trebalo još 15—25 godina studija i razrade a stajao bi oko 10 milijardi dolara. Energetske mogućnosti su brojne, no suprotno mišljenju koje je vladalo neko vrijeme, energija nije i neće biti besplatna, bar ne u takvom primjenjivom obliku koji bi omogućio da se ne rasipa.

Korištenje pojedinih izvora energije izaziva određene poteškoće zbog otpadnih nuzprodukata, što predstavlja problem koji je teže riješiti nego neke druge probleme kod korištenja drugih oblika energije. Nuklearna je energija, bez sumnje, na prvom mjestu (ali fuzija je još slabo poznata) sa svojim produktima dobivenim kod fisije koje će trebati kontrolirati tisuće godina. Među efikasna sredstva, ali vrlo skupa, sposobna za konzervaciju radioaktivnih otpadaka, može se spomenuti vitrifikacija (pretvaranje u staklo) i asfaltizacija.

Nemoguće je danas predvidjeti definitivni izlaz kod mase ideja koje mogu vrlo duboko promijeniti našu buduću energetsku ekonomiju, ali koje mogu i jednostavno splasnuti. no to je trenutno tipičan američki fenomen. Čini se da se Evropa, koja je stvarno u mnogo težem položaju, definitivno odlučila za nuklearnu energiju.

Prema: Total — Information No 57.

Mirjana Crnčić
Zajednica elektroprivrednih organizacija SRH

OPASNOST OD POTRESA ZBOG IZGRADNJE BRANE NOUREK U SSSR-u

Punjenjem akumulacije HE Nourek, na rijeci Vakč u masivu Tadžikstana u SSSR-u, pojačala se lokalna seizmička aktivnost.

Da se smanji broj potresa, sovjetski i američki seizmolozi (koji su radi studija boravili u Tadžikstanu) zajednički su se dogovorili da se akumulacija postepeno puni. Ovoga je časa akumulacija zaustavljena na koti +140 m), a postoji mogućnost akumulacije do kote +300 m. Čitava akumulacija sadrži 10,5 milijardi m³ vode.

Seizmičku aktivnost tog kraja stalno prate geofizičari, jer je to područje s oko 2 000 potresa godišnje. Seizmički problemi su s posebno velikom pažnjom obrađivani prilikom gradnje HE, jer je poznato da se je broj potresa povećao nakon izgradnje umjetnih jezera i u području gdje je prije (izgradnje akumulacije) seizmička aktivnost bila slaba. To potvrđuje iskustvo iz Afrike, Indije, Kine, SAD, Irana i ostalih zemalja.

Čini se da vertikalne sile — kao posljedica težine akumulacije i promjene pritiska u podzemlju zbog infiltracije vode — bitno ne povećavaju podzemne napetosti koje se obično smatraju uzročnicima potresa. Ali, ipak je moguće da ta dodatna opterećenja postanu »detonans« i ubrzaju oslobođenje energije, što bi uzrokovalo seriju potresa.

Prema: RGE 1/1977. B. Mr.

HE IDIKKI — PRVA LUČNA BRANA U INDIJI

Završava se prva etapa izgradnje HE Idikki na rijeci Muvattupuzha u Indiji. Postrojenje je 1963. godine projektirao Kerola State Electricity Board uz konzultaciju Canadian International Development Agency, koja sada i nadzire izgradnju. Superreviziju je izvršio Central Water and Power Commission of India, a gradi Hindustan Construction Ltd.

Brana je ispitana u Montrealu na modelu 1 : 240, a opterećena je živom. Izmjerene vrijednosti se, na zadovoljavajući način, poklapaju s računima.

Radovi su započeli 1963. godine, ali su se iz tehničkih i financijskih razloga razvukli na 13 godina, što je više nego udvostručilo cijenu izgradnje.

Izgradnjom prve etape HE Idikki sa tri grupe od po 130 MW narast će raspoloživi učinak u državi Kerola na ukupno 1 011 MW. Ujedno će se navodnjavati 60 000 hektara tla, a rijeka Muvattupuzha sa reguliranim protokom od 28,5 m³/sek postaje plovna.

Glavni objekt je brana Idikki, koja je druga brana u Indiji. Visina brane je 167 m, dužina na kruni iznosi 360 m, širina 7,5 m. Širina na temlju iznosi 24 m, a u branu je ugrađeno 466 000 m³ betona.

Centralna je podzemna i za sada je to najveća podzemna elektrana u Aziji. Maksimalni pad iznosi 660 m, a maksimalna protoka 153 m³/sek. U toku je izgradnja 220 kV voda dugog 366 km do grada Misore.

Prema: Energy International, kolovoz 1976. B. Mr.

HAVARIJA BRANE WALTER BOULDIN — SAD

U veljači 1975. godine došlo je do prodora akumuliranih voda na brani Walter Bouldin na rijeci Coosa kraj grada Montgomerya u SAD.

Visina brane iznosi 19,5 m, dužina na kruni 2 268 m, a izgrađena je 1967. godine za potrebe Alabama Power Co.

Istražni sudac nije ustanovio točan razlog havarije, ali su utvrđeni propusti kod izvođača i nadzornog organa. Kao važniji propusti navode se:

— radovi na nasutoj brani nisu se na nekoliko bitnih mjesta izveli prema projektu,

— nadzorna služba investitora bila je organizirana tako da nije mogla utvrditi greške u gradnji,

— način pregleda projekta od strane FPC-a (Federal Power Commission) nije omogućio potpuni uvid, odnosno pregled projekta,

— tehnički pregled inspektora FPC-a nije bio dovoljno strog.

Proboj brane iznosio je 10 m, a voda je kod istjecanja odnijela branu i temelje do 16,5 m ispod dna akumulacije. Uzročnikom havarije smatra se pad zemljišta s brijega u blizini brane. Godine 1972. također je došlo do pada zamljišta u istoj zoni, što je vjerojatno oslabilo branu.

Sam val nije bio velik, a ipak je uništena elektrana od 225 MW.

Brana će se popraviti, uz značajne izmjene projekta, a popravak će stajati oko 40 milijuna dolara.

Prema: Engineering News Record, IX/1976. B. Mr.

PUMPNE HIDROELEKTRANE U IRANU

Belgijska projektna organizacija ispituje rentabilitet za tri pumpne hidroelektrane u Iranu na brijegovima Alborz na Kaspijskom moru. Instalirani učin svake PHE procjenjuje sa na 1 000 MW.

Terenske radove za potrebe projektiranja izvest će iranska poduzeća.

Već 1970. godine ista je projektna organizacija ispitivala hidroenergetski potencijal toga gorja i utvrdila 10 mogućih lokacija za izgradnju PHE, od kojih su neke sjeverno od Teherana.

HIDROELEKTRANA SHIRORO — NIGERIJA

»Nigerian National Electric Power Authority« zatražilo je ponude za opremu HE Shiroro. HE je oko 90 km sjeverno od grada Kaduna.

HE će imati 4 Francis-turbine od 155 MW, a radit će sa srednjim padom od 97 m.

Brana je nasuta, visine 115 m, dužine u kruni 700 m.

BRANA SEDAWGYI U BURMI

Azijska banka za razvoj odobrila je zajam od 46 milijuna USA dolara za izgradnju brane Sedawgyi u Burmi.

Brana će biti nasuta, visine 39 m, dužine na kruni 1 424 m.

Prvenstvena svrha brane je natapanje 51 000 ha zemlje, što će omogućiti dvostruku žetvu riže, pamuka i kikirikija. Također se predviđa izgradnja manje HE učina od 20 MW.

HIDROELEKTRANA BAN CHAO NEN U TAJLANDU

U izgradnji je brana HE Ban Chao Nen u Tajlandu na rijeci Quae Yai. Brana će biti nasuta, visine 140 m, sa zapremninom od 12,3 milijuna m³ i bit će jedna od najvećih brana na jugoistoku Azije.

U prvoj etapi izgradnje predviđa se montaža 3 agregata od po 120 MW. U drugoj etapi ugradit će se 2 pumpno-turbinska agregata od po 180 MW.

Radovi obuhvaćaju: građevne na centrali, brani, dovodnim tunelima, tlačnom vodu i odvodu; turbine generatore, transformatore i odgovarajući 230 kV vod; trafostanice i VF uređaje. Gradi se i naselje za stanovnike koje će trebati iseliti iz zone akumulacije.

Radovi su započeli 1975. godine, a dovršenje svih radova predviđa se za 1979. godinu.

PUMPNA HIDROELEKTRANA KRAJ HE CHONGPYONG — JUŽNA KOREJA

U gradnji je nova PHE kraj postojeće HE Chongpyong I. na rijeci Han 36 km od Seula u Južnoj Koreji.

Postojeća akumulacija HE Chongpyong služit će kao donja akumulacija novoj PHE. Gornja akumulacija imat će kapacitet od 975 000 m³; brana je nasuta visine 58 m, a širina na kruni 290 m. Izgradit će se i bočna pomoćna brana visoka 24 m i dužine 220 m da zatvori jezero. Dva tlačna voda cijevi promjera od 3,6 2,4 m opskrbljivat će PHE.

Elektrana je podzemna (68 × 20 m), a ugradit će se 2 vertikalne Francis-turbine — pumpe učina 206 MW svaka. Kapacite pumpi je 78 m³/sek kod 499 m; turbine će raditi kod visinske razlike od 473 m. U posebnoj prostoriji montirat će se blok-transformatori od po 223 MVA, 13,8/140 MVA — 168 kV, 60 Hz. U slijedećih 10 godina Novi Zeland mora udvostručiti elektroenergetske kapacitete.

Godišnji troškovi za realizaciju tih planova prijeći će iznos od 130 milijuna NZ $ do 1984. godine, dok se za razdoblje 1984—1990. godine predviđaju troškovi od 205 milijuna NZ $.

Postojeće HE sada opskrbljuju zemlju sa 78% potrebne električne eergije, 1980. će se taj iznos smanjiti na 57%, a 1986. godine na samo 50%.

Novih 6 HE u dolini Clotha s instaliranom snagom od 1490 MW i 4 620 GWh bit će značajan snabdjevač električnom energijom.

Uz izgradnju novih TE povećat će se proizvodnja električne energije i rekonstrukcijom postojećih HE.

Tako se ispituje mogućnost povećanja snage HE Arapumi, Whakamaru na rijeci Worikato, i mogućnost skretanja vode rijeke Wilberforce u jezero Colerige, čime bi se povećala proizvodnja HE Coleridge za najmanje 60 GWh.

Prema: International Water Power and Dam Construction, XI/1976.

B. Mr.

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.

Vijesti iz elektroprivrede

40. GODIŠNJICA RADA »ELEKTRE« BJELOVAR

OOUR »Elektra« Bjelovar slavi ove godine četrdeset godina svog osnutka i rada. Glavna svečanost je održana 1. srpnja. Uz mnogobrojne članove kolektiva, svečanosti su prisustvovali gosti iz raznih organizacija s kojima Elektra uspješno surađuje, i predstavnici društveno-političkih organizacija bjelovarske regije. Svečanosti je prisustvoavo i generalni direktor »Elektre« Zagreb dipl. ing. Petar Kuzele. U okviru proslave otvorena je izložba fotografija kojima je prikazan 40-godišnji rad i razvoj poduzeća. S proslave je upućen pozdravni brzojav Predsjedniku republike Josipu Brozu Titu.

Na svečanoj sjednici je direktor Milivoj Škarić, dipl. ing. u opširnom referatu prikazao razvoj i uspjeh poduzeća u elektrifikaciji bjelovarskog područja. Iz godine u godinu zabilježeni su sve veći rezultati i napredak distributivne mreže.

Za dugogodišnju dobru suradnju Elektra Bjelovar je pojedinim kolektivima podijelila plakete i priznanja: »Elektroprenosu« Zagreb, »TSN« Maribor, »Elektroslavoniji« Osijek, bjelovarskim poduzećima DI Česma, »Tomi Vinković«, »Petom maju«, Komandi vojnog okruga i mjesnim zajednicama Gornje Plavnice, Rovišća. Ivanske i dr.

Na svečanoj sjednici 18 najzaslužnijih radnika, kao i neki umirovljenici, dobili su od kolektiva Zlatni znak i Priznanje za višegodišnje zalaganje na radu, pravilan odnos prema društvenim sredstvima i aktivno sudjelovanje u samoupravljanju.

Radnici koji su proveli na radu 20 i 10 godina nagrađeni su zlatnim satovima, novčano i Priznanjem. Tom prilikom nisu zaboravljeni ni penzioneri koji su dobili novčane nagrade.

Jubilarna godina kolektiva »Elektre« obilježena je uspješnim poslovanjem u svim sektorima. Plan rekonstrukcije je obuhvatio 15 transformatorskih stanica (kabelskih i zračnih postrojenja) napona 10/0,4 kV. Izvršena je izmjena vodiča na mrežama niskog napona, izvedeno je kabeliranje većeg broja 10 kV kabela, izvedeni su novi priključci na nekim stanicama, a vozni park je obnovljen i proširen novom mehanizacijom. UKV veze zamijenjene su sa 20 novih radio stanica, tipa SR, nabavljenih u Švedskoj. No osim redovnog održavanja i proširenja distributivne mreže najznačajniji uspjeh je puštanje u pogon novosagrađene TS 35/10 kV Bjelovar III.

Novu transformatorsku stanicu pustio je u pogon najstariji član kolektiva Ivan Marušić.

TS Bjelovar III predstavlja prvo na tom području kablirano postrojenje od 35 000 Volta na niže. Ovaj prijenosni objekt je lociran u sjevernom dijelu grada, gdje je već otpočela gradnja dovog gradskog naselja Centar. Stanica je projektirana za transformatore 2 × 16 MVA, a montiran je transformator snage 4 MVA. Postrojenje je pripremljeno za buduće daljinsko upravljanje i signalizaciju.

Za kompletnu izgradnju stanice investiran je oko jedan milijun i 400.000 novih dinara.

Napajanje će biti iz postojeće TS 110/35/10 kV Bjelovar posebno građenim kabelskim vodom napona 35 kV, promjera 3 × 240 mm².

Projektanti poduzeća »TSN« iz Maribora izradili su glavni projekt stanice, montažu »Elektromonter«, a građevne radove poduzeće »Tehnogradnja«. Transformator, sklopke i dobar dio elektroopreme je proizvod tvornice »Rade Končar«.

I. R.

25-GODIŠNJICA HE »NIKOLA TESLA«

Dvadesetpetogodišnjica rada HE »Nikola Tesla«, prvog velikog hidroenergetskog objekta izgrađenog u socijalističkoj Jugoslaviji svečano je proslavljena 11. lipnja u Triblju.

Proslava je obilježena velikim narodnim zborom u Triblju kojem je prisustvovao predsjednik Predsjedništva SR Hrvatske Jakov Blažević, graditelji, omladinci, predstavnici političko-društvenih organizacija, stručnjaci elektroprivrednih poduzeća, članovi kolektiva i narod okolnih općina.

Svečanost je počela otvaranjem izložbe o izgradnji hidroenergetskog sistema. Na izložbi fotografijama i grafikonima prikazane su faze gradnje objekata na kojima su sudjelovale omladinske radne brigade iz svih republika.

U samoje elektrani otkrivena je spomen-ploča — sjećanje na prvu akciju partizana toga kraja, a nedaleko ulaza u elektranu ploča u spomen poginulim graditeljima i umrlim članovima kolektiva.

Nakon uvodnih svečanosti narodni zbor je otvorio predsjednik Radničkog savjeta Vlado Veljačić, a o izgradnji i proteklom radu elektrane govorio je Edvard Kauzlarić, predsjednik Zbora radnika:

»Izgradnja objekta pada u prve poratne godine kada smo raspolagali s vrlo skromnim sredstvima i slabom mehanizacijom.

Naša industrija tada još nije bila sposobna za izradu najvećeg dijela opreme a građevinska operativa takve objekte još nije gradila. Međutim sve te prepreke naši graditelji su svladali ulažući velike napore i znanja, tako da je izgradnja izvršena pravovremeno i kvalitetno.

Iznijet ćemo neke podatke o tome koliko je HE »Nikola Tesla« značila u to vrijeme.

Ukupna instalirana snaga svih hidroelektrana u 1951. godini iznosila je 89 MW u Hrvatskoj, dok je snaga »Vinodola« bila 84 MW.

Ukupna proizvodnja HE u Hrvatskoj u 1975. godini iznosila je 379 milijuna kWh, dok je proizvodnja HE »Vinodol« trebala dati novih 180 milijuna kWh.«

Prvi agregat HE »Vinodol« je u pogon pušten 1. lipnja 1952, a u idućoj 1953. ostala dva agregata. No kompletan objekt s branama bio je definitivno gotov 1955, ali je proizvodnja počela već 1952. godine. Na održanom zboru je predsjednik Predsjedništva SR Hrvatske Jakov Blažević čestitao slavljenicima jubilej i održao prigodni govor o značaju i vrijednosti tog hidroenegetskog postrojenja. Sa zbora je upućen pozdravni brzojav drugu Titu, a zatim je izveden kulturno-umjetnički program.

Direktor OOUR-a HE »Nikola Tesla«, Marijan Kovač, uručio je Jakovu Blaževiću jubilarnu zlatnu plaketu.

I. R.

LOKACIJA DRUGE NUKLEARNE ELEKTRANE

Na osnovi stručnih i znanstvenih studija, analiza, istražnih radova, te ekonomskih i tehnoloških razmatranja, Zajednica elektroprivrede SR Hrvatske na sjednici 7. lipnja usvojila je lokaciju druge nuklearne elektrane na otoku Viru. Tako je otpala kombinacija izgradnje na području Privlake, kraj Zagreba. Zaključeno je da se od Izvršnih vijeća SR Hrvatske i SR Slovenije, republičkih zajednica potrošača električne energije tih republika, kao i od elektroprivrede Slovenije zatraži da dade mišljenja o prihvaćenoj lokaciji.

Nuklearna elektrana gradit će se u okviru sporazuma SR Hrvatske i SR Slovenije, iz 1970. godine.

Nuklearna elektrana II planirana je na instaliranu snagu od 900 do 1000 MW. Izradom glavnog projekta odredit će se konačna snaga tog nuklearnog postrojenja.

I. R.

NOVE TS 35/10 kV

Elektro distributivna poduzeća na području SR Hrvatske uspješno u ovoj godini rješavaju izgradnju prijenosnih postrojenja 35 kV.

U sklopu proslave Titovih jubileja, 40. godišnjice dolaska na čelo partije i 85. godišnjice života, te 30 godišnjice osnutka »Elektroarimorja« Rijeka puštena je u pogon 35/10 kV Škurinjska Draga. Nova transformatorska stanica je od velikog značaja ne samo za »Elektroprimorje« već i za šire područje općine Rijeka.

Građevne radove izvelo je poduzeće »Jadran« po idejnom projektu inž. Ante Primožića. Montaža je povjerena stručnim ekipama Elektroprimorja, a za kompletnu izgradnju stanice utrošeno je 15 milijuna dinara.

Radi poboljšanja naponskih prilika područja Poreč, izgrađena je TS 35/10 kV »Vrsar«, a u toku su radovi TS 35/10 kV Bašarinka, locirana u turističkom naselju Lanterna.

Na TS 35/10 kV »Poreč I« izvršena je rekonstrukcija i za novu relejnu zaštitu i izvedbu dva nova 20 kV polja. Za te radove je investirano oko dva milijuna novih dinara. Sredinom godine kolektiv »Elektrolika« pustio je u rad TS 35/10 kV Gospić. Na novu stanicu priključit će se električni vodovi za Karlobag, Medak, mjesto Gospić i Smiljan.

Početkom srpnja puštena je u pogon novosagrađena TS 35/10 kV Kotoriba, s instaliranim transformatorima od 2.500 kVA i 1600 kVA. Puštanjem u pogon te transformatorske stanice konzum Kotoribe raspolagat će kvalitetnijom i sigurnijom električnom energijom.

Opremu je isporučila tvornica »Rade Končar«, građevne radove izvelo je poduzeće »Međimurje«, a montažu radnici »Elektre« Čakovec.

Kolektiv »Elektre« Čakovec počeo je rekonstrukciju postojeće TS 35/10 kV Prelog. Građevni radovi su dovršeni i montira se nova oprema. Uskoro će početi gradnja i nove TS 35/10 kV u Ivanovcu.

Nova transformatorske stanica kao i rekonstrukcija postojećih prijenosnih objekata uveliko će pridonijeti razvoju privrede u tom dijelu Međimurja. To je posebno važno za unapređenje tzv. male industrije koja se u tim krajevima intenzivno širi.

I. R.

TS 110/20 kV SAMOBOR

U dugoročnom planu razvoja poduzeća »Elektrodistribucija« Zagreb uvrštena je i gradnja TS 110/20 kV Samobor.

Nedavno je Radnički savjet ZOOUR-a »Elektrodistribucije Zagreb« donio odluku kojom se odobrava izgradnja TS u Samoboru.

Za gradnju i nabavu apreme za taj prijenosni objekt uložit će se oko 31,4 milijuna novih dinara. Odobren je investicijski program pa će se uskoro pristupiti razradi glavnih projekata. Dobar dio investicionih sredstava već je investitor osigurao.

I. R.

NOVI DALEKOVOD 220 kV

Završena je izgradnja DV 2 × 220 kV TS Melina — Pehlin, dužine 2 × 17,7 km. Novosagrađeni vod povezuje proširenu TS 220/110 kV Pehlin s TS 380/220 kV Melina, što se gradi iznad Krasice.

Ovaj prijenosni objekt veoma je značajan i za TE Rijeka I (u gradnji) koja će biti povezana s TS Melina. Nadalje, vod će se povezati i na rasklopno postrojenje Brinje. U tu svrhu je izvršeno i proširenje RP Brinje izgradnjom dalekovoda 220 kV ulaz — izlaz Brinje.

DV 2 × 220 kV TS Melina — TS Pehlin izveden je na čelično-rešetkastim pocinčanim stupovima, tipa »bačva«. Presjek vodiča je 490/110 mm² AlFe, zaštitno uže 126,1 mm² materijal alumoweld, izolatori su domaće proizvodnje.

Investitor »Elektroprenos Matulji« povjerio je izradu projekta, isporuku stupova i kompletnu izgradnju voda poduzeću »Dalekovod«, Zagreb.

I. R.

ISTRAŽIVAČKI RADOVI ZA URAN I UGLJEN U SR HRVATSKOJ

SIZ SR Hrvatske a za potrošače električne energije i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, zajednički su zaključili da se ponovo ispitaju sve mogućnosti za pronalaženje ležišta urana, i otkrivanje i utvrđivanje rezervi ugljena u republici.

Nuklearne sirovine u našoj zemlji istraživali su gotovo 20 godina bivša Savezna komisija za nuklearnu energiju i bivši Savezni geološki zavod na određenim lokacijama u raznim područjima zemlje.

Prema dosadašnjim rezultatima, kao najperspektivnija moguća ležišta nuklearnih sirovina na području SR Hrvatske stručnjaci su označili neke geološke komplekse Gorskog kotara, Like, Korduna, Samoborskog kraja i Baranje. Sredstva za istraživanje nuklearnih sirovina, i ugljena osigurat će elektroprivredne organizacije i druge zainteresirane privredne i industrijske grane.

Za nova nalazišta ugljena najopsežniji zahvati su u rudniku kamenog ugljena Raša.

Na području istarskih ugljenokopa »Raša« na osnovi razrađenih studija, istraživanja su usmjerena na potezu Ripende — Tupljak.

Prvi rezultati pokazali su da je na tom potezu moguća godišnja proizvodnja oko 550 do 600 tisuća tona ugljena. Planirano je da se već u 1978. počne makar djelomično kopati u novim jamama Ripenda i Tupljak.

Za ostvarenje cjelokupnog plana otvaranja novih nalazišta u bazenu Istarskih ugljenokopa do 1982. potrebno je investirati oko 500 milijuna dinara. U 1977. će se za te radove i opremu uložiti oko 50 milijuna dinara.

I. R.

MONTAŽNI RADOVI U KOTLOVNICI »TE — TO ZAGREB«

Gradnja Termoelektrane — Toplane Zagreb II, instalirane snage 120 MW, uspješno se odvija u planiranim rokovima.

Dobar dio građevnih radova je u završetku, tako da su počeli intenzivni montažni zahvati u kotlovici i strojarnici. U kotlovnici se obavlja montaža kotla, montiran je ložišni dio, horizontalni dimni put, kao i silazni dimni put i sve je pripremljeno za montiranje ekonomazera. U strojarnici se zatvara turbina, normalno se izvodi montaža opreme i cjevovoda.

Projekt glavnog pogonskog objekta i isporuku opreme izvode stručnjaci sovjetske tvrtke »Tehnopromeks« iz Moskve. Izradu generatora i druge elektroopreme preuzela je tvornica »Rade Končar«. Na montaži rade stručnjaci poduzeća »Braća Kavurić«, a građevne radove izvodi poduzeće »Industrogradnja« iz Zagreba.

I. R.

20-GODIŠNJICA OSNUTKA ELEKTROPRENOSA ZAGREB

OOUR Elektroprenos Zagreb je krajem lipnja ove godine na svečan način obilježilo dvadesetogodišnjicu osnutka i uspješnog rada. Bavi se razvojem, izgradnjom i eksploatacijom prijenosnih postrojenja i telekomunikacijskih uređaja na području »Elektroprivrede« Zagreb. U vrijeme osnivanja poduzeća »Elektroprivreda Zagreb«, 1965, Elektroprenos je pokrivao područje cijele SR Hrvatske, osim Dalmacije, ali su tijekom proteklog razdoblja osnovani samostalni OOUR-i »Elektroprenos« Matulji za područje Istre i Hrv. Primorja i »Elektroprenos« Slav. Brod za Slavoniju i Baranju.

U proteklih 20 godina rada izgrađen je velik broj prijenosnih postrojenja dalekovoda napona 110 kV i 220 kV i 380 kV, te transformatorskih stanica 110/35 kV, 220/110 kV i 380/220/110 kV (u gradnji). Sva ta postrojenja nalaze se u osnovnim sredstvima OOUR-a Elektroprenosa.

Danas zagrebački Elektroprenos u svome sastavu ima: 19 TS, napona 110 kV 220, 380 kV sa 36 transformatora, ukupne snage 2.014 MVA, postrojenja dalekovoda 110 kV — 220 kV — 380 kV, ukupne dužine oko 1945 km. Od 290 zaposlenih, 70% su radnici s visokom kvalifikacijom.

U okviru proslave održana je za članove kolektiva svečanost kojoj su prisustvovali mnogobrojni gosti i suradnici. Na svečanoj sjednici je direktor poduzeća Zorko Cvetković, dipl. ing. pročitao referat u kojem je prikazao razvojni put i uspjeh poduzeća u minulom razdoblju.

I R.

ZAJAM ELEKTROPRIVREDI 80 MILIJUNA DOLARA

S Međunarodnom bankom za obnovu i razvoj za Evropu potpisan je 12. srpnja 1977. godine u Washingtonu ugovor o kreditu od 80 milijuna dolara. Kredit je namijenjen drugoj fazi izgradnje Osnovne 380 kV mreže Jugoslavije.

Za prvu fazu tog projekta banka je već ranije odobrila kredit od 75 milijuna dolara koji je već dobrim dijelom iskorišten. Drugi zajam koristit će elektroprnvredne organizacije svih republika i autonomnih pokrajina. Prema raspodjeli SR Hrvatska dobiva dio zajma u iznosu od 15,7 milijuna dolara, koji će se utrošiti za gradnju prijenosnih objekata. Elektroprenos Matulji raspolagat će sa 7,14 mil., Elektroprenos Split, 5,45 i Elektroprenos Zagreb sa 2,62 milijuna dolara. Iznos od pedeset tisuća dolara namijenjen je izradi studije razvoja prijenosnih postrojenja 380 kV na području republike.

I R.

Nove knjige

H. POŽAR: OSNOVI ENERGETIKE

Izdanje »Školska knjiga«, Zagreb 1976., 528 stranica, bogato ilustrirano, tvrdo ukoričeno. Svezak prvi.

Prvi put je u našoj stručnoj literaturi objavljeno djelo koje na jednom mjestu sveobuhvatno obrađuje probleme energetike i enrgetske transformacije. Ono je to značajnije, što se pojavljuje u vrijeme kad problem opskrbe energijom postaje sve ozbiljniji u svijetu i u nas.

Prvi svezak, osim dvaju uvodnih poglavlja o problemu opskrbe energijom i o jedinicama mjere za energiju i snagu, obuhvaća primarne konvencionalne i nekonvencionalne oblike energije, transformacije primarnih oblika energije u pogodnije oblike, te transformacije kemijske i nuklearne energije u unutrašnju kaloričku energiju.

Djelo ima šest poglavlja. Kako je već spomenuto, prva dva poglavlja su uvodna, dok se u trećem razmatraju primarni oblici energije: ugljen, sirova nafta i zemni plin, vodene snage i nuklearna goriva. Na kraju su obrađeni treset i drvo kao i nekonvencionalni oblici energije (geotermička energija, energija plime i oseke, vjetar itd.).

U četvrtom poglavlju je obrađena transformacija primarnih oblika u pogodnije oblike energije. Govori se o pripremi, isplinjavanju i rasplinavanju ugljena, proizvodnji gradskog plina, preradi nafte (rafinerije). Kraj poglavlja govori o pripremi nuklearnog goriva.

Peto poglavlje je posvećeno transformaciji kemijske energije u unutrašnju kaloričku energiju i prijelazu topline. Izloženi su osnovni zakoni termodinamike s tablicama pare i dijagramima stanja. Zatim se govori o procesu izgaranja, termodinamičkoj vrijednosti izgaranja, prijelazu i izmjenivačima topline. Ovo poglavlje obuhvaća i parne kotlove, uključujući teoretsku podlogu i osnovne podatke o konstrukciji samog kotla i ložišta. Na kraju poglavlja obrađena je voda za parne kotlove i pojne pumpe.

Šesto i posljednje poglavlje ovog sveska govori o transformaciji nuklearne energije u unutrašnju kaloričku energiju. Najprije su iznesene osnove i korištenja nuklearne energije i principi rada nuklearnih reaktora. Izložene su osnovne regulacije i principi rada nuklearnih reaktora, reaktori s brzim neutronima te reaktorsko gorivo i materijali. Poglavlje završava opisima tipova termičkih reaktora i oplodnih brzih reaktora s tekućim metalom.

Pregled literature dan je na kraju knjige.

Ovo će vrlo informativno djelo našeg poznatog i uvaženog energetičara, profesora i akademika mnogo pomoći boljem razumijevanju problema energetike i poslužiti ne samo kao udžbenik studentima elektrotehnike, nego i kao pomoć inženjerima u praktičnom radu. Knjiga je napisana tako da ju u mnogim dijelovima uspješno mogu koristiti i netehničari koji se interesiraju ili dolaze u svojoj profesiji u dodir s energetskim problemima.

U drugom će svesku biti obrađena transformacije unutrašnje kaloričke i potencijalne energije u mehaničku energiju, transformacija mehaničke energije u električnu i neposredne transformacije u električnu. Obrađivat će se i korisni oblici energije te problem utjecaja opskrbe energije na okoliš.

P. JOOS: HOCHENERGIEPHYSIK

Izdavač: Verlag Karl Thiemig-München (Thiemig-Taschenbücher), 1977, 184 stranice, 62 slike, 8 tablica, format 11×17,5, uvez u kartonu; cijena 19,80 DM.

Za proučavanje visokih energija i prodiranje u poglavlje tajne materije upotrebljavaju se danas golemi uređaji, gdje se naponi za ubrzanje čestica penju čak do 1 500 milijardi volta.

Ova knjiga govori o zadacima, metodama i rezultatima takvih ispitivanja.

Knjiga sadrži uvod i 4 poglavlja.

U uvodu se govori o zadacima fizike visokih energija, metodama istraživanja, elementarnim česticama i antičesticama.

U drugom poglavlju iznesene su osobine elementarnih čestica, njihova masa, naboj, spin, izospin, raspadanje i slično.

O rasipanju elektrona i drugim elektroenergetskim procesima pri visokim energijama govori treće poglavlje.

U četvrtom poglavlju opisuju se hondorni i nastajanje masona, nastajanje čestica iz realnih i virtuelnih fotona.

Posljednje poglavlje posvećeno je kozmičkim zrakama i spektru energija. Govori se nadalje o teškim jezgrama u kozmičkom zračenju, izvorima takvog zračenja neutrina i primjeni kozmičkih zraka u arheologiji.

Na kraju knjige navedena je literatura i kazalo sadržaja. Knjiga je vrlo zanimljiva i daje ukratko dobar pregled današnjeg stanja fizike i elementarnih čestica.

B. M.

Elektra e K
KOPRIVNICA

OOUR ELEKTRE — ZAGREB
PODUZEĆA ZA DISTRIBUCIJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

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

GOD. 26 (1977) energija BROJ 11—12

STRUČNI ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA RAD PUMPNO-AKUMULACIJSKOG POSTROJENJA

Goran Granić, Zagreb

U ovom je članku primjenom metode za određivanje optimalnog rada pumpno-akumulacijskog postrojenja analiziran utjecaj hidroelektrana na rad tih postrojenja.

DK 621.311.21.004

1. UVOD

U L1 opisana je metoda za određivanje optimalnog rada pumpno-akumulacijskih postrojenja. Rezultati analize su pokazali veliku ovisnost rada takvih postrojenja o svim elementima elektroenergetskog sistema. Sistem u kojem su osim termoelektrana i pumpno-akumulacijskih postrojenja uključene i hidroelektrane čini proračun još složenijim, jer se broj parametara o kojima ovisi optimalni rad pumpno-akumulacijskog sistema povećava.

2. RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU ELEKTRANAMA U SISTEMU TERMOELEKTRANA I HIDROELEKTRANA

Kod jednostavnijih elektroenergetskih sistema, kad su za zadovoljavanje konzuma angažirane termoelektrane i samo jedna hidroelektrana (pumpno-akumulacijska ili protočna), mogu se napisati jednadžbe zadovoljenja konzuma za svaki vremenski interval t jer su točno definirani periodi u kojima ta hidroelektrana radi. Nova hidroelektrana, koja bi se anagažirala u jedan takav sistem, poremetila bi takve jednostavne odnose kod raspodjele opterećenja. Dvije hidroelektrane mogu se pojaviti u tri kombinacije rada, i to:

— obje hidroelektrane zajedno.
— samo druga hidroelektrana
— obje hidroelektrane zajedno

Postoji ista vjerojatnost da se svaka od tih kombinacija pojavi, te se sve tri moraju uključiti u jednadžbe zadovoljenja konzuma. Međutim, nije uvijek rečeno da će sve tri kombinacije u promatranom vremenskom periodu t pojaviti, te se ona kombinacija koja ne dolazi u obzir treba isključiti. Kako je nemoguće donijeti odluku koja kombinacija ima prednost, definirani problem nije moguće riješiti na taj način.

Za rješenje problema primjenjuje se indirektna metoda proračuna, kojom se nakon neodređenog broja iteracija dolazi do konačnog rješenja. Svaka iteracija je zapravo jedan potciklus, unutar kojeg se određuje mogućnost proizvodnje svake hidroelektrane.

U prvom potciklusu se uključuju hidroelektrane u rad sistema, uz napomenu da ona hidroelektrana za koju je izračunata moguća proizvodnja ostaje u sistemu, tj, konzum termoelektrana se korigira za proizvodnju te hidroelektrane. Redoslijed angažiranja nema nikakvog utjecaja na konačni rezultat. No, kako se mora pretpostaviti neki red, najbolje je angažirati elektrane prema položaju koji zauzimaju u dnevnom dijagramu opterećenja. To znači da se najprije uključuju u rad protočne hidroelektrane, zatim vršne (akumulacijske) i na kraju pumpno-akumulacijska postrojenja.

Ka se posljednja hidroelektrana uključi u rad elektroenergetskog sistema, završen je prvi potciklus proračuna. Tako određena raspodjela opterećenja jest polazno stanje za drugi potciklus, a troškovi koji su postignuti kod takve raspodjele $TR^{(0)}$ jesu granični troškovi i služe za usporedbu u daljnjem toku proračuna.

Drugi potciklus sastoji se u tome da se traži optimalna proizvodnja za svaku hidroelektranu onim istim redom kao u prvom potciklusu. Svaka hidroelektrana u toku proračuna do trenutka kad ona ne dođe na red za određivanje optimalnog rada zadržava proizvodnju određenu u prvom potciklusu. Nakon toga, pa sve do kraja proračuna, ona je uključena u rad sistema s novom izračunatom proizvodnjom. Kad se sve hidroelektrane na taj način izredaju, završava i drugi potciklus proračuna. Nova raspodjela opterećenja uvjetuje i nove troškove u sistemu $TR^{(1)}$.

Usporedba troškova iz prvog i drugog potciklusa pokazuje da li se postigla optimalna raspodjela op-

terećenja među svim elektranama u sistemu. Ako je postignuto zadovoljenje relacije koja glasi:

$$TR^{(1)} < TR^{(0)}, \tag{1}$$

tj. ako su troškovi u drugom potciklusu manji od onih iz prvog, proračun se nastavlja trećim potciklusom, koji je po sadržaju isti kao i drugi.

Proračun se prekida kada se postigne da razlika troškova između dva uzastopna iteracijska koraka postane tako malena, da se može smatrati zanemarivom. To se može napisati u općem obliku:

$$| TR^{(i)} - TE^{(i-1)} | < \varepsilon_{TR}, \tag{2}$$

gdje je ε_{TR} unaprijed dogovorena tolerancija čija je vrijednost prema ukupnim troškovima zanemariva. O veličini tolerancije ovisi i točnost proračuna.

Ako se nakon drugog potciklusa postigne da relacija (1) nije zadovoljena, može se smatrati da se već u prvom koraku postigla optimalna raspodjela opterećenja među svim elektranama u elektroenergetskom sistemu. U praksi je vjerojatnost jednog takvog događaja tako malena da se smatra nemogućom.

Broj potciklusa se ne može predvidjeti, te će se od slučaja do slučaja razlikovati. Ako u elektroenergetksom sistemu promijenimo samo jednoj elektrani njezine karakteristike, ili mjesto nje angažiramo drugu elektranu, taj broj će se promijeniti.

Kod jednostavnih sistema pokazalo se da se s minimumom troškova postiže zadovoljenje uvjeta za optimalan rad promatranih elektrana. To isto vrijedi i za složeni elektroenergetski sistem. U određenom trenutku proračuna samo se jednoj elektrani traži optimalna raspodjela, a ostale su statički definirane. Kad se postigne minimum troškova, eliminira se međusobni utjecaj na raspodjelu opterećenja i svaka elektrana sama za sebe postigne zadovoljenje svojih uvjeta za optimalan rad.

2.1. Raspodjela opterećenja među elektranama u sistemu termoelektrana, protočne hidroelektrane i pumpno-akumulacijskog postrojenja

Dvije hidroelektrane u sistemu čine taj sistem složenijim, te je potrebno primijeniti indirektnu metodu za traženje rješenja, odnosno optimalne raspodjele opterećenja.

Prvi potciklus započinje angažiranjem one elektrane koja je po svom položaju u dnevnom dijagramu opterećenja na prvom mjestu. U vom primjeru radi se o protočnoj hidroelektrani. Angažiranje takve hidroelektrane, bez akumulacijskog bazena, pretvara složeni elektroenergetski sistem s termoelektranama i jednim pumpno-akumulacijskim postrojenjem u jednostavni, a konzum se smanji za opterećenje koje bi imala protočna hidroelektrana s protokom Q_{HO}. No, kako u ovom primjeru promatramo protočnu hidroelektranu s malom akumulacijom, potrebno je odrediti takvu raspodjelu opterećenja koja bi zadovoljila uvjete dane relacijama (152.a i 152b; L2). Protočna hidroelektrana preuzima na sebe opterećenje iskazano kroz vrijednost P_{Ht}, za sve vremenske intervale u periodu T.

$$P_{Ht} = P_{HO} - \Delta P_{HPt} \qquad \text{za } t = 1, 2, \ldots, T_P \tag{3a}$$

$$P_{Ht} = P_{HO} + \Delta P_{HPt} \qquad \text{za } t = 1, 2, \ldots, T_T \tag{3b}$$

$$P_{Ht} = P_{HO} \qquad \text{za } t = 1, 2, \ldots, \quad [T - (T_P + T_T)] \tag{3c}$$

gdje su ΔP_{HPt} i ΔP_{HTt} odstupanja od prosječnog stanja opterećenja u korist punjenja odnosno pražnjenja akumulacijskog bazena (L2).

Nakon što je određeno opterećenje protočne hidroelektrane za svaki vremenski interval, potrebno je korigirati konzum za iznos tih opterećenja. Nova vrijednost konzuma može se odrediti iz izraza

$$P_{kt} = P_t - P_{Ht} \qquad \text{za } t = 1, 2, \ldots, T \tag{4}$$

Korigiranjem konzuma za iznos opterećenja protočne hidroelektrane uključila bi se ona u rad sistema, a ujedno bi se time i definiralo polazno stanje za traženje optimalnog rada pumpno-akumulacijskog postrojenja.

U ovakvom sistemu (termoelektrane + pumpno-akumulacijsko postrojenje) može se jednoznačno definirati matematički model i odrediti optimalna raspodjela opterećenja. Takav primjer obrađen je u (L1). Rezultat proračuna su proizvodnja, odnosno potrošnja pumpno-akumulacijskog postrojenja.

Uključivanjem u rad pumpno-akumulacijskog postrojenja završen je prvi potciklus proračuna. Potrebno je još odrediti i troškove, jer su oni jedini pokazatelj kvalitete postignute raspodjele.

U drugom potciklusu hidroelektrane imaju isti redoslijed kao i u prvom. No, polazno stanje nije isto kao u prvom potciklusu. Ovdje su obje hidroelektrane uključene u rad: pumpno-akumulacijsko postrojenje s izračunatom proizvodnjom iz prvog iteracijskog koraka i protočna hidroelektrana kao elektrana kojoj se traži optimalna raspodjela opterećenja. Konzum se mora korigirati za iznos proizvodnje, odnosno potrošnje pumpno-akumulacijskog postrojenja.

$$P_{kt} = P_t + P_{Pt} \qquad \text{za } t = 1, 2, \ldots, T_P \tag{5a}$$

$$P_{kt} = P_t - P_{Tt} \qquad \text{za } t = 1, 2, \ldots, T_T \tag{5b}$$

U svim ostalim vremenskim intervalima on zadržava nepromijenjenu vrijednost P_t.

Daljnji tok proračuna odvija se isto kao u prvom potciklusu. Raspodjela opterećenja i troškovi pri takvoj raspodjeli rezultat su na kraju potciklusa.

Ako se nakon drugoga potciklusa postignu manji troškovi nego na kraju prvog, nastavlja se proračun trećim, četvrtim i sve do i-tog potciklusa, kod kojeg se postiže zadovoljenje uvjeta danog relacijom (2).

2.1.1. Primjer raspodjele opterećenja

Za primjer je promatran sistem s tri termoelektrane, jednom protočnom hidroelektranom i jednim pumpno-akumulacijskim postrojenjem. Karakteristike elektrana, podaci o akumulacijskim bazenima i konzumu uzeti su isti kao u primjerima prema Li.

Dovoljna su bila samo tri potciklusa da se odredi optimalna raspodjela opterećenja. Kako svaka hidroelektrana svojom raspodjelom utječe na raspodjelu opterećenja druge hidroelektrane, zanimljivo je usporediti raspodjelu opterećenja za sva tri iteracijska koraka (tabl. 1).

Uočljiva je razlika između raspodjele opterećenja u prvom potciklusu i raspodjele opterećenja u ostala dva potciklusa. Tome je razlog što u prvom potciklusu, od samog početka proračuna, nisu uključene sve hidoelektrane, u ovom primjeru pumpno-akumulacijsko postrojenje, pa protočna hidroelektrana preuzima na sebe veće opterećenje u nekim intervalima koje kasnije zadovoljava pumpno-akumulacijsko postrojenje. U drugom i trećem potciklusu postignuta je gotovo ista raspodjela opterećenja, što znači da se već kod drugog potciklusa bilo blizu optimalne raspodjele opterećenja među svim elektranama. To se može vidjeti i iz troškova koji su postignuti u sva tri potciklusa:

1. TR = 6 644,056 n.j.
2. TR = 6 640,84 n.j.
3. TR = 6 640,82 n.j.

Raspodjela opterećenja među svim elektranama koje su angažirane za zadovoljenje konzuma prikazana je u tablici 2. i na sl. 1.

Protočna hidroelektrana sa svojim malim akumulacijskim bazenom utjecala je na rad pumpno-akumulacijskog postrojenja. Njezina sposobnost da se u okviru svojih mogućnosti prilagodi dnevnom dijagramu opterećenja rezultirala je time da se smanjio optimalni volumen pumpno-akumulacijskog postrojenja, a time i njezina proizvodnja.

Tablica 1.

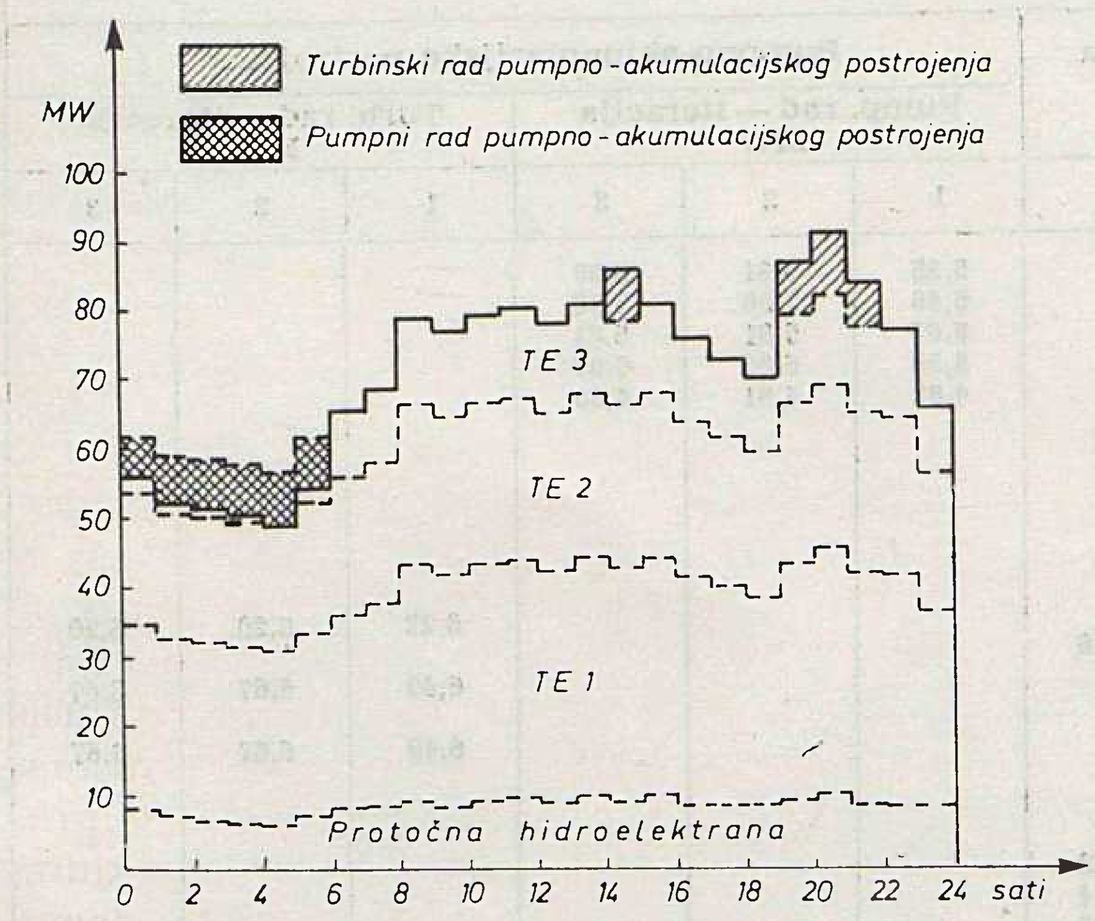
USPOREDBA RASPODJELE OPTEREĆENJA ZA PROTOČNU I PUMPNO-AKUMULACIJSKU HIDROELEKTRANU

Vrem. inter. h	Protočna hidroelektrana MW			Pumpno-akumulacijsko postrojenje MW					
	Iteracija			Turb. rad-iteracija			Pumpni rad-iteracija		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	8,88	8,51	8,44	5,57	5,89	5,87			
2	7,29	7,22	7,22	6,47	6,95	6,94			
3	6,79	6,89	6,69	7,21	7,22	7,22			
4	6,95	6,55	6,59	6,91	7,58	7,49			
5	5,90	6,21	6,27	7,13	7,77	7,77			
6	8,07	7,87	7,83	6,03	6,42	6,40			
7	8,88	9,47	8,98						
8	8,88	88'8	8,88						
9	8,88	88'8	9,55						
10	8,88	8,88	8,88						
11	8,88	9,68	9,76						
12	8,88	9,88	9,97						
13	8,88	9,06	9,14						
14	8,88	10,03	10,38						
15	10,81	9,63	9,52				6,62	7,08	7,07
16	8,88	10,30	10,38						
17	8,88	8,88	8,88						
18	8,88	8,88	8,88						
19	8,88	8,88	8,88						
20	11,23	9,93	9,80				6,89	7,40	7,40
21	12,89	11,14	10,93				7,97	8,69	8,73
22	10,00	9,03	8,97				6,08	6,42	6,40
23	8,88	8,88	8,88						
24	8,88	8,88	8,88						

Tablica 2.

RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU ELEKTRANAMA U SISTEMU TERMOELEKTRANA, PROTOČNE I PUMPNO-AKUMULACIJSKE HIDROELEKTRANE

Vrem. inter. h	Konzum MW	Prot. hidro. MW	Pumpno-akumulacijsko postrojenje MW		Termoelektrane MW		
			Turb. rad	Pump. rad	TE 1	TE 2	TE 3
1	56,0	8,4		5,9	26,2	18,7	8,5
2	52,0	7,2		6,9	25,4	18,2	8,1
3	51,0	6,9		7,2	25,2	18,1	8,0
4	50,0	6,6		7,5	25,0	18,0	7,9
5	49,0	6,3		7,8	24,8	17,9	7,8
6	54,0	7,8		7,4	25,8	18,5	8,3
7	65,0	8,9			27,4	19,5	9,2
8	68,0	8,9			28,9	20,1	10,5
9	79,0	9,6			33,7	23,2	12,5
10	77,0				33,1	22,8	12,2
11	79,5	9,8			33,8	23,3	12,6
12	80,0	10,0			34,0	23,4	12,7
13	78,0	9,1			33,4	23,0	12,4
14	81,0	10,4			34,2	23,5	12,8
15	86,0	9,5	7,1		33,7	23,2	12,5
16	81,0	10,4			34,2	23,5	12,8
17	26,0	8,9			32,6	22,5	12,0
18	73,0	8,9			31,2	21,7	11,2
19	70,0	8,9			29,8	20,9	10,5
20	87,0	9,8	7,4		33,9	23,3	12,6
21	91,0	10,9	8,7		34,6	23,8	13,0
22	84,0	9,0	6,4		33,4	23,0	12,3
23	77,0	8,9			33,1	22,8	12,2
24	66,0	8,9			27,9	19,7	9,5



Sl. 1. Primjer raspodjele opterećenja među termoelektranama u sistemu s protočnom i pumpno-akumulacijskom hidroelektranom

Optimalni volumen u ovakvom sistemu je

$$V_Q = 32{,}25 \quad \text{j.v.},$$

što je za 2,75 j. v. manje nego u sistemu kad su za zadovoljenje istog konzuma bile angažirane samo termoelektrane i pumpno-akumulacijsko postrojenje.

S druge strane, pumpno-akumulacijsko postrojenje utjecalo je na raspodjelu opterećenja u protočnoj elektrani na taj način što je ono preuzelo na sebe one intervale u kojima je potražnja maksimalna. Raspodjela opterećenja protočne hidroelek-

trane u odnosu prema raspodjeli opterećenja u elektroenergetskom sistemu s termoelektranama i jednom protočnom hidroelektranom (L2) sasvim je tazličita i po broju intervala gdje odstupa od konstantne vrijednosti, i po iznosu tih odstupanja.

2.2. Raspodjela opterećenja među elektranama u sistemu termoelektrana, protočne hidroelektrane, vršne (akumulacijske) i pumpno-akumulacijska potsrojenja

2.2.1. Vršna (akumulacijska) hidroelektrana u elektroenergetskom sistemu

U L1 postavljen je matematički model za određivanje optimalnog rada protočne i pumpno-akumulacijske hidroelektrane. Vršna hidroelektrana, koja svojim položajem u dnevnom dijagramu pripada posebnoj kategoriji hidroelektrana, može se poistovjetiti s pumpno-akumulacijskom hidroelektranom u turbinskom režimu rada.

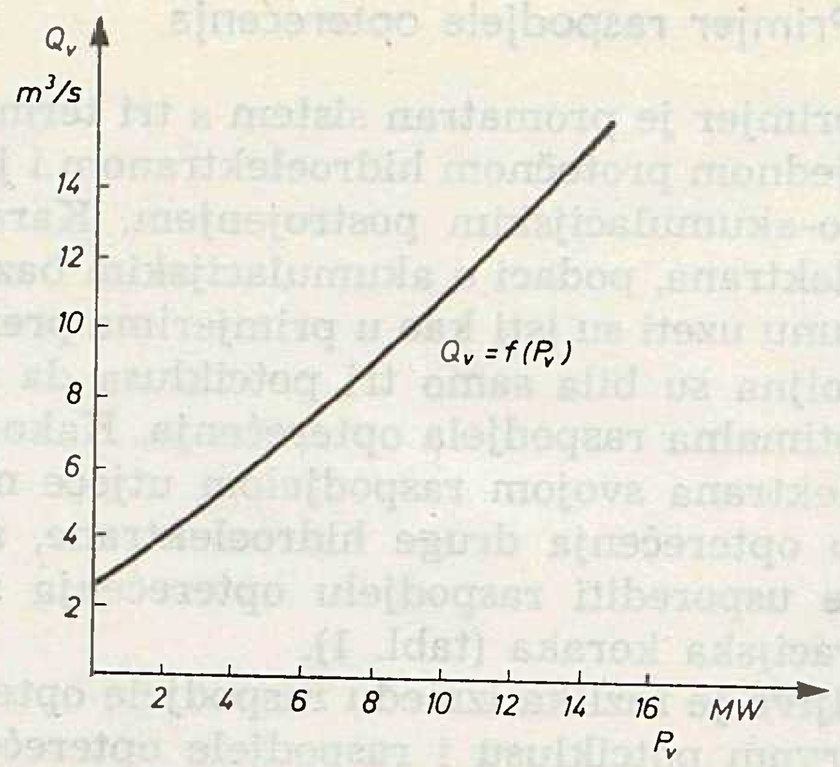
Određivanje raspodjele opterećenja za zadani volumen vode identično je određivanju raspodjele optrećenja pumpno-akumulacijskog postrojenja u turbinskom pogonu za volumen vode ostvaren u pumpnom pogonu. Optimum raspodjele postiže se kad se zadovolji uvjet dan relacijom (46.a, L1).

Karakteristika vršne hidroelektrane istog je reda kao i karakteristika pumpno-akumulacijskog postrojenja u turbinskom pogonu (sl. 2). Opći oblik dan je funkcijom $Q_V = f(P_V)$ i glasi:

$$Q_v = a_{v1} + a_{v2} \cdot P_v + a_{v3} \cdot P_v^2 \qquad (6)$$

Parametri funkcije $Q_V = f(P_V)$ koji su upotrijebljeni u ovom primjeru iznose:

$a_{V1} = 2{,}5000 \qquad a_{V2} = 0{,}7240 \qquad a_{V3} = 0{,}0131.$



Sl. 2. Ovisnost snage o protoku za vršnu hidroelektranu

6.2.2. Primjer raspodjele opterećenja

Elektroenergetski sistem sastoji se od tri termoelektrane, te po jednom protočnom, vršnom i pumpno-akumulacijskom hidroelektranom. Karakteristike elektrana, podaci o akumulacijskim bazenima protočne i pumpno-akumulacijske hidroelektrane, te konzum, isti su kao u svim dosadašnjim primjerima. Korisni volumen odnosno količina vode vršne hidroelektrane iznosi:

$V_{QV} = 50{,}0$ j. v.

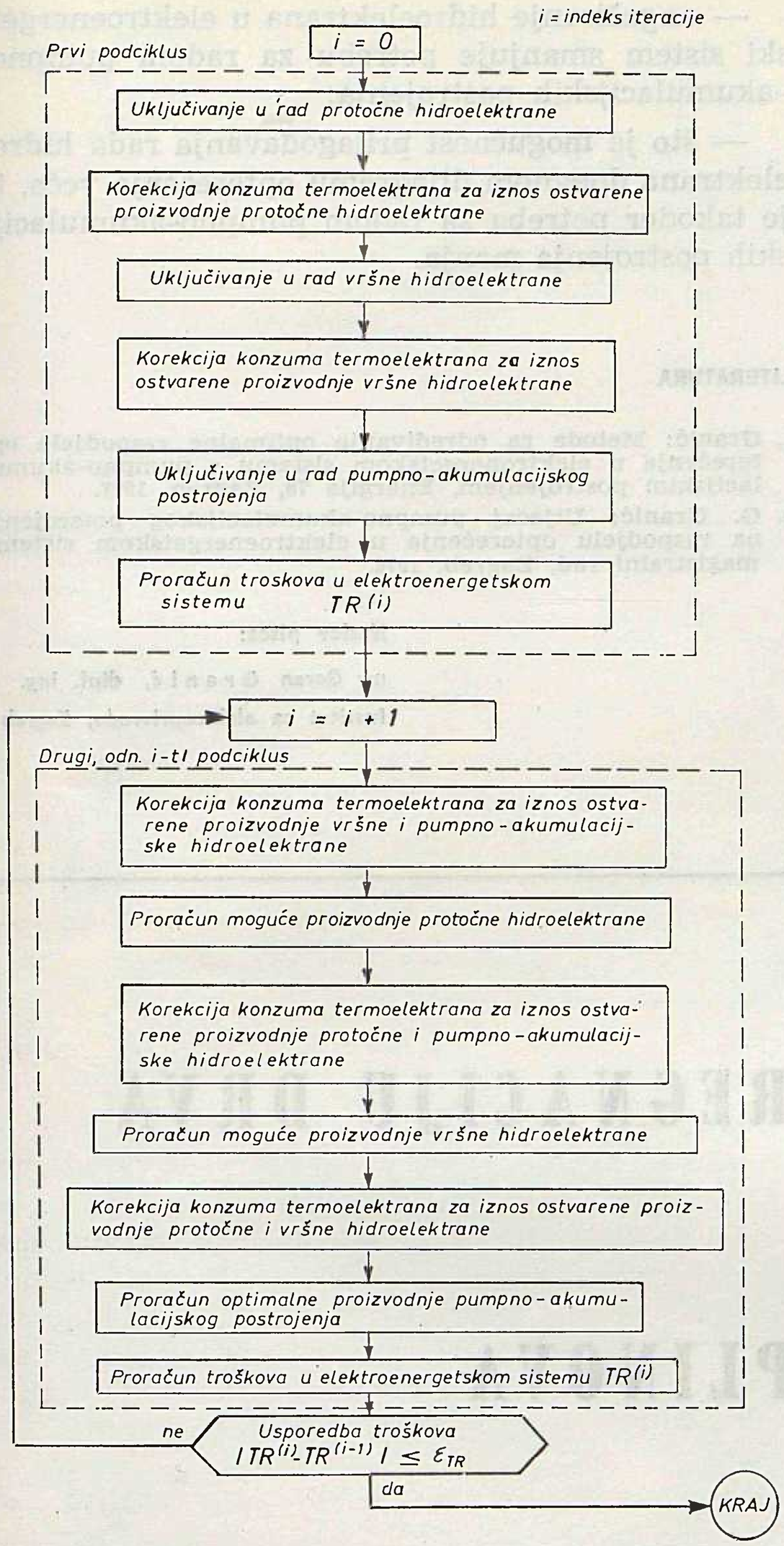
Konačna raspodjela opterećenja određena je nakon svega tri iteracijska koraka. Isto kao i kod primjera u prethodnom poglavlju, raspodjela opterećenja u posljednja dva koraka razlikuje se od one u prvom koraku (tabl. 3).

Razlog tome je što u prvom potciklusu od samog početka nisu uključene sve hidroelektrane, pa elektrane s manjim indeksom, tj. one koje se prije uključuju, preuzimaju na sebe veća opterećenja u onim vremenskim intervalima u kojima se javlja maksimalna potrošnja.

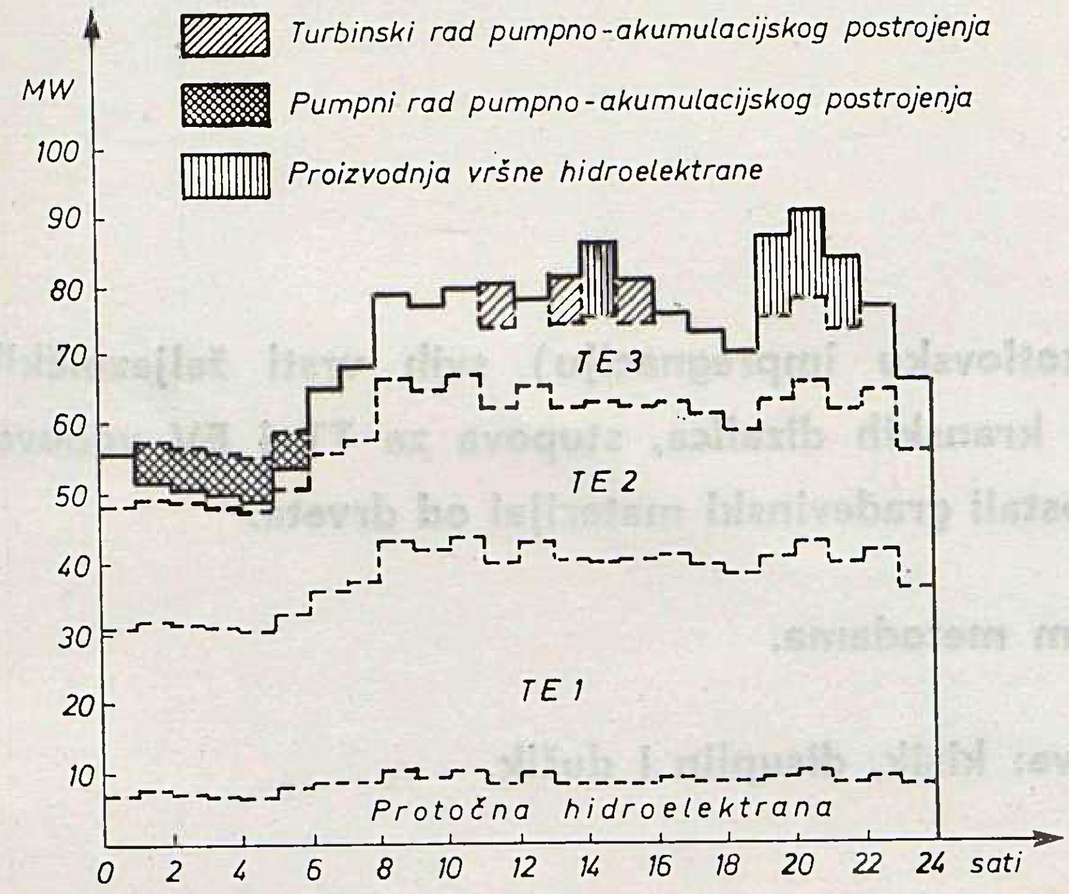
Tablica 3.

USPOREDBA RASPODJELE OPTEREĆENJA ZA PROTOČNU, VRŠNU I PUMPNO-AKUMULACIJSKU HIDROELEKTRANU

Vrem. inter. h	Protočna hidroelektrana iteracija MW			Vršna hidroelektrana iteracija MW			Pumpno-akumulacijsko postrojenje					
							Pump. rad — iteracija MW			Turb. rad — iteracija MW		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	8,88	7,00	6,96				5,25	5,31	5,30			
2	7,22	7,53	7,52				5,46	5,56	5,56			
3	6,79	7,19	7,20				5,67	5,81	5,81			
4	6,35	6,85	6,88				5,88	6,06	6,07			
5	5,90	6,51	6,55				4,82	4,81	4,80			
6	8,07	8,19	8,15									
7	8,88	8,88	8,88									
8	8,88	8,88	8,88									
9	9,97	10,69	10,68									
10	9,15	9,85	9,84									
11	10,18	10,90	10,89									
12	10,39	8,88	8,88									
13	9,66	10,27	10,26	11,00	11,07	11,16				6,22	6,20	6,20
14	10,81	8,88	8,88									
15	8,88	8,99	8,95							6,49	6,67	6,67
16	10,81	8,88	8,88									
17	8,88	9,43	9,43							6,49	6,67	6,67
18	8,88	8,88	8,88									
19	8,88	8,88	8,88									
20	8,88	9,23	9,23	11,42	11,49	11,48						
21	9,50	10,29	10,37	13,14	12,94	12,74						
22	8,88	8,88	8,88	10,15	10,22	10,36						
23	9,15	9,85	9,84									
24	8,88	8,88	8,88									



Sl. 3. Raspodjela opterećenja u sistemu termoelektrana, protočne, vršne i pumpno-akumulacijske hidroelektrane — BLOK-DIJAGRAM



Sl. 4. Primjer raspodjele opterećenja među termoelektranama u sistemu s protočnom, vršnom i pumpno-akumulacijskom hidroelektranom

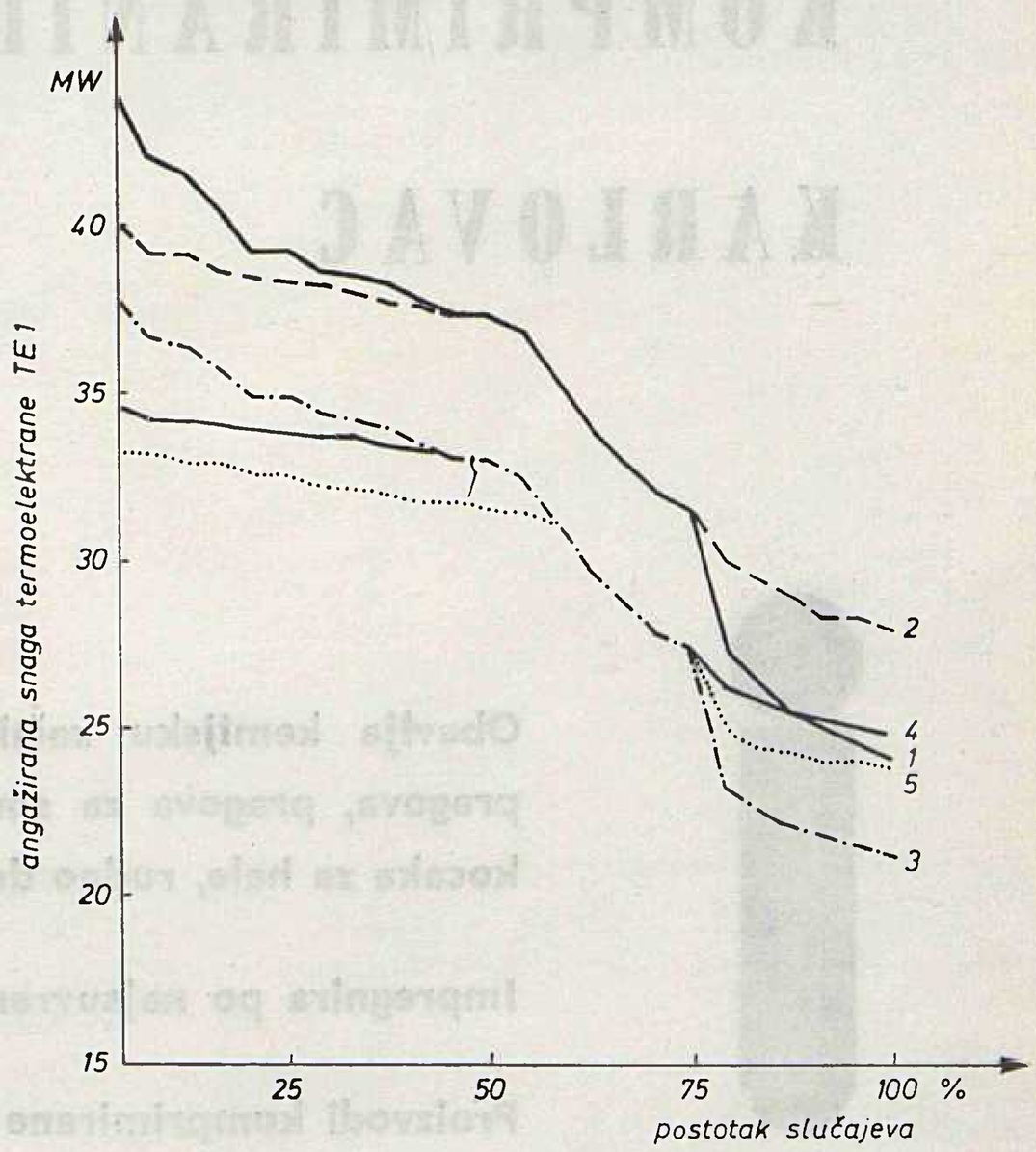
Tablica 4.

RASPODJELA OPTEREĆENJA MEĐU ELEKTRANAMA U SISTEMU TERMOELEKTRANA PROTOČNE, VRŠNE I PUMPNO-AKUMULACIJSKE HIDROELEKTRANE

Vrem. inter. h	onzum MW	Prot. hidro. MW	Vršna hidro. MW	Pumpno-aku: postrojenje MW		Termoelektrana MW		
				Turb. rad	Pump. rad	TE 1	TE 2	TE 3
1	56,0	7,0			5,3	24,1	17,5	7,4
2	52,0	7,5			5,6	24,5	17,7	7,6
3	51,0	7,2			5,8	24,3	17,6	7,5
4	50,0	6,9			6,1	24,1	17,5	7,4
5	79,0	6,6			4,8	23,9	17,4	7,5
6	54,0	8,2				24,9	18,0	7,8
7	65,0	8,9				27,4	19,5	9,2
8	68,0	8,9				28,9	20,3	10,0
9	79,0	10,7				33,2	22,9	12,3
10	77,0	9,8				32,6	22,6	12,0
11	79,5	10,9				33,3	23,0	12,3
12	80,0	8,9		6,2		31,6	21,9	11,4
13	78,0	10,3				32,9	22,7	12,1
14	81,0	8,9		6,7		31,8	22,1	11,6
15	86,0	8,9	11,2			32,0	22,2	11,7
16	81,0	8,9		6,7		31,8	22,1	11,6
17	76,0	9,4				32,3	22,4	11,8
18	73,0	8,9				31,2	21,7	11,2
19	70,0	8,9				29,8	20,9	10,5
20	87,0	9,2	11,5			32,2	22,3	11,5
21	91,0	10,4	12,7			33,0	22,8	12,2
22	84,0	8,9	10,4			31,5	21,9	11,4
23	77,0	9,8				32,6	22,6	12,0
24	66,0	8,9				27,9	19,7	9,5

Raspodjela opterećenja među svim elektranama koje su angažirane za zadovoljenje konzuma u elektroenergetskom sistemu prikazana je u tabl. 4 i na sl. 3.

Raspodjela opterećenja među hidroelektranama je takva da je u vremenskim intervalima maksimalnog opterećenja angažirana vršna hidroelektrana, a u intervalima s manjim opterećenjem, odnosno u onim koji slijede nakon maksimalnih, pumpno-akumulacijska hidroelektrana. Protočna hidroelektrana ima najmanju sposobnost prilago-



Sl. 5. Krivulje trajanja snaga termoelektrane TE 1 : 1 — Termoelektrana, 2 — Termoelektrana + pumpno-akumulacijskog postrojenja, 3 — Termoelektrana + protočna hidroelektrana, 4 — Termoelektrana + protočna + pumpno-akumul. postrojenja, 5 — Termoelektrana + protočna + vršno + pumpno-akumul.

đavanja dnevnom dijagramu opterećenja zbog veličine akumulacijskog bazena, pa iz tog razloga dolazi na treće mjesto u redoslijedu koji je određen prema zadovoljenju maksimalnog opterećenja.

Kako je vršna elektrana zadovoljila maksimalna opterećenja, smanjila se potreba za radom pumpno-akumulacijskog postrojenja, te je iznos optimalnog volumena, a prema tome i proizvodnje, manji nego u prethodnom primjeru:

$$V_{Qop} = 22.0 \text{ j. v.}$$

Isto tako smanjio se i broj vremenskih intervala u kojima je angažirano pumpno-akumulacijsko postrojenje u turbinskom režimu rada.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovi provedene analize proizlaze ovi zaključci:

— angažiranje hidroelektrana u elektroenergetski sistem smanjuje potrebu za radom pumpno-akumulacijskih postrojenja;

— što je mogućnost prilagođavanja rada hidroelektrana dnevnom dijagramu opterećenja veća, to je također potreba za radom pumpno-akumulacijskih postrojenja manja.

LITERATURA

1. Granić: Metode za određivanje optimalne raspodjele opterećenja u elektronergetskom sistemu s pumpno-akumulacijskim postrojenjem, Energija 78, Zagreb, 1977.
2. G. Granić: Utjecaj pumpno-akumulacijskog potsrojenja na raspodjelu opterećenja u elektroenergetskom sistemu magistralni rad, Zagreb, 1976.

Naslov pisca:

mr Goran Granić, dipl. ing.

Institut za elektroprivredu, Zagreb

PODUZEĆE ZA IMPREGNACIJU DRVA I PROIZVODNJU KOMPRIMIRANIH PLINOVA

KARLOVAC

Obavlja kemijsku zaštitu (kotlovsku impregnaciju) svih vrsti željezničkih pragova, pragova za smještaj kranskih dizalica, stupova za TT i EV vodove, kocaka za hale, rudno drvo i ostali građevinski materijal od drveta.

Impregnira po najsuvremenijim metodama.

Proizvodi komprimirane plinove: kisik, disuplin i dušik.

STANJE I TENDENCIJA U RAZVOJU DISTRIBUTIVNIH MREŽA

Nikola V a g i ć, Zagreb

Na osnovi pregleda podataka iz strane i domaće literature u radu su pokazane neke karakteristike postojećih distributivnih mreža i tendencije njihova daljnjeg razvoja.

DK 621.316

1. OPĆA OSNOVA MREŽE

I naša i strana iskustva pokazuju da se pri gradnji elektrodistributivnih mreža moraju poštivati činjenice (D — 1):

— da čovječanstvo danas ulaže više od jedne sedmine svoje cjelokupne djelatnosti da bi se opskrbilo potrebnom mehaničkom, toplinskom, kemijskom i valnom energijom,

— da tehnički napredak uvjetuje povećanje potrošnje energije i udjela energetske djelatnosti u ukupnoj djelatnosti čovjeka, te

— da udio električne energije u strukturi potrošnje energije, zahvaljujući njezinoj svestranoj primjeni, brzo raste i ima dobre izglede da uskoro postigne dominirajuću poziciju.

U konkretnim situacijama ovim elementima treba pridodati faktore koji odražavaju lokalne prilike (karakter konzuma, dostignuti nivo razvoja i dr.) imajući na umu kompleksnost međusobnih utjecaja svih tih faktora. Kako distributivni konzum čini na širem području raspršen velik broj malih potrošača napajanih iz mreže niskog napona (kućanstva i objekti javnih sadržaja u funkciji stanovanja) i manji broj u posebne zone koncentriranih većih potrošača napajanih iz mreže visokog napona (industrijski pogoni i objekti u funkciji rada), pri zasnivanju mreže koja će napajati takav konzum treba posebnu pažnju pokloniti karakteristikama i standardu potrošnje energije u kućanstvu, jer ta kategorija potrošača zbog svoje brojnosti i rasprostranjenosti obično presudno utječe na izbor osnovnih parametara rješenja mreže, pogotovu ako je na elektriku orijentirano grijanje prostorija.

2. ENERGETSKI NORMATIVI DISTRIBUTIVNOG KONZUMA

U poznatim Ballingovim podlogama za dimenzioniranje elemenata distributivne mreže (D — 2) definirani su standardi budućih elektroenergetskih potreba i vrste primjene električne energije u kućanstvu, kategorizirane su elektroenergetske potrebe ostalih distributivnih konzumenata široke potrošnje i valoriziran njihov utjecaj na dimenzioniranje distributivne mreže. Normativi instaliranih snaga, potrebe u snazi i potrošnji električne energije u kućanstvu po vrstama primjene električne energije dane su u tabl. 1, a normativi elektroenergetskih potreba ostalih konzumenata široke potrošnje, svedenih na kućanstvo, pokazani su u tabl. 2.

Tablica 1.

NORMATIVI INSTALIRANIH SNAGA (Pi), MAKSIMALNIH OPTEREĆENJA (Pv) I GODIŠNJE POTROŠNJE KUĆANSTVA (E)

Standard	1. vrsta			2. vrsta			3. vrsta		
	Pi/W/	Pv/W/	E/kWh/ /g/	Pi/W/	Pv/W/	E/kWh/ /g/	Pi/W/	Pv/W/	E/kWh/ /g/
Visoki A	21 300	9 900	8 000	13 300	6 600	3 300	5 800	3 300	1 300
Srednji B	13 300	6 600	5 600	8 140	4 400	2 600	3 300	2 200	1 000
Niski C	5 800	3 300	3 000	3 300	2 200	1 400	1 750	1 320	650
Početni P	Pi = 1 140 W i Pv = 900 W								

Tablica 2.

NORMATIVI ELEKTROENERGETSKIH POTREBA POTROŠAČA OSTALE ŠIROKE POTROŠNJE SVEDENE NA KUĆANSTVO

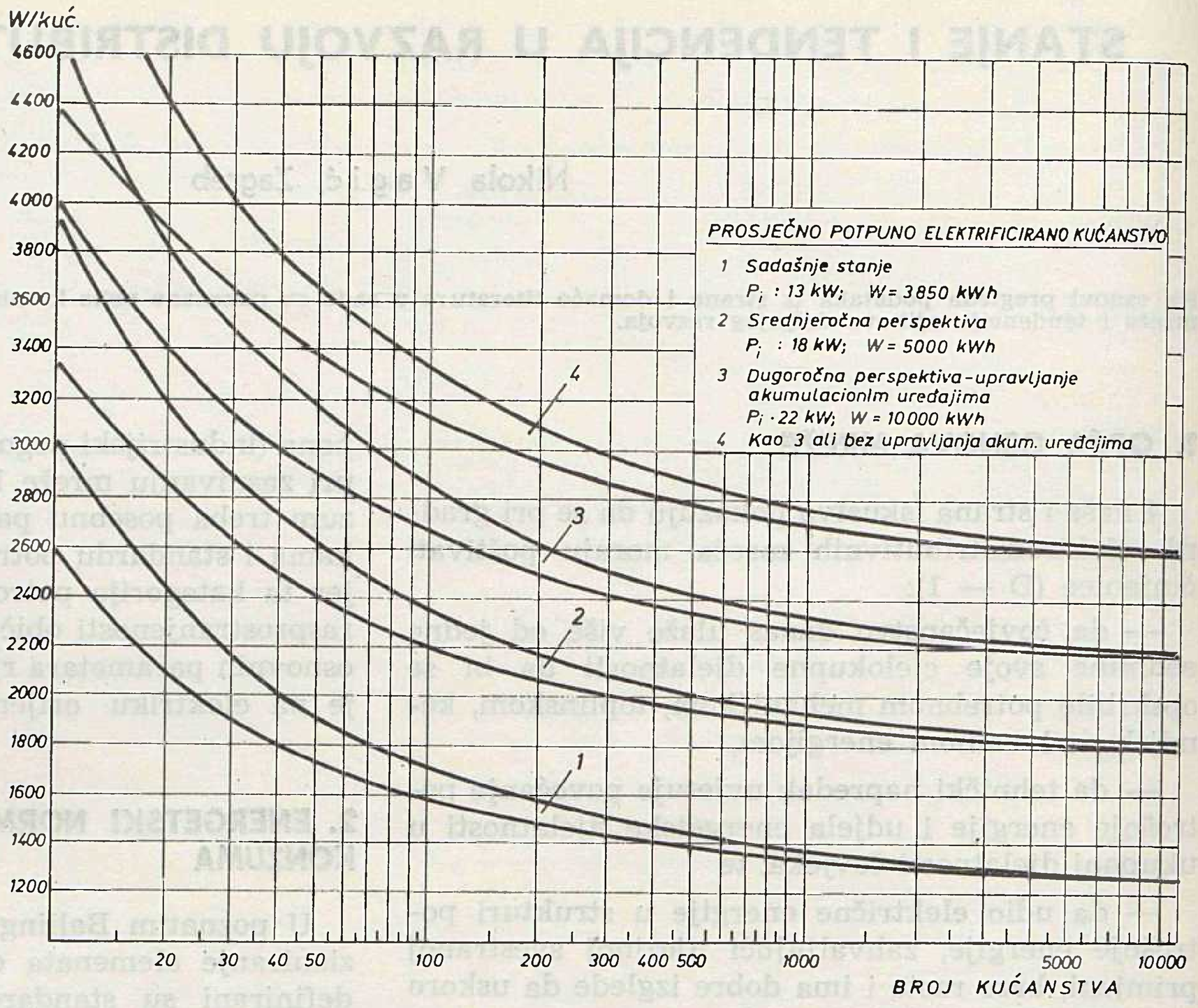
Kategorija	Potrošnja kWh/kuć. g.	Opterećenje W/kuć.	Udio opterećenja W/kuć.
Prva	2 200	1 000	600
Druga	1 000	500	250
Treća	500	250	125

Za praktičnu primjenu predloženih standarda Balling je dao detaljne upute i napomenu da se nije računalo s akumulacionim grijanjem prostorija.

Požar, Keglević i Balling su utvrdili (D — 3) da se u Jugoslaviji u osnovi može računati s dvjema klimatskim zonama i dvama normativima topline za grijanje stambenih prostora.

— I zona ima pretežno kontinentalnu klimu, a njezina domaćinstva trebaju toplinu od 40 000 do

Sl. 1. Elektroenergetske karakteristike prosječno potpuno elektrificiranog kućanstva u gradu Puli



51 000 k cal/g, m³ stambenog prostora (maksimum 28 — 30 k cal/sat i m³ stambenog prostora);

— II zona ima pretežno sredozemnu klimu, a njezina kućanstva trebaju toplinu od 22 000 do 28 000 k cal/g, m³ stambenog prostora (maksimum 19 — 22 k cal/sat i m³ stambenog prostora).

Ako je grijanje orijentirano na elektriku, autori predlažu da se ono računa:

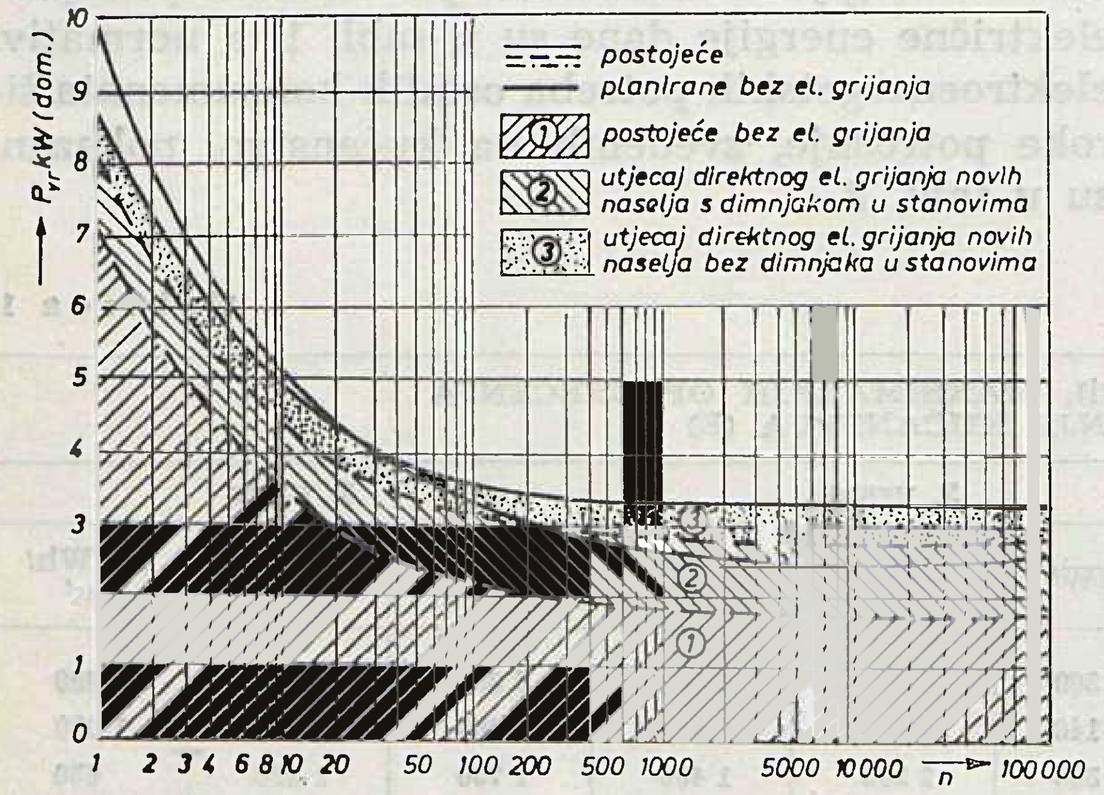
— za stambene prostore u zoni s pretežno kontinentskom klimom 47,2 — 60,0 kWh/g, m³ /0,48 — — 0,53 kWh/m³, dan/ i 32 — 35 W/m³ stana,

— za stambene prostore u zoni s pretežno sredozemnom klimom 25,5 — 37,7 kWh/g, m³ /0,33 — — 0,38 kWh/m³, dan/ i 22 — 25 W/m³ stana.

V. Štengl je analizom elektroenergetskih karakteristika kućanstva u Puli (D — 4) pokazao (1965. g.) da u Puli elektroenergetske potrebe kućanstva na nivou TS 10/0,4 kV treba računati:

— u neposrednoj budućnosti (oko 1970. g.) s 1 370 . . . 1 570 W/kuć.,
— u srednjoročnoj budućnosti (oko 1985. g.) 1 950 . . . 2 160 W/kuć.,
— u dugoročnoj perspektivi (oko 2000. g.) uz primjenu daljinske komande s 2 320 . . . 2 610 W/kuć.

Za praktičnu primjenu rezultata razrade Štengl je dao dijagrame pokazane na sl. 1.



Vrsta izgradnje	Način grijanja	P_l (kVA/ stanu)	P_v (kW/ stanu)	f_p	W (kWh/ stanu)	T (h/ god.)
društvena kolektivna	centralno parno	1,45	7	0,445	4,900	700
	samo dir. elektr.	15,8		0,45	4,500	640
individualna	mješovito: dir. elektr. + ostale peći	14,8	6,75	0,45	4,100	610
		14,4	6,45	0,45	3,000	465

P_l — instalirane snage; P_v — priključna vrijednost stana; f_p — faktor potražnje; W — specifična potrošnja; T — godišnje upotrebno vrijeme na priključku stana.

Sl. 2. Elektroenergetske karakteristike nove stambene izgradnje Splita

Neveščanin je analizirajući specifičnosti dosadašnjeg razvoja konzuma kućanstva nove stambene izgradnje u Splitu (D — 5) zaključio:

— da su splitska kućanstva u novim stambenim naseljima s centralnim i mješovitim grijanjem 1971. god. opterećivala TS 10/0,4 kV prosječno s 2 kW/stanu i da se računa da će to u perspektivi iznositi 3 kW/stanu;

— da bi u slučaju masovne primjene električnog termoakumulacionog (TA) grijanja trebalo računati s ukupnom instaliranom snagom TA peći u stanu do 10 kW i iskustvenim faktorom istovremenosti uključenja peći 0,6.

Za praktičnu primjenu Neveščanin je dao dijagrame pokazane na sl. 2.

Moser je (u D — 6) uspoređujući strukture instaliranih aparata u istoj skupini kućanstava u Tuzli u 1963. g. (D — 7) i 1973. g. (D — 6), iznio da je u promatranom 10 godišnjem razdoblju instalirana snaga električnih aparata u prosječnom kućanstvu u Tuzli povećana od 4 409 W/kuć. na 11 250 W/kuć. (stopa rasta 9,81%), a potrošnja električne energije je porasla od prosječnih 1 370 kWh/kuć. god. na 3001 kWh/kuć. god. (stopa rasta 8,6%/god.).

Tablica 3.

PREGLED PODATAKA O RAZVOJU STRUKTURE INSTALIRANIH APARATA U KUĆANSTVU TUZLE (STANJE 1963 — 1973. G.)

Aparat	frekv. 1963.	frekv. 1973.	rang 1963.	rang 1973.
1. rasvjeta	100 %	100 %	1	1
2. radio	86,3%	60,3%	2	9
3. glačalo	81,3%	89,7%	3	3
4. štednjak	42,3%	96,4%	4	2
5. kuhalo	40,7%	1,3%	5	13
6. bojler u kupaonici	30,7%	74,3%	6	6
7. televizor	18,4%	87,9%	7	4
8. usisivač	17,2%	68,7%	8	8
9. hladnjak	15,4%	81,1%	9	5
10. grijalica	12,4%	19,2%	10	10
11. stroj za pranje rublja	2,9%	69,5%	11	7
12. električni lonac	2,8%	0,7%	12	15
13. ostali aparati	0,3%	0,1%	13	17
14. stroj za pranje posuđa	0	0,8%	—	14
15. bojler u kuhinji	0	16,3%	—	11
16. Termoakumulac. peć	0	4,1%	—	12
17. motori	0	0,1%	—	16

Tablica 4.

NORMATIVI OPTEREĆENJA ELEKTRIČNE MREŽE KONZUMOM KUĆANSKIH APARATA U POTPUNO ELEKTRIFICIRANIM STANOVIMA (kW/stan)

Energetske vrste stanova*	Broj stanova (prosječna vel. 64m²)				
	1	10	100	1000	100 000
VE — stanovi	7,2	3,5	2,3	2,0	1,8
VE/EG — stanovi					
— I klima zona	15	10,9	9,7	9,3	9,18
— II klima zona	20	16,1	14,9	14,5	14,37
— III klima zona	24	19,9	18,7	18,7	18,20

VE — potpuno elektrificirani stanovi bez el. grijanja
VE/EG — potpuno elektrificirani stanovi s el. grijanjem

Promjena učestalosti pojave pojedinih aparata u razdoblju 1963/1973. g. u kućanstvu, vidljiva iz tablice 3, pokazuje da se kućanstva sve više opremaju aparatima većih instaliranih snaga i značajnije potrošnje energije, uključujući i termoakumulacijske peći (unatoč činjenici da tuzlanska regija obiluje krutim gorivima).

Računajući utjecaj primjene TA grijanja na investicije u distributivnu mrežu, suradnici Elektroinstituta »M. Vidmar« (prema D — 8) služili su se podacima danim u tabl. 4.

Eltsche je (u D — 9), analizirajući potrošnju električne energije u standardnom četveročlanom kućanstvu u Austriji utvrdio strukturu potrošnje električne energije u potpuno elektrificiranom kućanstvu bez električnog grijanja prostorija. Rezultati njegovih istraživanja dani su u tabl. 5. i 6.

Eltschke iznosi da se ekonomski ne mogu pravdati rješenja koja imaju više od dva energenta (energetska nosioca) i ona koja bi imala veći broj mreža. U daljnjoj perspektivi računa da će optimum trebati tražiti u varijantama 9 do 13.

Tablica 5.

PROSJEČNA POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE KUĆANSKIH APARATA POTPUNO ELEKTRIFICIRANOG STANDARDNOG ČETVEROČLANOG KUĆANSTVA U AUSTRIJI (BEZ ELEKTRIČNOG GRIJANJA PROSTORIJA)

Naziv aparata	kWh/g
Priprema hrane:	
— priprema ručka	350
— priprema večere i doručka	180
— pečenje	50
Priprema tople vode:	
— za kuhinjske potrebe	700
— za umivanje	560
— za kupanje	1 000
stroj za pranje rublja	900
stroj za sušenje rublja	900
glačalo i aparati za glačanje	200
stroj za pranje suđa	1 000
hladnjak	420
hladnjak za duboko smrzavanje	350
grijalica	700
rasvjeta	700
aparat za brijanje	0,5
aparat za otvaranje konzervi	0,3
univerzalni stroj za rezanje	2,3
mlinac za kavu	0,5
mikser	9
usisavač za prašinu	75
hauba	35
radio-aparat	7
televizor crno-bijeli	35
televizor u boji	140
Ukupno:	7 820

Tablica 6.

VARIJANTE MOGUĆE ORIJENTACIJE KUĆANSTVA NA KORIŠTENJE ODREĐENIH ENERGENATA (ENERGETSKI NOSIOCI) ZA PODMIRENJE ENERGETSKIH POTREBA U KUĆANSTVU

Varijanta rješenja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
— grijane prostorija	K	K	O	O	G	E	F	F	F	G	E	S	S
— priprema hrane	G	E	G	G	G	E	G	E	G	G	E	G	E
— priprema tople vode	G	E	O	G	G	E	F	F	S	S	S	S	S
— rasvjeta i sitni aparati	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
— broj energenata	3	2	3	3	2	1	3	3	4	3	2	3	2
— broj energenata sa instalacijom	2	1	2	2	2	1	3	2	3	2	1	2	1
— broj obnovljenih energenata	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1

K — kruti energent, O — tekući energent, G — plinoviti energent, E — elektrika, F — vrelovodni energent i S — Sunčeva energija

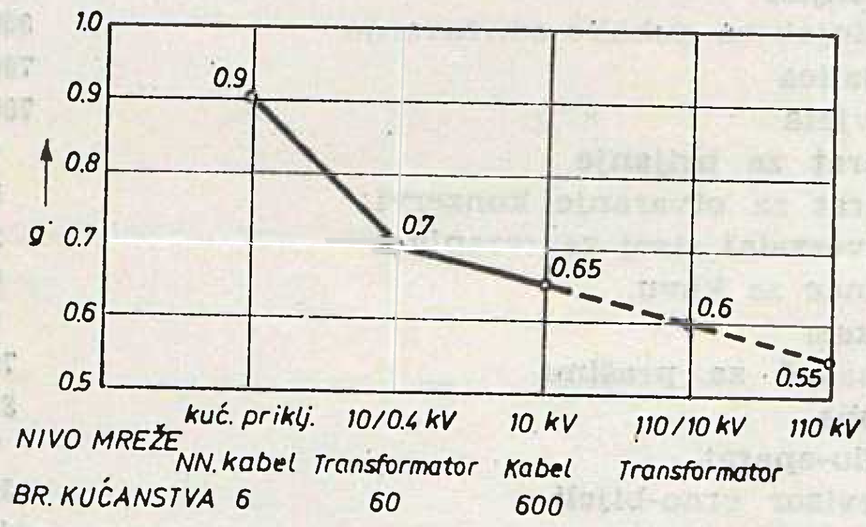
E. Müller je (prema D — 10) u procjeni elektroenergetskih potreba potrošača široke potrošnje u Münchenu računao s normativima danim u tabl. 7.

Niz njemačkih stručnjaka s područja planiranja izgradnje i eksploatacije distributivnih mreža navodi (D — 12) da se u potpuno elektrificiranom

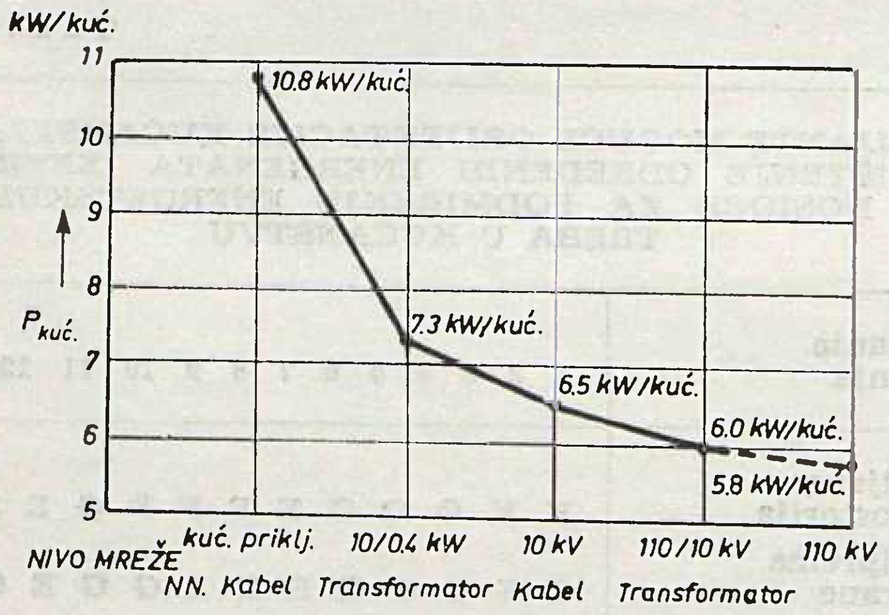
Tablica 7.

NORMATIVI PLANIRANIH MAKSIMALNIH ELEKTROENERGETSKIH POTREBA DISTRIBUTIVNIH POTROŠAČA ŠIROKE POTROŠNJE		
Vrsta potrošača	Maksimalni W/m² korisne površine	
	VE — potrošači	AE — potrošači
stanovi, kuće hoteli . . .	50	170
uredi, banke . .	120	190
trgovine, robne kuće . . .	150	250
pogoni, radionice . . .	80	80
škole, bolnice . . .	80	170
skladišta, velesajamske hale . . .	30	50
garaže, depoi . . .	50	30

VE — potpuno elektrificirani potrošači, ali bez el. grijanja;
AE — isto kao VE, ali s električnim grijanjenm.



Sl. 3. Faktor istovremenosti »g« pri potpuno elektrificiranom napajanju pretežno termoakumulacionog s upravljanjem (Instalirana snaga: termoakumulacija/direktno grijanje = 2,5).



Sl. 4. Udio jednog kućanstva u vršnom opterećenju pojedinih dijelova mreže pri potpuno elektrificiranom napajanju, pretežno termoakumulacionog s upravljanjem (Instalirana snaga: termoakumulacija/direktno grijanje = 2,5)

kućanstvu* od ukupne potrebne energije 80% troši na grijanje i da grijanje izaziva četverostruko do šesterostruko povećanje priključne snage u kućanstvu. Njihove računice pokazuju da im je električno grijanje unatoč visokim priključnim snagama (u prosjeku 8 do 12 kW/kuć.) povoljnije od ostalih oblika grijanja. Prema sl. 5. računa se da se minimalni troškovi električnog grijanja dobiju kombinacijom termoakumulacionog grijanja (6 kW/kuć.) i direktnog grijanja (5,4 kW/kuć.). Kod ovog odnosa računa se da je iskorištenje postrojenja za oko 2,7 puta povoljnije nego u slučaju primjene samog termoakumulacionog grijanja.

* Potpuno elektrificirana kućanstva svoje neregetske potrebe podmiruju koristeći se isključivo električnom energijom.

Udio jednog kućanstva u vršnom opterećenju pojedinih elemenata mreže i faktori istodobnosti pokazani su u primjeru instaliranih snaga termoakumulacionog i direktnog grijanja u omjeru jednakom 2,5 na sl. 3. i sl. 4.

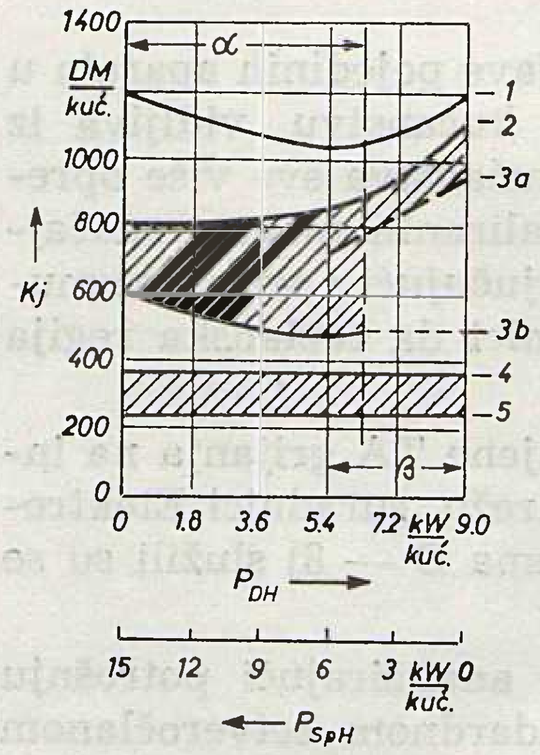
Uobičajene iznose instalirane snage grijanja u prosječnim stanovima pokazuje tabl. 8, dok su podaci o primjeru razdiobe instalirane snage električnog grijanja u stanu prikazani u tabl. 9.

Tablica 8.

PRIMJERI INSTALIRANIH SNAGA EL. GRIJANJA U STANOVIMA		
Vrsta stana	Površina (m²)	Inst. snaga grijanja (kW)
jednosobni	40 — 43	8 — 10,5
jednoiposobni	52 — 56	12 — 14
dvosobni	60 — 68	8 — 13
dvoiposobni	65 — 80	12 — 16,5
trosobni	73 — 91	13 — 15
troiposobni	87	16
četverosobni	96	14

Tablica 9.

PRIMJERI RAZDIOBE INSTALIRANIH SNAGA ELEKTRIČNOG GRIJANJA U STANU		
Vrsta prostorije	Snaga direktnog grijanja (kW)	Snaga termoakumulacionog grijanja (kW)
dnevne sobe	1,3	5 6
spavaće sobe	—	2
dječje sobe	—	3
kupaonice	3	—
kuhinje	—	2
hodnici	—	1



P_{DH} — direktno grijanje

P_{SpH} — TA grijanje

DM — njemačke marke

α — s isključivanjem P_{DH} u doba vršnih opterećenja

β — bez isključivanja P_{DH} u doba vršnih opterećenja

Sl. 5. Godišnji troškovi Kj potrošača i distributera za potpuno elektrificirano kućanstvo u ovisnosti o udjelu termoakumulacionog i direktnog grijanja; 1. god. troškovi el. en. i aparata za grijanje za potrošača kod potpune elektrifikacije; — 2. god. prihod distr. kod potpune elektrifikacije (≙ trošku potrošača); — 3a. ukupni godišnji troškovi distribucije kod potpune elektrifikacije bez prekida napajanja direktnog grijanja za vrijeme vršnog opterećenja; — 3b. ukupni godišnji troškovi distribucije kod potpune elektrifikacije s prekidom napajanja direktnog grijanja za vrijeme vršnog opterećenja; — 4. godišnji prihod distribucije od potpuno elektrificiranog kućanstva; — 5. ukupni godišnji troškovi distribucije kod napajanja potpuno elektrificiranog kućanstva.

Kod TA grijanja najpovoljniji oblik dijagrama opterećenja dobije se kad se kod većeg dijela aparata (70% snage grijanja) upravlja s vremenom punjenja, a kod manjeg dijela aparata 30% snage grijanja) s temperaturom jezgre.

Norvežani u Oslu griju oko 105 000 stanova direktnim električnim grijanjem. Specifična istalirana snaga grijanja kreće se oko 60 W/m² površine stana (u stanu od 80 m² priključna vrijednost grijanja iznosi 5 kW).

U Malmöu u naselju Skanör-Falsterbo imaju direktno električno grijanje s konvektorima. Primjer istalirane snage konvektora u jednom stanu pokazuje tabl. 10.

U naselju Isinger Feld kod Essena nekoliko je peterosobnih stanova pokusno opremljeno direktnim grijanjem; konvektorima snage 2 kW u kupaonici i stropnim grijačima u ostalim prostorijama ukupne snage 7,5 kW/stanu.

Za stropno grijanje primijenjena je grijaća folija Norsk ESWA, Oslo. Pojedini strujni krugovi grijanja su jednofazno priključeni.

Instalirane snage folija za grijanje po pojedinim prostorijama, udio potrošnje po pojedinim prostorijama u ukupnoj potrošnji kućanstva i upotrebno vrijeme grijanja po prostorijama u jednom peterosobnom stanu dan je u tabl. 11.

Vrijedno je spomenuti da se u većinu ovih rješenja ušlo nakon temeljitih priprema i provedenih računa, koji su pokazali da je perspektiva grijanja prostorija u električnom grijanju.

Švicarci (prema D — 7) računaju s prosječnim instaliranim snagama aparata za grijanje prostorija od 8 . . . 16 kW/stanu.

Amerikanci imaju propise po kojima je zabranjena primjena električnog grijanja prostorija u zgradama koje nisu građene po standardima o minimalnim gubicima topline.

Elektroenergetske potrebe pogona u izdvojenim industrijskim zonama, s obzirom na njihovu autonomiju, ne mogu značajnije utjecati na rješenje razdjelne mreže, pa ih ovdje nećemo ni tretirati. Ipak, može se spomenuti da se elektroenergetske potrebe industrijskih pogona mogu računati na temelju podataka koji se mogu naći u priručnicima ili npr. u Tilićevu elaboratu: »Istraživanje korelacije između razvoja pojedinih grana industrije i razvoja elektroprivrede« (Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1971. god.), odnosno u »Der WEM Elektroanlagenbau«, Heft 1/1969, Berlin.

Tablica 10.

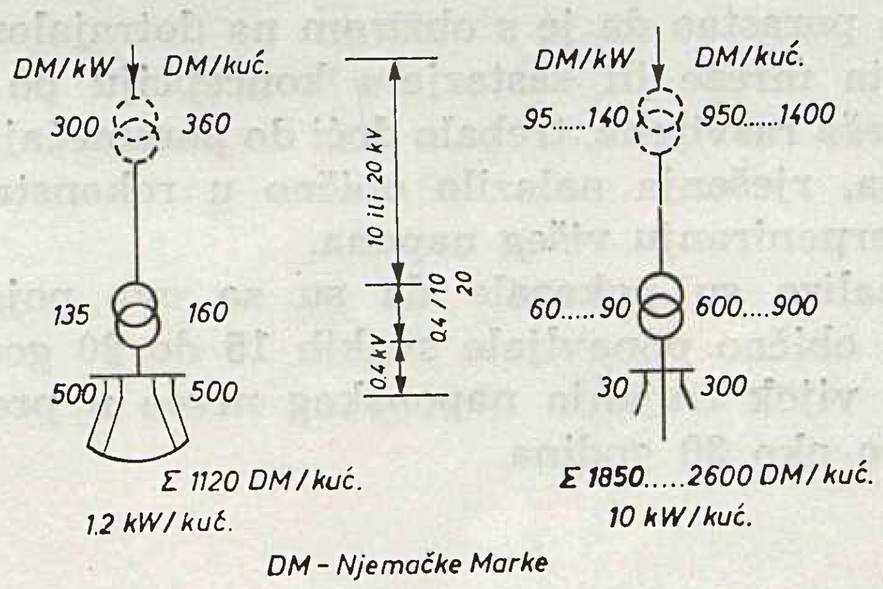
PRIMJERI INSTALIRANIH SNAGA KONVEKTORA U JEDNOM STANU

Vrsta prostorije	snaga
dnevna soba — 35 m²	1 × 1 kW i 2 × 0,8 kW
kuhinja —	2 × 0,6 kW
kupaonica —	1 × 0,25 kW
zahod —	1 × 0,25 kW
trijem —	1 × 0,6 kW
spavaća soba roditelja	1 × 1 kW
dječja soba	1 × 0,6 kW
hodnik	1 × 0,6 kW
priprema tople vode obavlja se u bojleru 400 l,	3 kW

Tablica 11.

OSNOVNI ENERGETSKI POKAZATELJI STANA STROPNIM GRIJAČIMA

Vrsta prostorije	Snaga stropnih grijača (kW)	Udio u ukup. potroš. (%)	Upotrebno vrijeme (h) (g.)
Dnevna soba	2,15	37,4	465
jedaća soba	0,68	6	240
spavaća soba	1,56	4,7	83
kuhinja	0,68	0,3	15
dječja soba	0,78	6,1	140
dječja soba	1,19	36,2	1255
hodnik	0,44	9,3	577
Ukupno	7,48	100	—
kupaonica	konvektor 2 kW	—	—
Sveukupno (88 m²)	9,48	—	—



Sl. 6 Specifični troškovi mreže: a) konvencionalna mreža, b) mreža za grijanje.

Tablica 12.

INDEKSI POVEĆANJA INVESTICIJA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI UVJETOVANI UVOĐENJEM ELEKTRIČNOG TA GRIJANJA PROSTORIJA (PREMA D-8 INDEKS 100 SE ODNOSI NA MREŽU BEZ ELEKTRIČNOG GRIJANJA)

Klimatska zona	I	II	III
kućne instalacije	108	108	109
mreža 0,4 kV	293	422	519
TS 10/0,4 kV	566	836	1037
Kabeli 10 kV	218	272	306
TS 110/10 kV	475	739	936
Ukupno (s pećima)	202	246	277

3. USPOREDBA INVESTICIONIH TROŠKOVA MREŽE

Podaci dani u tabl. 4 i tabl. 7. jasno pokazuju da električno grijanje prostorija iz temelja mijenja energetsku osnovu na kojoj se zasnivala i razvijala klasična distributivna mreža.

Ovo je evidentno čak i onda kad se ovakvi podaci uzmu samo informativno.

Iz sl. 6. (D — 12) i tabl. 12. (D — 8) vidi se da su troškovi izgradnje mreže za napajanje potpuno

elektrificiranih kućanstava s visokim specifičnim opterećenjima nekoliko puta veći od troškova izgradnje klasične mreže.

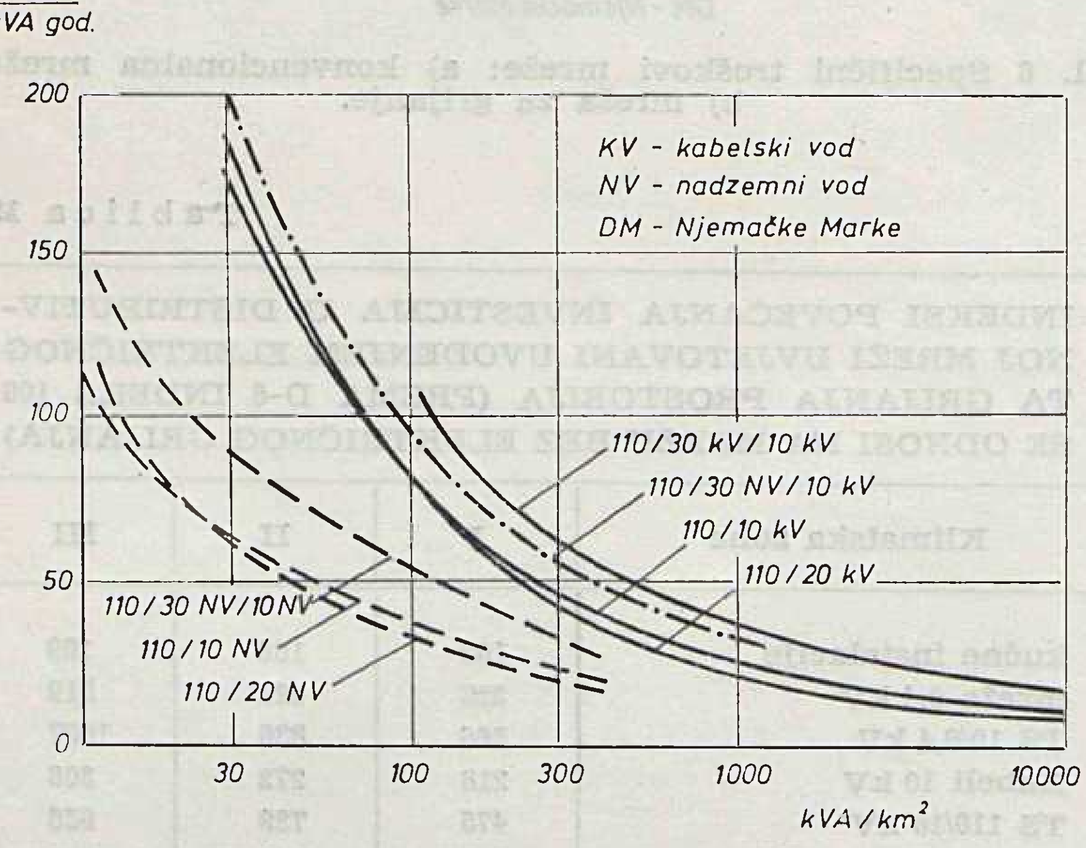
4. STANJE I TENDENCIJE RAZVOJA MREŽE

Kod snaga od oko 2 kW/kuć. u gradskim područjima s klasičnom blok-formom izgradnje grada, niskonaponska mreža je imala distributivnu funkciju, gradila se kao prstenasta, a u pogonu je radila kao radijalna ili kao zamkasta.

Istraživanja (D — 12) su pokazala da kod visokih specifičnih opterećenja u kućanstvu i većih površinskih gustoća stanovanja u rajonima sa slobodno stojećim stambenim objektima niskonaponska mreža gubi distributivni karakter. Ovdje distributivnu funkciju preuzima srednjonaponska mreža, a mreža niskog napona sve više postaje mreža priključnih vodova — tzv. priključna mreža. U ovakvim uvjetima gradnja prstenaste mreže i održavanje njezina pogona u zamci uvjetovalo bi neopravdane dodatne troškove (zaštita, dojava, ograničenje struja KS itd.). Srednjonaponske mreže se izvode i dalje kao prstenaste, a u pogonu ostaju otvorene.

U rješenju napajanja konzuma nekog područja osim karakteristika konzuma i veličine područja posebno je značajno pitanje izbora sistema napajanja. Ovdje je vrijedno istaknuti da i naša i strana iskustva pokazuju da se konzum sa stajališta mreže može nesmetano razvijati jedino u prilikama kada razvoj mreže prethodi ili prati razvoj elektroenergetskih potreba konzuma. Zato se, u prilikama kada je u mreži nekog područja konzum toliko porastao da je s obzirom na dotrajalost elemenata mreže ili zastarjelu koncepciju po kojoj je mreža razvijena, trebalo doći do poremećaja ovih odnosa, rješenja nalazilo obično u rekonstrukciji i superponiranju višeg napona.

Analize su pokazale da su se ove pojave u mreži obično ponavljale svakih 15 do 20 godina i da je vijek trajanja naponskog nivoa u prosjeku iznosio oko 30 godina.



Sl. 7. Specifični godišnji troškovi elektroenergetskog sistema u ovisnosti o površinskoj gustoći opterećenja (D-18)

Pri superponiranju višeg napona nije se smjelo ići na 3 do 4 puta veći napon od naslijeđenoga, jer bi rastući s kvadratom napona propusna moć novih vodova dosegla 9 do 16 puta veće iznose od onih koje su imali vodovi naslijeđenog napona.

Manjkavost takvog izbora odrazila bi se:

— u slabom iskorištenju novih vodova u početnoj fazi korištenja,
— u nesnošljivim posljedicama ispada novih vodova u početnoj fazi korištenja,
— u otežanom paralelnom korištenju vodova naslijeđenog napona, itd.

Da se izbjegnu spomenute neprilike, superponirana mreža je građena s naponom za $\sqrt{3}$ do 2 puta većim od najvišeg napona naslijeđene mreže. Time se propusna moć elemenata superponirane mreže u odnosu na elemente naslijeđene mreže povećala 3 do 4 puta.

Tako se u trećoj generaciji razvoja mreže javila dvostruka transformacija, u četvrtoj generaciji trostruka transformacija i tako redom. Kasnije se počelo prilaziti ispuštanju jednog ili više međunaponskih nivoa, primjeni standardizacije i ograničavanju dosega i propusne moći u mjesnim i područnim mrežama uz istovremeno traganje za optimalnim međunaponom.

Ovaj je proces otežan u prilikama gdje je mreža bila u dobrom stanju i gdje se unaprijed nije računalo s prijelazom vodova na pogon s višim naponom.

U novije vrijeme (D — 13 do D — 28) u svijetu sve više prevladava mišljenje da je u mreži opravdan samo jedan srednji napon u sistemu između 110 kV i 0,4 kV.

U Francuskoj se (D — 19) do godine 1961. unutrašnjost napajala dalekovodima 15 kV, a u gradovima su prevladavali napona 5,5 kV i 10 kV. Za udaljene predjele u unutrašnjosti s vrlo malom površinskom gustoćom opterećenja Francuzi su upotrebljavali vodove 30 do 35 kV i direktnu transformaciju na niski napon. Još godine 1960. bile su mreže 20 kV u Francuskoj skromne, obuhvaćale su jedva 4,3% svih razdjelnih mreža srednjeg napona. Poslije temeljitog proučavanja Francuzi su se godine 1961. odlučili za jedinstven srednji napon 20 kV i za postepen prijelaz s v i h gradskih mreža 4 — — 15 kV i svih mreža 30 — 35 kV u unutrašnjosti na napon 20 kV. Čak i novorazvijene kabelske mreže 15 kV u Francuskoj postepeno će prijeći na 20 kV.

Pariz se napajao iz sistema 220/60/12 kV. Uvođenjem sistema 220/20 kV stari naponi 60 i 12 kV će odumrijeti.

U SR Njemačkoj se (D — 18) mreže napona 30 — 35 kV u posljednje vrijeme smanjuju ne samo procentualno, nego također apsolutno. Istovremeno sve veći broj gradskih mreža i mreža u unutrašnosti prelazi s 15 kV ili rjeđe sa 6—10 kV na 20 kV. Do godine 1960. Nijemci su nadzemne vodove 5—6 kV preuredili na 10 kV. Kasnije su to napustili, jer su im računi (sl. 7) pokazali da je u svim

predjelima u unutrašnjosti i u manjim gradovima najekonomičnije stepenovanje 110/20/0,4 kV. U većim gradovima s postojećim naponom 20 kV (npr. Mannheimu, gdje su vodovi 20 kV napajali mrežu 4 kV) kabeli 20 kV postali su razdjelni i uvedena je direktna transformacija 20/0,4 kV. Zapadnonjemački stručnjaci preporučuju za budućnost samo dva razdjelna sistema: 110/20/0,4 kV za unutrašnjost te za manje i srednje velike gradove i 110/10/0,4 kV za veće gradove s već razvijenom kabelskom mrežom 10 kV. Kod većih površinskih gustoća opterećenja i kod kabelske izvedbe i prvi i drugi sistem donose Nijemcima u usporedbi sa sistemom 110/35/10/0,4 kV uštedu od 20 do 40%, čime oni opravdavaju postepeno napuštanje mreže s međunaponima. Nove kabelske razdjelne mreže sistema 110/20/0,4 kV također su nešto jeftinije od razdjelnih mreža sistema 110/10/0,4 kV. Ekonomska prednost prvog sistema, međutim, nije tolika da bi Nijemcima opravdala prijelaz postojećih mreža 10 kV na 20 kV.

U Austriji su bile slične prilike (D — 25). U Beču su razvijali sistem 110/28/5 kV, a u novije vrijeme uvode direktnu transformaciju 110/10 kV. Na periferiji i svuda gdje je to moguće uvode 110/20 kV. Austrijanci će stanice 28/5 kV postepeno zamijeniti stanicama 110/10 kV i 110/20 kV.

U Njemačkoj DR (D — 24) su mreže 20 kV veoma raširene u unutrašnjosti i u mnogim gradovima. U Istočnom Berlinu prevladava razdjelni sistem 110/30/6 kV. Njega napaja niz elektrana priključenih na nivou 30 kV. Unatoč svemu ovom Berlinčani napuštaju sistem 110/30/6 kV, gradeći nove stanice 110/10 kV.

U Poljskoj imaju u većini gradova i u unutrašnjosti jedinstven srednji napon 15 kV s transformacijom 110/15 kV. Oni proučavaju prijelaz s 15 kV na 20 kV.

U Italiji u nekim predjelima dominira napon 15 kV, a u drugim novi napon 20 kV. Milano i Torino dobivaju energiju preko transformacije 220/20 kV.

U ČSSR-u su se (D — 20) na osnovi opsežnih studija odlučili za politiku uvođenja razdjelnog sistema 110/10/0,4 kV u centru svih većih gradova i razdjelnog sistema 110/20/0,4 kV (Čehoslovaci imaju nazivni napon 22 (kV) na periferiji većih gradova, u manjim gradovima i u unutrašnjosti.

U SAD je (D — 14) do drugoga svjetskog rata u unutrašnjosti prevladavao srednji napon 12,5 kV. Od 1948. povećavaju napon nadzemnih vodova na 20,8 — 24,9 kV. Američani smatraju da napon reda 20 kV ima i u gradovima najviše perspektive.

U SSSR-u se ranije na mreže 20 kW nailazilo uglavnom u Litvi. Tamo su izračunali (D — 14, 15 16 i 17) da im je sistem 110/20/0,4 kV u usporedbi sa sistemom 110/35/10/0,4 kV povoljniji za oko 20%. Rezultati usporedbe sistema 110-20-0,4 kV i sistemima 110-6-0,4 kV sa sistemom 110-10-0,4 kV dani su u tabl. 13.

U drugim predjelima SSSR-a računaju da bi im prijelaz na sistem 110/20/0,4 kV donio 35 do 40% uštede i da oklijevanje pri uvođenju napona 20 kV donosi nacionalnoj privredi veliku štetu.

Tablica 13.

REZULTATI RAČUNA OPTIMIZACIJE SISTEMA NAPAJANJA KONZUMA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM RAČUNAJUĆI TROŠKOVE ZA SISTEM 110-10 kV SA 100% (D-14)

Gustoće opterećenja (MW/km²)	1,9		3,8		7,5	
Sistem napona (kV)	110-6	110-20	110-6	110-20	110-6	110-20
Radijus napajanja (km)	Inv. troškovi i troškovi gubitaka (%)					
1	119	94	127	88	139	81
2	128	88	134	83	140	74
3	150	82	157	74	—	67

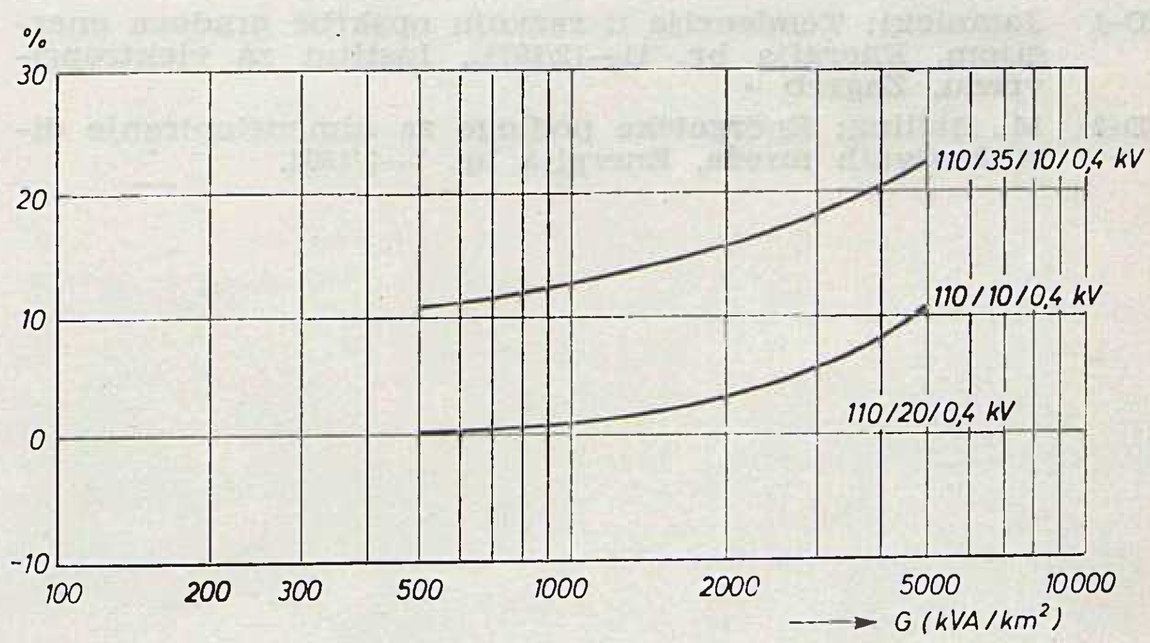
Sovjeti su u cjelini dobili slične rezultate, u osnovi jedinstvene i podudarne s rezultatima skoro cijelog svijeta: u području srednjih napona najperspektivniji je napon 20 kV. Smatraju da je za perspektivu preporučljivo više osnovnih sistema distribucije električne energije:

1. 110/10/0,4 kV za niz većih gradova s već razvijenom kabelskom mrežom 110 kV i u nekim predjelima s vrlo gustim stanicama 110 kV,
2. 110/20/0,4 kV većinu gradova i za unutrašnjost uz postepeno odumiranje kabelskih mreža 6—10 kV,
3. 110/35/10/0,4 kV u vezi sa 110/35/0,4 kV u predjelima s vrlo malom površinskom gustoćom opterećenja (0,5 — 5 kVA/km²).

Do sličnih zaključaka se dolazi i u nas. Za naše prilike bi se moglo računati s odnosima pokazanim na sl. 8.

Rezultati provedenih istraživanja (D—13 i D—21) pokazali su da je razvoj mreže u Sloveniji opravdano orijentiran na sistem 110/10/0,4 kV u Ljubljani i 110/20/0,4 kV na ostalom području Slovenije.

Rezultati razrada rješenja mreže na nizu područja u Hrvatskoj D—26) pokazali su da su rješenja po sistemu 110/20/0,4, kV u usporedbi sa sistemom



Sl. 8. Prikaz podobnosti sistema 110/20/0,4 kV u *kabelskoj izvedbi* u odnosu na sisteme 110/35/10/0,4 kV i 110/10/0,4 kV pri raznim gustoćama opterećenja (D-21)

110/35/10/0,4 kV znatno jeftinija i da razvoj distributive mreže u Hrvatskoj treba orijentirati na sistem 110/20/0,4 kV.

U Bosni i Hercegovini u prijelazu na tronaponsku distribuciju prednjači »Elektro Banja Luka«. Oni provode program razvoja elektrodistributivnih postrojenja zasnovan na sistemu 110/10/0,4 kV za gradske kabelske mreže i 110/20/0,4 kV za vangradske nadzemne mreže (D—27).

U Srbiji u prijelazu na tronaponsku distribuciju prednjači »Elektrovojvodina«. Do sada su se (D—26 i D—27) u razvoju mreže na sistem 110/20/0,4 kV orijentirali Subotičani i Somborci, a vjerojatno će ovim putem uskoro krenuti i drugi.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovi iznesenog može se zaključiti:

I. Da električno grijanje izaziva višestruko povećanje normativa elektroenergetskih potreba u kućanstvu i u objektima pratećih sadržaja i time, u odnosu na klasične normative, višestruko povećava troškove gradnje mreže. Unatoč tim činjenicama grijanje prostorije i u svijetu i kod nas sve se više orijentira na elektriku.

II. Da kod visokih specifičnih elektroenergetskih potreba potpuno elektrificiranih kućanstava i većih površinskih gustoća stanovanja u slobodnostojećim objektima niskonaponska mreža gubi distributivni karakter i da klasičnu prstenastu formu mreže (u radu uzamčenu ili radijalnu) nadomješta tzv. priključna mreža.

III. Da se u sistemu elektroenergetskog napajanja daje prednost tronaponskom sistemu:

— a) u gradovima s razvijenom novijom kabelskom mrežom 10 kV u varijanti 110/10/0,4 kV,

— b) u gradovima gdje kabelska mreža 10 kV nije razvijena u pokrajinama u varijanti 110/20/0,4 kV,

— c) u predjelima s malim gustoćama opterećenja i koncentriranim teretima u varijanti 110/35/0,4 kV.

LITERATURA

D-1 Jamnicki: Tendencije u razvoju opskrbe gradova energijom, Energija br. 11—12/1971., Institut za elektroprivredu, Zagreb

D-2 M. Balling: Energetske podloge za dimenzioniranje distributivnih mreža, Energija br. 7—8/1962.

D-3 Požar, Keglević, Balling: Potrebna toplina i el. energija za grijanje prostorija u nekim gradovima Jugoslavije Energija, br. 7—8/1960. g.

D-4 Štengl: Analiza elektroenergetskih karakteristika kućanstva u gradu Puli,Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1970.

D-5 Nevešćanin: Praktični rezultati i neke specifičnosti dosadašnjeg razvoja konzuma kućanstva nove stambene izgradnje, Energija br. 11—12/1972., Institut za elektroprivredu, Zagreb

D-6 Moser: Analiza strukture instaliranih kućanskih aparata u domaćinstvu i mogućnosti štednje električne energije promjenom navika korisnika kućanskih aparata, Energija br. 9—10/1974., Institut za elektroprivredu, Zagreb

D-7 Štengl i Borojević: Neke mogućnosti za analizu energetskih karakteristika kućanstva, Energija br. 7—8/1965. Institut za elektroprivredu, Zagreb

D-8 S. Sajovec, M. Veber: Problemi šireg uvođenja električnog termoakumulacionog grijanja u urbaniziranim naseljima i u elektroenergetskom sistemu. Referat C-1/1 — Peto savetovanje o električnom grejanju prostorija, Mataruška Banja, 11—12/XII 1975.

D-9 R. Eltschke: Die Definiton des Energieverbrauches einer Normalfamilie, Elektrizitätswirtschaft, H. 13/1976.

D-10 E. Müller: Überlegungen zur Entwicklung des elektrischen Leitungsbedorfs und Lastdichteverteilung in grosstadtischen Gebieten
Elektrizitötswirschaft, H. 22, 1975.

D-11 Elektrische Raumheinzung, Schweizerische Kommission für Elektrowärme, SKEW, 1973.

D-12 VDEW: Aktivierung und Planung von Netzen für alleelektrische Versorgung, VWEW, Frankfurt/Main, 1970.

D-13 Prof. Dr M. Plaper, dipl. ing.: Da li je razdioba električne energije po sistemu 110-35-10-0,4 kV za nas još rentabilna?
Elektrotehnički vesnik, br. 4—5/1965—66.

D-14 J. M. Červonenkis i L. M. Finger: Ob optimalnoj sisteme naprjaženii dlja gorodskih i selskih elektrosetei, Električestvo, Moskva, 1965, br. 7.

D-15 I. S. Bessmertnii: Primenenie naprjaženii 6-10-20 kV v gorodskih električeskih setjah,
Električestvo, Moskva, 1965, br. 7.

D-16 A. G. Zaharin i N. S. Kanakin: O vibore naprjaženii selskih raspredelitelnih električeskih setei i primenenii naprjaženija 20 kV, Električestvo, Moskva, 1966, br. 1.

D-17 A. P. Koršunov: Perspektivnaja sistema naprjaženija dlja elektrosnabženija selskih raionov,
Električestvo, Moskva, 1966, br. 1.

D-18 F. Wienken, H. Dorsch u. W. Bückner: Betrachtungen zur Wahl der wirtschaftlichen Spannungen in Stromversorgungsnetzen,
Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen, 1962.

D-19 R. Pelissier et R. Robert: La normalisation à 20 kV des reseaux à moyenne tension en France,
Bull. SFE, Paris, 1963.

D-20 B. Pavlovsky, K.: K perspektivnium vyvoji elektrickych siti našich mest, Energetika, Praga, 1963.

D-21 Izbira napetostnih stopenj za razdelavanje električne energije, Elektroinštitut, Ljubljana, Ref. 354, 1967.

D-22 Niz članaka i diskusija.
Elektrizitätswirtschaft, br. 13, 16 i 19/1960. i 2/1965., ETZ, 22/1961.

D-23 V. D. Lordkiponidze: Vibor naprjaženij v gorodskih setjah s učetom dinamiki rosta nagruzek,
Električeskie stancil, br. 3/1971.

D-24 Boch: Rekonstruktion und zukünftige Gestaltung des Berliner Verteilungsnetzes, Energietechnik, 7/1964.

D-25 Werner: Des Ausbau der Wiener Versorgungsnetze, E und M, 17/1963.

D-26 Zaključci studija o uvođenju 20 kV u razdjelne mreže »Elektroprimorja«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1974.

D-27 Damjanović: Tehničko-ekonomski aspekti prelaska na 20 kV napon, Elektrodistribucija BiH, br. 24/1973.

D-28 Referati III sekcije, podgrupa distributivne mreže, XII Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Budva, 1975.

Naslov pisca:

Nikola Vagić, dipl. ing.

Elektroprojekt-Zagreb

ISKUSTVA, ZNAČENJE I PROBLEM OGRANIČENJA SNAGE KRATKOG SPOJA DISTRIBUTIVNIH MREŽA U UVJETIMA STALNOG PORASTA KONZUMA I PRIMJENE DIREKTNE TRANSFORMACIJE 110/10 i 110/20 kV

Josip Neveščanin, Split

Iznose se neka dosadašnja iskustva i praktički podaci o značenju i tendenciji razvoja snage kratkog spoja distributivnih mreža u uvjetima stalnog porasta konzuma i primjene direktne transformacije 110/10 i 110/20 kV. Također se predlažu mjere potrebne da se svladaju očekivane povećane snage kratkog spoja.

DK 621.3.01

UVOD

Kratki spoj, kao što je poznato, predstavlja općenito jedno od najneugodnijih pogonskih stanja jer izaziva velika dinamička i termička opterećenja svih dijelova elektroenergetskih postrojenja i vodova zahvaćenih pojavom kratkog spoja. Taj se problem kod distributivnih električnih mreža dodatno komplicira stalnim porastom snage kratkog spoja, posebno u srednjonaponskim distributivnim mrežama kojeg uvjetuje uglavnom ovo:

— stalan porast broja i veličine tipskih distributivnih transformatora kao posljedice stalnog porasta distributivnog konzuma;

— stalan porast snage kratkog spoja na pragu prijenosne mreže napona 110 kV.

U zadnje vrijeme problem kratkog spoja, posebno u srednjonaponskim distributivnim mrežama, potencira i najnovija orijentacija na primjenu direktne transformacije 110/10 i 110/20 kV. Nadalje, tome pridonosi izgradnja prijenosnih TS 220/110 kV u pravilu velikih instaliranih snaga od npr. 4×150 MVA, a relativno malih vrijednosti napona kratkog spoja transformatora koji obično iznosi oko 10% uz paralelni rad 110 kV vodova. Važno je istaknuti da su se slični problemi javljali i u inozemstvu i da se također rješavaju na više načina, npr:

— primjenom odgovarajućih mjera za ograničenje snage kratkog spoja u prijenosnim i distributivnim mrežama;

— planiranjem i projektiranjem novih postrojenja i vodova u pravilu s većom termičkom i dinamičkom čvrstoćom s obzirom na kriterij kratkog spoja;

— ugradnjom distributivnih transformatora s odgovarajućim većim iznosima napona kratkog spoja.

Iz navedenih razloga u okviru ovih izlaganja posebno su obrađena ova tri osnovna praktična pitanja vezana za problem razvoja i ograničenja snage kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama kod nas:

— neka dosadašnja iskustva i značenje kratkog spoja u distributivnim mrežama;

— tendencija daljnjeg razvoja snage kratkog spoja distributivnih mreža u uvjetima stalnog porasta konzuma i primjene direktne transformacije 110/10 i 110/20 kV;

— nove tipske vrijednosti i problem ograničenja snage kratkog spoja.

1. NEKA DOSADAŠNJA ISKUSTVA I ZNAČENJE KRATKOG SPOJA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Opći porast potrošnje električne energije, kao što dosadašnja iskustva pokazuju, prati, u pravilu, porast snage kratkog spoja u distributivnim mrežama, posebno u srednjonaponskim mrežama napona 10, 20 i 35 kV, čije tehničkoekonomsko i elektroenergetsko značenje u okviru elektroenergetskog sistema ilustriraju slijedeći podaci:

Na srednjonaponske mreže otpada oko 20% ukupnih troškova elektroenergetskog sistema i oko 30% troškova distributivnih mreža s tzv. direktnom transformacijom 110/10 (20)/0,4 kV, a čak preko 40% troškova distributivnih mreža s klasičnom transformacijom 110/35/10/0,4 kV;

U uvjetima nove urbanizacije mreže niskog napona sve više gube distributivni karakter na račun srednjonaponskih mreža.

U ovakvim uvjetima rada i razvoja distributivnih mreža stalno povećanje snage kratkog spoja u srednjonaponskim mrežama dobiva posebno tehničko-ekonomsko i praktičko značenje i kod nas slično kao što je to znatno prije uslijedili u nekim ekonomski razvijenim zemljama.

U vezi s dosadašnjim iskustvima o porastu i stanju snaga kratkog spoja u prijenosnim i distributivnim mrežama u nas može se općenito reći ovo:

Prvi proračuni kratkog spoja u prijenosnoj mreži počeli su se u nas provoditi 1956. godine neposredno prije povezivanja postrojenja i vodova 110 kV u cijeloviti elektroenergetki sistem Jugoslavije čiji su pojedini dijelovi već bili u pogonu. Proračuni su se temeljili na konfiguraciji mreža u neposrednoj budućnosti iz kojih razloga dobiveni iznosi snaga kratkog spoja, koja je npr. u SR Hrvatskoj tada iznosila na 110 kV svega 891 MVA (TS 110 kV »RAKITJE« ZAGREB) nisu mogli poslužiti za dugoročno planiranje i projektiranje, već samo za uredno vođenje pogona;

Prema nekim podacima prvi parcijalni proračuni kratkog spoja u distributivnim mrežama obavljeni su još 1953. godine u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu za potrebe planiranja distributivnih mreža, koji su se nakon prvih iskustava i rada cjelovitog elektroenergetskog sistema Jugoslavije iza 1960. godine počeli provoditi i u okviru većih distributivnih poduzeća. Tako su npr. prema prvom proračunu snaga kratkog spoja koji je izvršen još 1961/62. godine bili dobiveni ovi najviši iznosi snaga kratkog spoja:

na 35 kV: 350 MWA
na 10 kV: 100 MWA.

Iz navedenih razloga JNK CIGRE, oslanjajući se na neka inozemna iskustva i propise posebno VDE, svojevremeno donosi prvu preporuku o ograničenju snaga kratkog spoja u prijenosnoj i distributivnoj mreži Jugoslavije na optimalne tipske vrijednosti koje su navedene u tablici 1.

Danas već najveća snaga kratkog spoja na 110 kV, npr. u SR Hrvatskoj, iznosi 5 472 MVA (MRACLIN) čemu odgovara ukupno povećanje snage kratkog spoja na pragu prijenosne mreže u proteklih 20 godina za preko 6 puta ili prema raspoloživim podacima u postojećim TS 110/35 kV Splita u odnosu prema stanju sklopki 110 i 35 kV, što je navedeno u tablici 2.

Najveći iznos snage kratkog spoja u distributivnoj mreži npr. u Splitu danas iznosi na 35 kV 543,3 MVA a na 10 kV 231,6 MWA čemu odgovara ukupno povećanje oko 1,5 puta ili po pojedinim postojećim TS 35/10 kV u odnosu prema stanju sklopki 35 i 10 kV, kao što je navedeno u tablici 3.

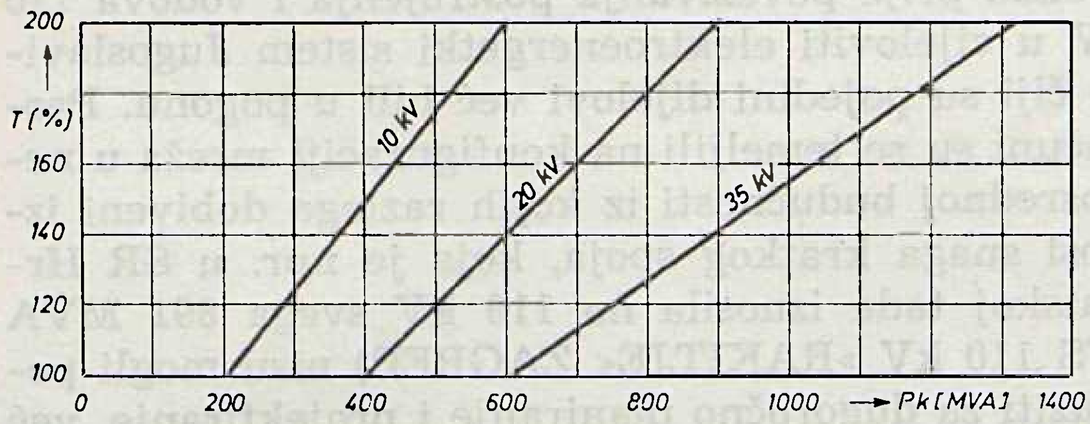
Dimenzioniranje distributivnih mreža na ovako stalno povećanje snage kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama uvjetuje odgovarajuće povećanje troškova, kao što je to na temelju raspoloživih podataka iz literature grafički prikazano na slici 1.

Podaci iz slike 1. pokazuju da udvostručenje troškova u srednjonaponskim distributivnim mrežama nastaje nakon povećanja snage kratkog spoja, i to:

— u mreži 35 kV za 2,2 puta,
— u mreži 20 kV za 2,25 puta i
— u mreži napona 10 kV za 3 puta,

ili, drugim riječima, udvostručenje snaga kratkog spoja od tipskih vrijednosti izaziva povećanje troškova u srednjonaponskim mrežama, i to:

— u mreži 35 kV za 1,45 puta,
— u mreži 20 kV za 1,8 puta i
— u mreži 10 kV za 1,8 puta.



Sl. 1. Relativno povećanje troškova u % distributivnih mreža napona 10, 20 i 35 kV ovisno o povećanju snage kratkog spoja

Tablica 1.

PRVE TIPSKE VRIJEDNOSTI SNAGE KRATKOG SPOJA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU JUGOSLAVIJE (PREPORUKA JNK CIGRE)

Dio elektroenergetskog sistema		Tipske vrijednosti snage kratkog spoja
Naziv	Napon u kV	
1. Prijenos	220	5 000
	110	2 500
2. Distribucija	35	600
	20	—
	10	200
	0,4	20

Tablica 2.

STANJE SNAGE KRATKOG SPOJA I STANJE SKLOPKI U TS 110/35 kV U SPLITU*

Naziv TS 110/35 kV	Instalirana snaga MVA	Snaga kratkog spoja u MVA		Rasklopna snaga sklopki u MVA	
		110 kV	35 kV	110 kV	35 kV
1. Meterize	40 + 30	2 203,0 (5000)	527,5 (608,9)	2 500	750
2. Sučidar	2 × 40	1 939,7 (5000)	577,8 (706,0)	2 500	750
3. Kaštela	1 × 60	2 084,9 (5000)	578,6 (553,6)	4 000	1 250

* Vrijednosti u zagradi odnose se uz pretpostavku snage kratkog spoja na 110 kV od 5 000 MVA.

Tablica 3.

STANJE SNAGA KRATKOG SPOJA U TS 35/10 kV U SPLITU U ODNOSU NA STANJE SKLOPKI 35 kV I 10 kV U (MVA)*

Naziv TS 35/10 kV	Instalirana snaga u MVA	Snaga kratkog spoja		Rasklopna sn. skl.	
		35 kV	10 kV	35 kV	10 kV
1. Partizan	2 × 4	342,1 (379,2)	102,7 (105,84)	750	250
2. Prvoborac	2 × 4	304 (329,2)	103,7 (106,4)	750	250
3. Lora	2 × 4	488,2 (572,5)	119,2 (124,4)	500	250
4. Brodograd.	2 × 4	516,3 (614,8)	111,4 (115,3)	430	250
5. Dujmovača	2×4+2×8	397,5 (441,4)	199,4 (209,8)	600	250
6. Gripe	2 × 8	543,3 (655,2)	175,1 (185,3)	750	250
7. Dobri	3 × 8	523,3 (626,3)	231,6 (248,4)	750	250

* Vrijednosti u zagradama odnose se uz pretpostavku snage kratkog spoja na 110 kV od 5 000 MVA.

Osim toga, kratki skoj u distriburtivnim mrežama, kao što je poznato, uvjetuje dinamičko i termička opterećenja svih dijelova elektroenergetskih postrojenja i vodova kroz koje prolazi struja u slučaju kvara, koja, ako prekoračuje dimenzioniranu čvrstoću s obzirom na kriterij K. spoja, izaziva oštećenje ili razaranje pojedinih dijelova oštećenoga strujnog kruga. Problem se dodatno komplicira ako kratki spoj prati pojava luka jer se u takvim slučajevima i kod relativno niskih snaga kratkog spoja oslobađaju velike količine električne energije. Tako prema nekim ispitivanjima u jednoj 20 kV mreži pri snazi iskopčavanja kratkog spoja od 350 MVA struja luka iznosi i do 10 kA, a jakost električnog polja od 1 600 V/m, što za uobičajene razmake u srednjonaponskim mrežama od 0,5 m i uz otpor luka od 0,008 ako istovremeno gore dva takva luka onda snaga može iznositi i do $2 \times 8 = 16$ MVA.

Sposobnost pojedinih dijelova postrojenja i vodova da izdrže dinamička i termička opterećenja kratkog spoja ovise o odabranoj čvrstoći s obzirom na kriterij kratkog spoja, ali i o odnosima pojedinih komponenata struja i snaga kratkog spoja na mjestu kvara. Zbog relativno duge životne dobi distributivnih mreža i stalno rastućih snaga kratkog spoja praktički je vrlo teško ekonomično osigurati odgovarajuću čvrstoću s obzirom na kriterij kratkog spoja u cjelokupnom razdoblju eksploatacije, zbog čega dolazi do povremenih oštećenja pa i razaranja pojedinih dijelova elektroenergetskih postrojenja i vodova distributivnih električnih mreža.

Da to nisu samo teorijske pretpostavke, pokazuju praktični podaci o broju kvarova i oštećenja na dalekovodima, kabelima i postrojenjima koji na temelju uredno vođene statistike u SR Njemačkoj iznose, kao što je to reducirano na 100 km dalekovoda i kabela i broja postrojenja u ovisnosti o naponu u srednjonaponskim mrežama grafički prikazano na slici 2.

Podaci iz slike 2. pokazuju ovo:

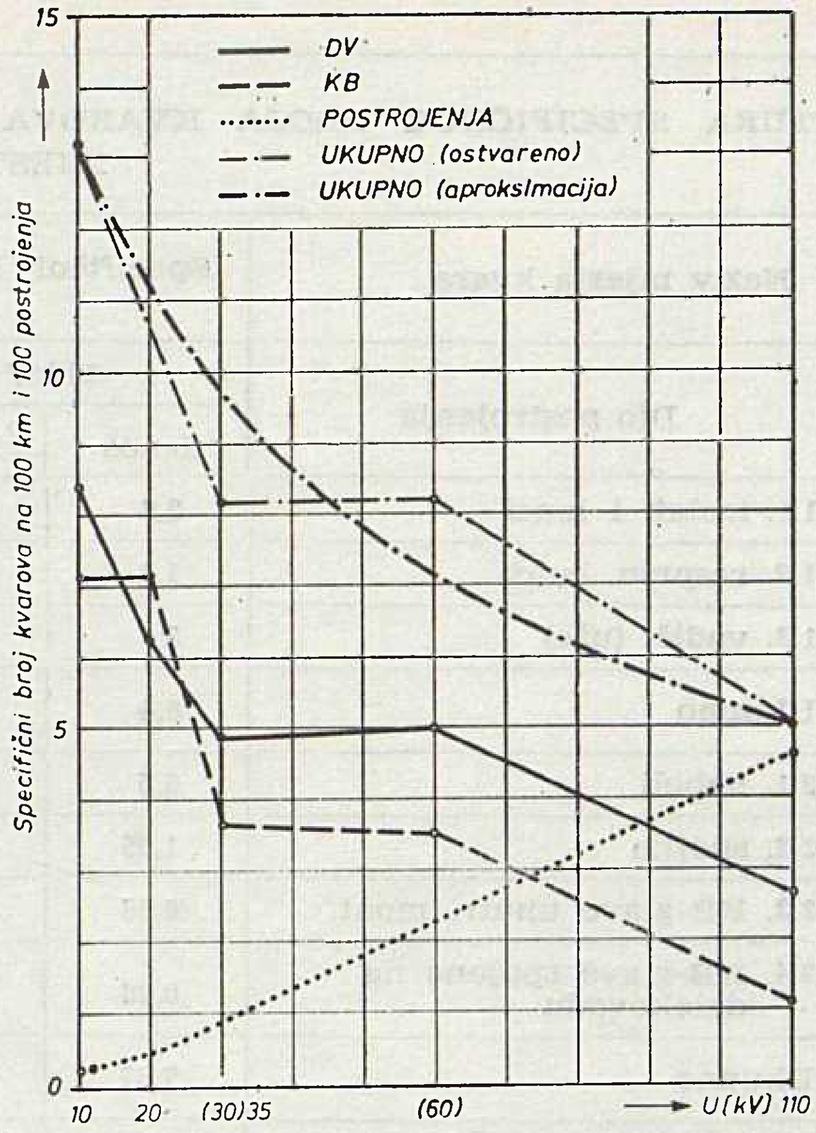
— specifičan broj kvarova reduciran na 100 km vodova i kabela u srednjonaponskim mrežama s povećanjem nazivnog napona naglo opada;

— kod postrojenja je situacija upravo obrnuta, jer s povećanjem napona specifični broj kvarova reduciran na 100 postrojenja u srednjonaponskim mrežama naglo raste;

— za iste dužine vodova i kabela u srednjonaponskim mrežama broj kvarova je približno jednak i pokazuje sličnu tendenciju, osim u 110 kV gdje je specifični broj kvarova kabela praktički upola manji nego vodova.

Interesantni su također podaci o strukturi specifičnog broja kvarova s obzirom na mjesto nastanka kvarova na vodovima i kabelima i postrojenja u srednjonaponskim mrežama, koje na temelju već spomenute statistike iznose kao što je navedeno u tablici 4.

Na temelju tih podataka može se konstatirati slijedeće:



Sl. 2. Specifični broj kvarova dijelova distributivnih mreža u ovisnosti o nazivnom naponu

Na vodovima 10 i 20 kV najveći broj kvarova otpada na same vodiče, i to 47% i 38,5%, a manji na izolatore, i to 36% i 37,5%.

Na vodovima 35 kV i 110 kV najveći % specifičnih kvarova otpada na izolatore, i to 58%i 62,5%, a na vodiče 36,5%, odnosno 21%.

Na kabelima srednjeg napona najveći % specifičnih kvarova otpada na same kabele od 66 do 88% s tendencijom povećanja s povećanjem napona dok ostatak otpada na pribor od čega najviše na spojke.

U rasklopnim postrojenjima najveći % specifičnih kvarova otpada na izolatore, i to od 30—50% s tendencijom povećanja s povećanjem napona te na visokonaponske osigurače posebno na 20 kV postrojenja na koje otpada čak 41% specifičnih kvarova. Na učinske sklopke otpada od 10 do 30% također s tendencijom povećanja s povećanjem nazivnih napona, zatim na transformatore od 18 do 12% s tendencijom smanjenja kod viših napona, a najmanje na strujne transformatore od 3 do 10% s tendencijom povećanja za više nazivne napone.

Na kraju ovog dijela razmatranja **važno je** također dati i strukturu prije analiziranih specifičnih kvarova u srednjonaponskim mrežama, koja iznosi kao što je navedeno u tablici 5.

Podaci o strukturi specifičnih kvarova srednjonaponske mreže u tablici 5. odnose se na pretežno kabelsku mrežu (98%), a pokazuju ovo:

— Ukupan broj kvarova u kabelskoj mreži 35 kV je za oko 10% manji, a broj dozemnih i kratkih spojeva čak za preko 30% manji od kabelske mreže 10 kV;

— Na dozemne i kratke spojeve u kabelskoj mreži 35 kV otpada oko 60% svih kvarova, a u kabelskoj mreži 10 kV to iznosi i do 80%.

Tablica 4.

STRUKTURA SPECIFIČNOG BROJA KVAROVA SREDNJONAPONSKIH DISTRIBUTIVNIH MREŽA S OBZIROM NA MJESTO KVARA I NAZ. U (kV)

Naziv mjesta kvara		Specifični broj kvarova reduciran na 100 km za DV i KB i 100 post. u ovis. o U (kV)							
Dio mr.	Dio postrojenja	10 kV		20 kV		30(35) kV		110 kV	
		Iznos	%	Iznos	%	Iznos	%	Iznos	%
1. Dalekovodi	1.1. izolat. i lanci	2,3	36	2,2	3,75	3,6	58	0,89	62,5
	1.2. rasprsn. lanca	1,1	17	1,4	24	0,32	5,5	0,24	16,5
	1.3. vodiči (uže)	3	47	2,25	38,52	2,34	36,50	0,306	21
	Ukupno	6,4	100	5,85	100	6,26	100	1,45	100
2. Kabeli	2.1. kabeli	5,5	73	5,1	66	2,7	70	0,94	88
	2.2. spojke	1,25	16	0,56	7,1	0,57	14,20	0,135	12
	2.3. KB-glave unutr. mont.	0,56	7,5	1,2	15,5	0,06	1,6	—	—
	2.4. KB-glave spojene na dalekovodu	0,26	3,5	0,9	11,4	0,57	14,2	—	—
	Ukupno	7,57	100	7,76	100	3,9	100	1,075	100
3. Postrojenja	3.1. lančani provod i potp. izolat.	0,66	39	1,15	30	3,66	50	10,7	48
	3.2. VN-osigurači	0,375	22	1,55	41	1	13,5	—	—
	3.3. sklopke	0,26	15,2	20,36	9,5	1,14	15,5	6,75	30
	3.4. transformatori	0,3	18	0,59	15,5	0,95	12	2,7	12
	3.5. strujni transformatori	0,097	5,8	0,115	3	0,67	9	1,96	10
	Ukupno	1,69	100	3,765	100	7,42	100	22,1	100

Tablica 5.

STRUKTURA SPECIFIČNIH KVAROVA JEDNE SREDNJONAPONSKE KABELSKE MREŽE OVISNO O NAZIVNOM NAPONU U kV

VRSTA KVARA		SPECIF. BROJ KVAR. RED. NA 100 KM			
Grupa	Naziv	10 kV		35 kV	
		iznos	%	iznos	%
1. dozemni i kratki spoj	1.1. Zemni spoj sa samogašenjem luka	1,2	14,1	0,91	11,8
	1.2. Stacionirani zemni spoj	1,1	12,8	1,8	23,2
	1.3. dvostruki i višestruki zemni spoj	0,76	8,9	0,20	2,7
	1.4. kratki spoj	3,8	43,7	1,7	22,0
	ukupno:	6,86	79,5	4,61	59,7
2. isklapanje pogon. sredstava		1,43	16,6	2	25,5
3. Ispad napona mreže		0,35	3,9	1,14	14,8
ukupno		8,64	100	7,6	100

Ti podaci i ostala dosadašnja iskustva o stalnom porastu snaga kratkog spoja u prijenosnim i distributivnim mrežama upućuju na značenje kratkog spoja posebno u srednjonaponskim mrežama u kojima je već dimenzionirana čvrstoća s obzirom na kriterij kratkog spoja sklopki 110, 35 i 10 kV manja ili na granici stvarnih snaga kratkog spoja.

To posebno vrijedi za kabele i vodove gdje još uvijek susrećemo relativno znatno niže presjeke od onih s odgovarajućom termičkom čvrstoćom s obzirom na kriterij kratkog spoja i relativno visoko stupnjevana ukupna vremena iskopčavanja kratkog spoja naročito u kabelskim mrežama.

Iz tih razloga potrebno je također razmotriti tendenciju daljnjeg razvoja i problem odabiranja novih tipskih vrijednosti snaga kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama, kao i mogućnost smanjenja vremena iskapčanja u kratkom spoju.

2. TENDENCIJA DALJNJEG RAZVOJA SNAGE KRATKOG SPOJA DISTRIBUTIVNIH MREŽA U UVJETIMA STALNOG PORASTA KONZUMA I PRIMJENE DIREKTNE TRANSFORMACIJE 110/10 KV i 110/20 KV

Stalno povećanje snage kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama u nas, kao što dosadašnja iskustva pokazuju, posljedica je više različitih faktora od kojih su najvažniji ovi:

— povećanje snage kratkog spoja u prijenosnoj mreži;

— potreba ugradnje distributivnih transformatora sve većih snaga;

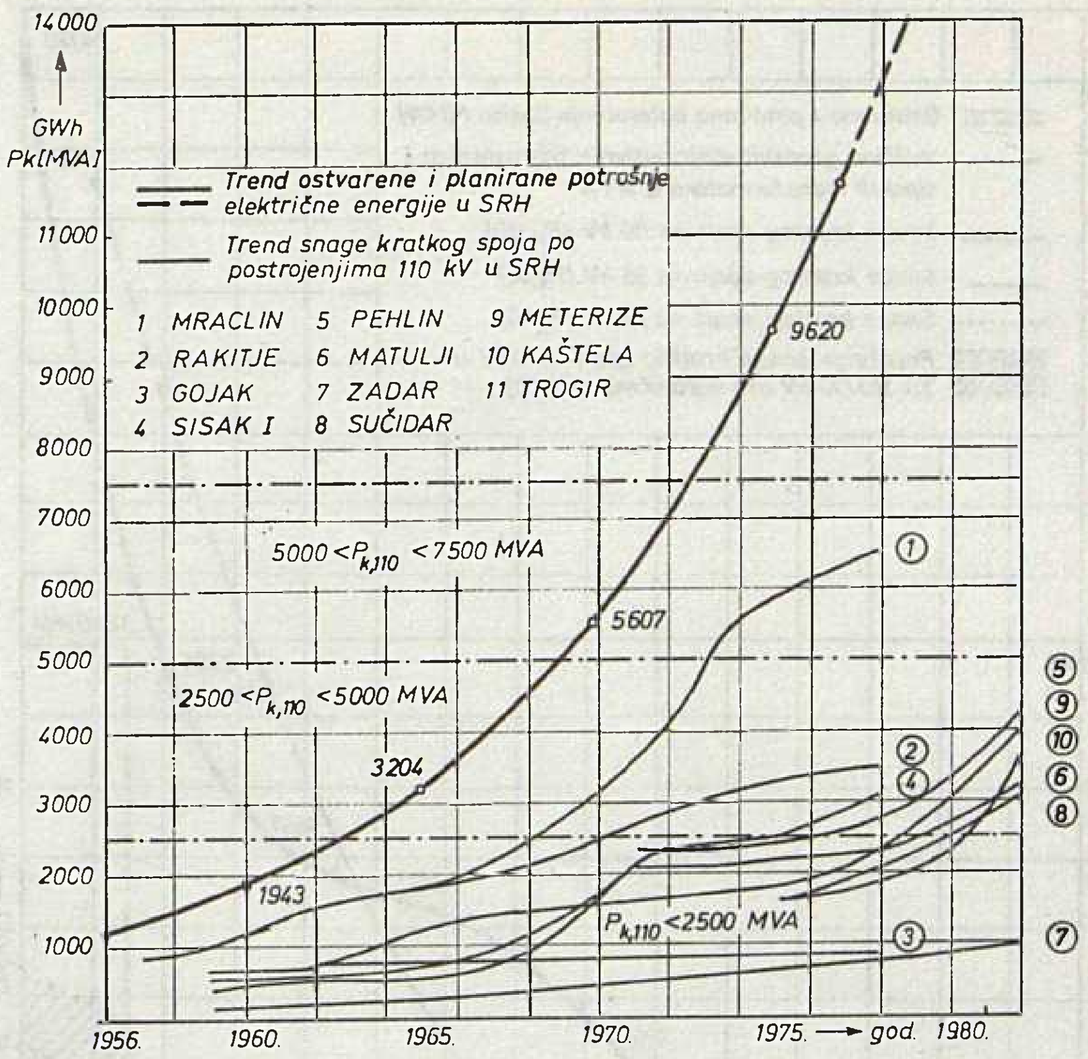
— najnovije tendencije primjene tzv. direktne transformacije napona 110/10 kV u gradskim i analogno 110/20 kV u pokrajinskim distributivnim mrežama.

Na temelju raspoloživih podataka i proračuna snage kratkog spoja u prijenosnoj mreži može se očekivati tendencija daljnjeg povećanja na polju prijenosne mreže 110 kV, kao što je to npr. za neke karakteristične TS 110/35 kV na području SR Hrvatske navedeno u tablici 6.

Ako podatke iz tablice 6. prikažemo grafički zajedno s ostvarenom i planiranom potrošnjom električne energije, onda dobivamo odgovarajuće trendove razvoja potrošnje i snage kratkog spoja na 110 kV npr. u SR Hrvatskoj, kao što je to vidljivo na slici 3.

Iz usporedbe trendova potrošnje električne energije i snage kratkog spoja na pragu prijenosne mreže napona 110 kV iz slike 3. proizlazi ovo:

— Porast potrošnje električne energije prati odgovarajući porast snage kratkog spoja na pragu prijenosne mreže napona 110 kV čiji trend, međutim, u različitim razdobljima pokazuje različite tendencje porasta kao posljedicu povećanja kapaciteta elektroenergetskih izvora i izgradnje prijenosne mreže sve viših napona 220 kV i 400 kV.



Sl. 3. Usporedba trendova razvoja potrošnje električne energije i snage kratkog spoja na 110 kV u SR Hrvatskoj

— U većini postrojenja 110 kV u SR Hrvatskoj snaga kratkog spoja danas iznosi oko 2 500 MWA, a za iduće razdoblje do 1982. godine pokazuje naglu tendenciju povećanja iznad vrijednosti od 2 500 MVA, a u nekim slučajevima i iznad 5 000 MVA;

— Iako buduće vrijednosti snage kratkog spoja u prijenosnoj mreži nije moguće zaključivati jednostavnom aproksimacijom, u odnosu na ostvareni trend iz slike 3. jasno je vidljivo da kod većine postrojenja 110 kV nakon 1985. godine treba očekivati i vrijednosti iznad 5 000 MVA.

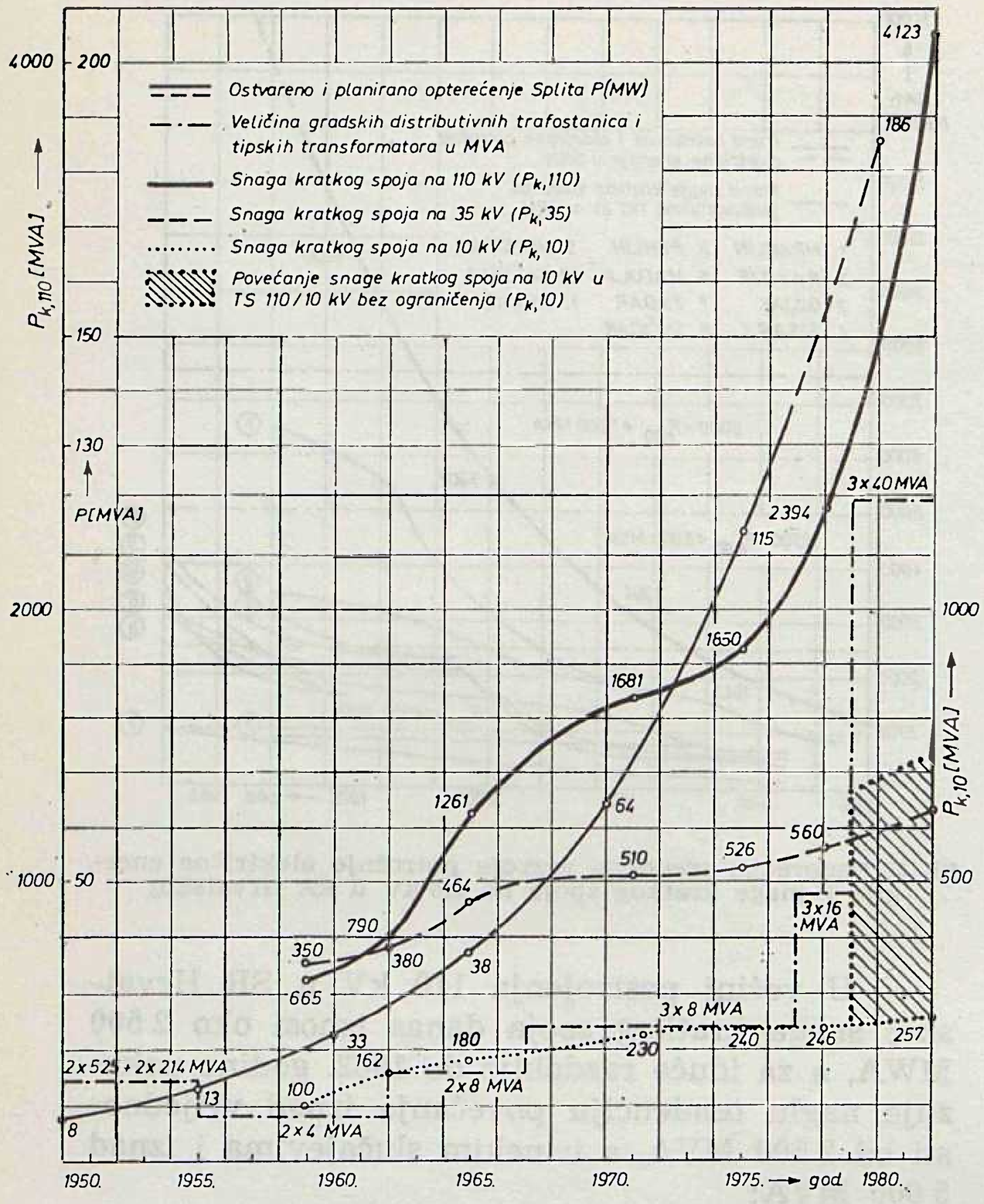
To praktički znači da uz ovakvu tendenciju razvoja snage kratkog spoja u prijenosnoj mreži nije moguće odrediti konačnu vrijednost snage kratkog spoja na pragu prijenosne mreže napona 110 kV za budućnost, već treba računati s njezinim postupnim povećanjem od sadašnjih 2 500 MVA, na 5 000 MVA do 1985. god. te 7 500 pa čak i 10 000 MVA nakon 1985. godine, a srednjonaponske distributivne mreže osposobiti za mogućnost normalnog rada i uz ovakve uvjete.

Prirodno je da ovako naglo povećanje snage kratkog spoja na prijenosne mreže napona 110 kV uvjetuje odgovarajuće povećanje snage kratkog spoja u distributivnim, posebno srednjonaponskim mrežama napona 10, 20 i 35 kV, kao što to pokazuju praktični podaci dobiveni analizom prilika i odnosa npr. u distributivnoj mreži 10 i 35 kV Splita čiji su rezultati grafički prikazani na slici 4.

Tablica 6.

PORAST SNAGE KRATKOG SPOJA NA 110 kV NEKIH TS 110/35 kV U SR HRVATSKOJ OD 1957. DO 1982. GODINE

Postrojenje 110 kV	Iznos snage K. S. po godinama							
	1957.	1959.	1962.	1965.	1971.	1975.	1978.	1982.
1. Mraclin	—	—	—	1799	3 350	5 472	6 401	—
2. Rakitje	891	1 088	1 616	1751	2 665	—	3 439	—
3. Gojak	—	674	779	781	794	800	855	—
4. Sisak I	—	424	551	540	2 200	2 490	3 110	
5. Pehlin	—	—	—	—	2 274	2 464	2 812	4 275
6. Matulji	—	541	754	1041	2 147	2 210	2 344	3 251
7. Zadar	—	201	228	233	560	665	718	967
8. Sučidar	—	—	—	—	—	1 636	2 219	3 133
9. Meterize	—	665	790	1261	1 681	1 850	2 394	4 123
10. Kaštela	—	—	—	—	—	1 730	1 943	3 663
11. Trogir	—	—	—	—	—	—	1 252	1 489



Sl. 4. Trend porasta opterećenja veličine tipskih TS 35/10 kW i snaga kratkog spoja na 110, 35 i 10 kV u Splitu

Na slici 4. također je prikazan trend porasta opterećenja distributivnog konzuma Splita te odgovarajući porast veličine tipskih distributivnih trafostanica, odnosno porast broja i snage tipskih distributivnih transformatora, te utjecaj primjene direktne transformacije 110/10 kV na povećanje snage kratkog spoja bez ograničenja u gradskoj kabelskoj mreži 10 kV.

Podaci iz slike 4. pokazuju ovo:

— Porast snage kratkog spoja na pragu prijenosne mreže 110 kV npr. u Splitu u proteklih 20 godina od 665 MVA na 2 394 MWA ili za 3,5 puta, te na 4 123 MVA u idućih 5 godina ili ukupno za oko 6,2 puta uvjetovao je također stalno povećanje snage kratkog spoja na 35 kV od početnih 350 MVA na postojeću 560 MVA čemu odgovara povećanje za oko 1,6 puta te u idućih 5 godina na 624 MVA, čemu odgovara ukupno povećanje za oko 1,8 puta.

— U mreži 10 kV s klasičnom transformacijom 110/35/10 kV, povećanje snage kratkog spoja na 110 i 35 kV te stalno povećanje veličine gradskih TS 35/10 kV od početnih 2×4 MVA na 2×8 i 3×8 MVA, a u najnovije vrijeme i na 3×16 MVA, uvjetovalo je odgovarajuće povećanje snage kratkog spoja u proteklih 20 godina od početne vrijednosti 100 MVA na današnjih 246 MVA ili ukupno za oko 2,46 puta, a u idućih 5 godina na 257 MVA ili ukupno povećanje za oko 2,57 puta, što je za oko 1,5 put više od onog na 35 kV.

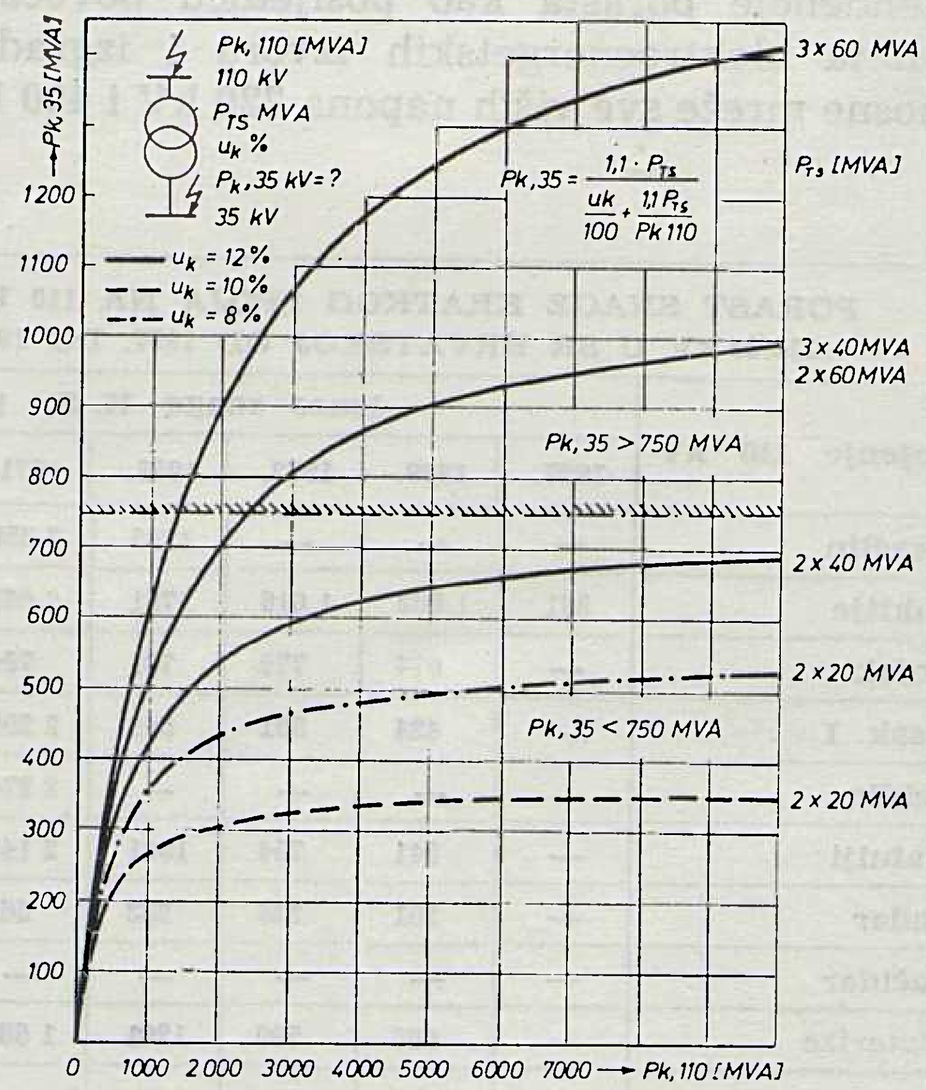
— Iz dijagrama na slici 4. također se vidi da se trend porasta snage kratkog spoja na 35 kV uz tendenciju porasta sličnu onoj u proteklom razdoblju u budućnosti približava vrijednosti od 1 000 MVA, a na 10 kV kod klasične transformacije 110/35/10 kV vrijednosti od 300 MVA bez primjene nekih odgovarajućih mjera ograničenja.

— Kod primjene direktne transformacije 110/10 kV problem se dodatno potencira, jer snaga kratkog spoja u gradskoj kabelskoj mreži 10 kV bez primjene odgovarajućih mjera ograničenja kod snage TS 110/10 kV od 2×40 MVA ima vrijednost od 480 MVA, a uz snagu TS 110/10 kV 3×40 MVA čak 660 MVA s tendencijom daljnjeg povećanja i do 1 000 MVA.

Još bolji uvid u tendenciju razvoja snage kratkog spoja u srednjonaponskim mrežama dobivamo ako razmatramo porast snage kratkog spoja npr. na 35 kV u ovisnosti o veličini tipskih TS 110/35 kV u MVA i o iznosu snage kratkog spoja na 110 kV u prije dobivenim granicama. Za tipske snage transformatora 110/35 kV od 20, 40 i 60 MVA snaga kratkog spoja na 35 kV ovisno o broju transformatora i snazi kratkog spoja na 110 kV, bez primjene odgovarajućih mjera ograničenja, iznosi npr. u Splitu kao što je grafički prikazano na slici 5.

Ovo praktički znači da bi se po pojedinim TS 110/35 kV u Splitu, u ovisnosti o veličini stanice u MVA i tipskih vrijednosti snage kratkog spoja od 2 500, 5 000, 7 500 i 10 000 MVA na 35 kV bez ograničenja mogle očekivati odgovarajuće snage kratkog spoja, kao što su one navedene u tablici 7.

Iz podataka na slici 5. i tablice 7. proizlazi da u TS 110/35 kV, veličine do 2×40 MVA, snaga kratkog spoja u najnepovoljnijem slučaju ostaje ispod tipske vrijednosti od 750 MVA. Za sve



Sl. 5. Tendencije razvoja snage kratkog spoja na 35 kV PK, 35 u ovisnosti o veličini TS 110/35 kV i snazi K. S. na 110 kV (Pk, 110)

Tablica 7.

SNAGA K. S. NA 35 kV U SPLITU OVISNO O VELIČINI TS 110/35 kV U MVA I TIPS. IZV. SNAGE K. S. NA 110 kV U MVA

	TS 110/35 kV			Snage K. S. na 35 kV ovisno o tipskim iznosima snage K.S. na 110 kV				
	Naziv	uk%	instal.	2 500	5 000	7 500	10 000	∞ MVA
	Meterize	10,7	2×40	560	650	670	690	830
1. postoj.	Sučidar	10,7	2×60	750	900	960	990	1 235
1. postoj.	Kaštela	10,63	3×60	990	1 240	13 500	1 420	1 850
2. planir.	Korešnica	12	2×40	560	650	670	690	735
2. planir.	Solin	12	3×40	750	900	960	990	1 100
2. planir.	Grad	12	3×40	750	900	960	990	1 100

ostale slučajeve treba ugrađivati sklopke većih nazivnih vrijednosti snage od 740 MVA ili poduzimati odgovarajuće mjere za ograničenje snage kratkog spoja. Osim toga snaga kratkog spoja na 35 kV uz pretpostavku »krute mreže« na 110 kV (Pk, 110 ≈ ∞) za svega oko 20% veća je od maksimalnih iznosa koji se dobiju uvrštavanjem maksimalno očekivanih vrijednosti snage kratkog spoja na 110 kV, što pokazuje na značenje veličine i broja distributivnih transformatora na iznose snage kratkog spoja u distributivnim mrežama.

Polazeći od tih rezultata, moguće je odrediti i tendenciju razvoja snage kratkog spoja u distributivnim mrežama 10 i 20 kV kod čega razlikujemo dva karakteristična slučaja, i to:

— Slučaj u mreži 10 kV u klasičnoj transformaciji 110/35/10 kV i

— Slučaj u mreži 10 i 20 kV s tzv. direktnom transformacijom 110/10 i 110/20 kV.

U klasičnoj transformaciji 110/35/10 kV snaga kratkog spoja na 10 kV u ovisnosti o veličini TS 35/10 kV u MVA i snazi kratkog spoja 35 kV pokazuje tendenciju daljnjeg razvoja, kao što je grafički prikazano na slici 6.

Podaci iz slike 6. pokazuju da bi snaga kratkog spoja na 10 kV za standardne iznose snage na 35 kV od 600, 650 i 1 000 MVA ovisno o veličini TS 35/10 kV, uz postojeće iznose napona kratkog spoja transformatora 35/10 kV, iznosila npr. u Splitu kao što je navedeno u tablici 8.

Na temelju podataka iz slike 6. i tablice 8. proizlazi ovo:

— Zbog relativno velikog prigušenja snage kratkog spoja u transformaciji 35/10 kV, snaga kratkog spoja na 10 kV uglavnom ovisi o snazi TS 35/10 kV i naponu kratkog spoja transformatora 35/10 kV.

— Postojeće TS 35/10 kV i ako relativno manjih snaga imaju zbog malih vrijednosti u_k% transformatora iste vrijednosti snage kratkog spoja kao i novije TS 35/10 kV većih snaga (3×16MVA), ali većeg napona kratkog spoja transformatora 35/10 kV npr. u_k% = 12,5%.

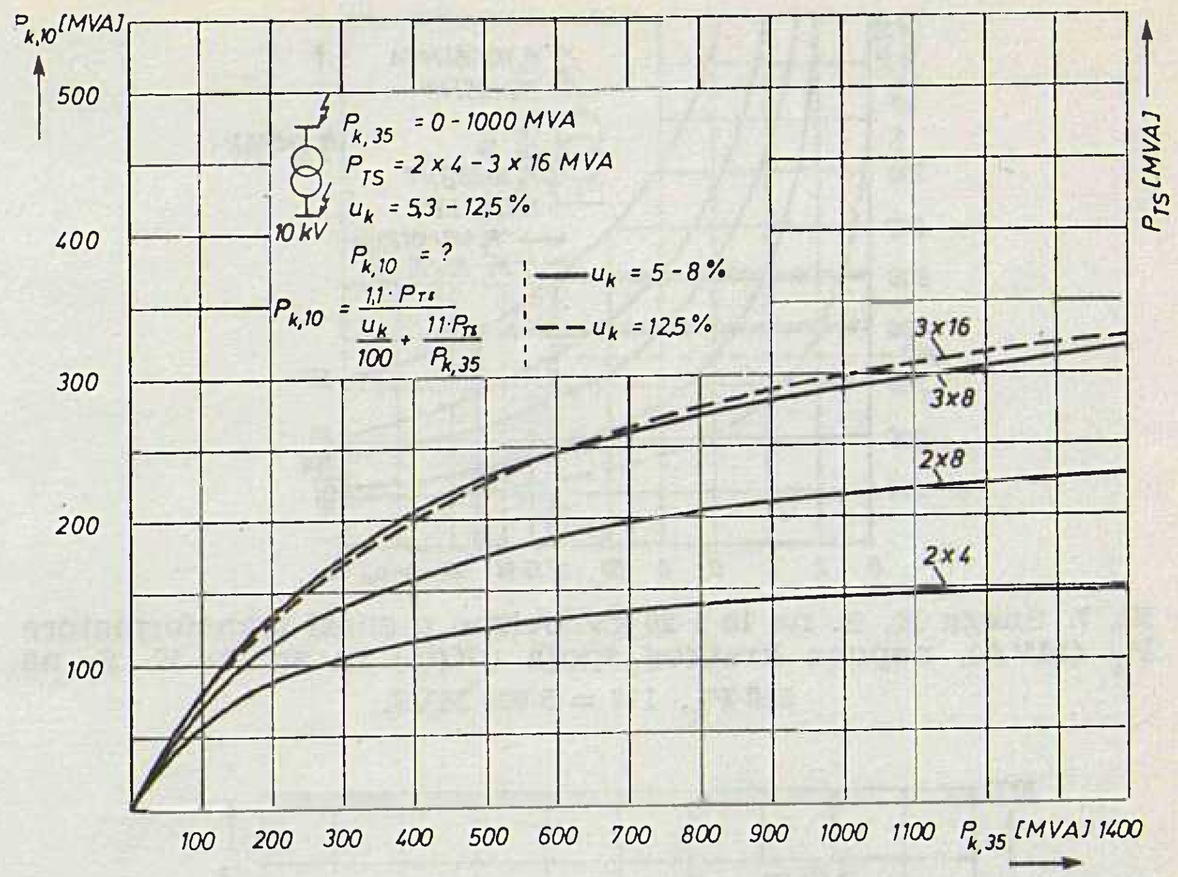
— Izgradnja distributivnih TS 35/10 kV većih snaga i uobičajenih napona kratkog spoja rezultirala bi praktički dvostruko većim iznosima snage kratkog spoja od vrijednosti dobivenih u slici 6. i tablici 8.

U tzv. direktnoj transformaciji 110/10 i 110/20 kV snage kratkog spoja u distributivnoj mreži 10 i 20 kV su općenito znatno veće od onih u klasičnoj transformaciji 110/35/10 kV.

Zbog toga je za ovaj slučaj posebno razmatrano značenje dvaju osnovnih parametara o kojima ovisi snaga kratkog spoja na 10 i 20 kV:

— Napon kratkog spoja transformatora 110/10 i 110/20 kV za tipske snage transformatora 20, 31, 5, 40 i 60 MVA u usporedbi s transformatorom 35/10 kV snage 16 MVA za konstantne vrijednosti snage kratkog spoja Pk, 110 = 5 000 MVA i Pk, 35 = 750 MVA, kao što je grafički prikazano na slici 7.

Napon kratkog spoja distributivnih transformatora 110/10(20) kV ima znatno veći utjecaj na iznos snage kratkog spoja u distributivnoj mreži 10 i 20 kV kod direktne transformacije, gdje su ovi iznosi inače znatno veći od onih klasične trans-

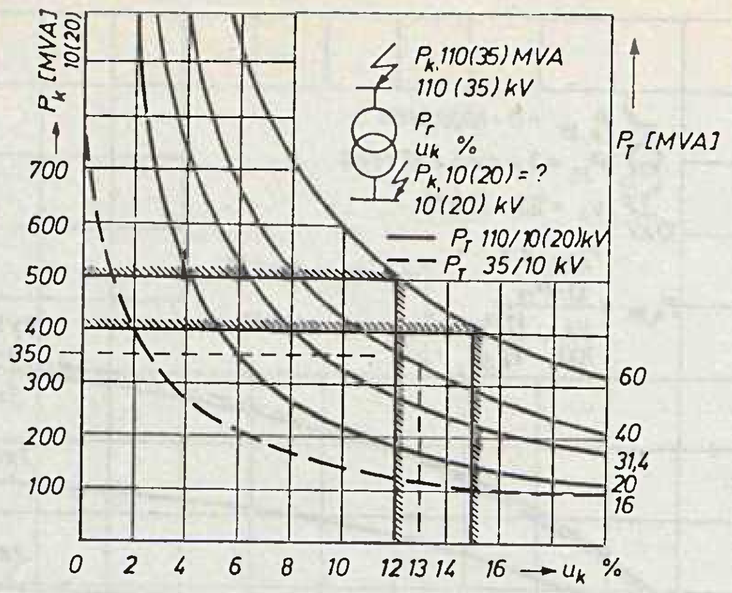


Sl. 6. Tendencija razvoja snage kratkog spoja na 10 kV ovisno o veličini tipskih TS 35/10 kV i snazi K. S. na 35 kV ($P_{k,35}$)

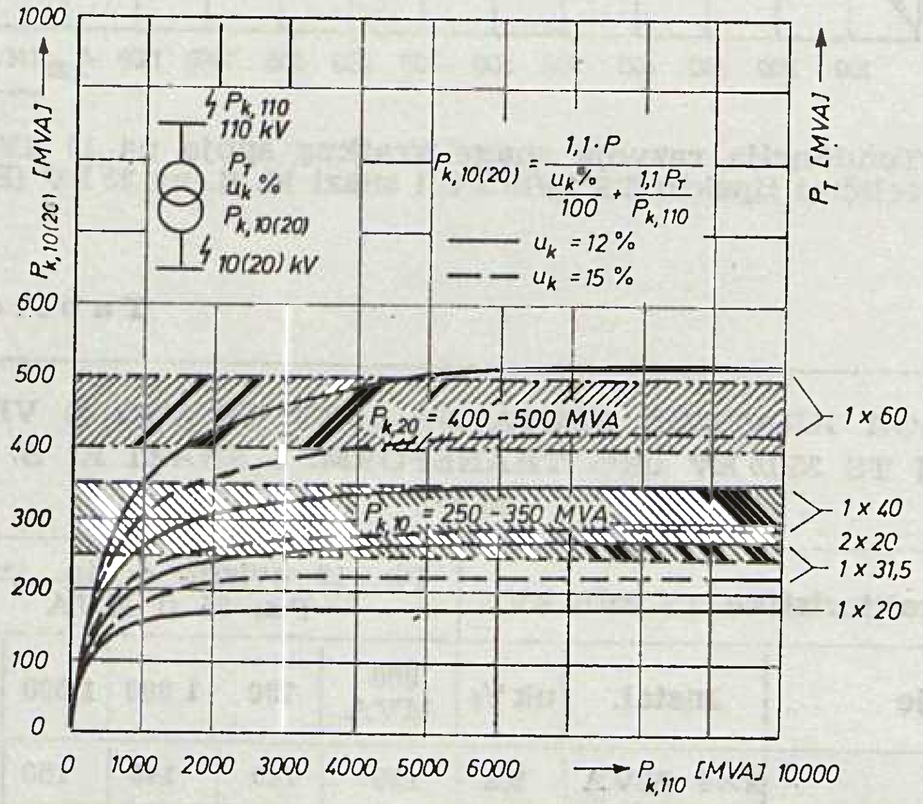
Tablica 8.

SNAGA KRATKOG SPOJA NA 10 kV OVISNO O VELIČINI TS 35/10 kV uk% TRANSFORM. I SNAZI K. S. NA 35 kV

Karakteristike TS 35/10 kV			Pk, 10 ovisno o tip. iznos. Pk, 35 u MVA				
Stanje	Instal.	uk %	600 MVA	750	1 000	1 500	∞
1. Postojeće	2×4 MVA	5,3	130	140	145	150	166
1. Postojeće	2×8 MVA	6,4	190	200	220	233	275
1. Postojeće	3×8 MVA	6,4	250	270	290	324	412
2. Planirano	3×16 MVA	12,5	250	280	300	330	422



Sl. 7. Snaga K. S. na 10 i 20 kV ovisno o snazi transformatora P_T (MVA), napona kratkog spoja uK(%) za snagu K. S. na 110 $P_{k,\ 110} = 5\ 000$ MVA



Sl. 8. Snaga K. S. na 10 i 20 kV ovisno o veličini tipskih transformatora 110/10(20) kV i snazi K.S. na 110 kV za $u_{klo}(20) = 12\%$ i 15%

formacije 110/35/10 kV. Pri tome treba uzeti u obzir i moguće negativne efekte koji nastaju zbog propisima dozvoljene tolerancije u_k % od ± 10%, te općenito u transf. 110/10(20) kV posebno onih većih nazivnih snaga ići na veće iznose za u_k %, npr. 12—15%.

— Značenje snage kratkog spoja na 110 kV uz konstantni napon kratkog spoja transformira 110/10 i 110/20 kV u iznosu od u_k = 12—15% za veličine tipskih distributivnih TS 110/10 i 110/20 kV od 2×20); (1×40); 2×31,5; 2×40; 1×60 MVA grafički je prikazano na slici 8.

Podaci iz slike 7. i 8. pokazuju da bi s obzirom na usvojene tipske vrijednosti snage kratkog spoja u električnoj mreži 10 i 20 kV napon kratkog spoja, ovisno o veličini transformatora 110/10(20) kV, uzimajući u obzir i propisima dozvoljenu toleranciju od ± 10% u tzv. direktnoj transformaciji trebao iznositi:

— U električnoj mreži 10 kV uz $P_{k10} = 350$ MWA i $P_T = 40$ MVA $u_{k.max} = 13\% + 1{,}3\% = 14{,}3 \approx 15\%$ (transformatori od 60 MVA s obzirom na kriterij kratkog spoja su nepovoljni za el. mrežu 10 kV).

— U električnoj mreži 20 kV uz $P_{k,20} = 500$ MVA i uz $P_T = 60$ MVA (gradske mreže) $u_{k,max} = 13{,}86 \approx 14\%$ ili uz $P_{k,20} = 400$ MVA (pokrajinske mreže) i $P_T = 40$ MVA $u_{k,max} = 10{,}55\% + 1{,}055 = 11{,}605\% \approx 12\%$.

Uz prethodne rezultate o daljnjim tendencijama razvoja snaga kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama aktualna su još i ova tri osnovna praktična pitanja:

— S kojim vrijednostima snage kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama računati pri planiranju i projektiranju budućih elektroenergetskih postrojenja i vodova napona 10, 20 i 35 kV?

— Kako osigurati da u budućnosti ne dođe do prekoračenja ovako usvojenih novih tipskih vrijednosti snage kratkog spoja u distributivnoj mreži?

— Kako osigurati nesmetani pogon postojećih postrojenja i vodova dimenzioniranih na niže nazivne vrijednosti snage kratkog spoja?

3. NOVE TIPSKE VRIJEDNOSTI I PROBLEM OGRANIČENJA SNAGE KRATKOG SPOJA U SREDNJONAPONSKIM DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

U opisanim uvjetima rada i razvoja distributivnih mreža prirodno se nameće potreba izbora novih većih tipskih vrijednosti snage kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama 10, 20 i 35 kV i prijenosnoj mreži, posebno na naponu 110 kV. Polazeći od prethodnih rezultata i dosadašnjih sličnih inozemnih i naših iskustava, smatra se da bi za buduće planiranje i projektiranje elektroenergetskih postrojenja i vodova distributivnih mreža uz standardne veličine distributivnih TS i vrijednosti napona kratkog spoja odgovarajućih transformatora, kao što je to navedeno u tablici 9, trebalo računati s novim vrijednostima snage kratkog spoja kao što su navedene u tablici 10.

Kao što podaci iz tablice 2. i 3. pokazuju, većina sklopki u postojećim TS 110/35 i 35/10 kV u Splitu ne udovoljavaju predloženim novim iznosima tipskih vrijednosti snage kratkog spoja iz tablice 10. Slična situacija je vjerojatno i u većini drugih distributivnih poduzeća, što znači da se nalazimo pred ovom dilemom:

— ili ugraditi novu opremu s većim nazivnim vrijednostima snage s obzirom na kriterij kratkog spoja

Tablica 9.

STANDARDNE VELIČ. DISTRIB. TS I NAP. uk DISTR. TRANS.						
Naziv	Pokrajinske mreže za transformaciju			Gradske mreže za transformaciju		
	110/35/10 kV		Direkt. 110/20	110/35/10		Direktna 110/10 kV
	110/35	35/10		110/35	35/10	
1. Veličina traf. u MVA	2×20 2×40	2×4 2×8	2×20 40+40	2×40 3×40 2×60+60	2×8 3×8 3×16	40+40 40+40+40 60+60+60
2. Napon krat. kod trans. uk%	8—12%	5—8%	11%	12%—15%	8—12,5%	13—15%

Tablica 10.

PRIJEDLOG NOVIH TIPSKIH VRIJED. SNAGE K. S. U DISTRIB. MREŽAMA U (MVA)				
Nazivni nap. distributiv. mreže u kV	Snaga K. S. u (MVA) ovisno o vrsti mreža i transformaciji			
	Pokrajinske mreže		Gradske mreže	
	110/35/10 kV	110/20 kV	110/35/10 kV	110/10(20) kV
1. 10 kV	250	—	250	350
2. 20 kV	—	400	—	500
3. 35 kV	600—750	—	750—1 000	—
4. 110 kV	5 000		10 000	

— ili primijeniti sistematski odgovarajuće mjere za ograničenje snage kratkog spoja, te ugradnju transformatora s većim u_k.

Budući da na pragu prijenosne mreže napona 110 kV, kao što navedeni rezultati i neka inozemna iskustva pokazuju, treba očekivati snage kratkog spoja od 5 do 10 000 MVA, ove mjere za ograničenje snage kratkog spoja odnose se uglavnom na srednjonaponske mreže napona 10, 20 i 35 kV. Međutim kao što je poznato, postoji više različitih načina ograničenja snage kratkog spoja u srednjonaponskim distributivnim mrežama od kojih su najvažniji ovi:

— povećanje napona kratkog spoja distributivnih transformatora

— Odvojeni pogon transformatora i mreža

— ugradnja ograničivača struje, odnosno snage kratkog spoja

— ugradnja prigušnica

— smanjenje vremena iskopčavanja sklopki u kratkom spoju.

Općenito se smatra da kratki spoj ne bi trebao predstavljati ograničenja optimalnog dimenzioniranja elektroenergetskih postrojenja i vodova distributivnih električnih mreža, jer to samo po sebi ne bi značilo poskupljenje izgradnje već samo odgovarajuće prilagođavanje oblikovanja bez nekog bitnog poskupljenja izvedbe ili eksploatacije.

Polazeći od ovih kriterija i već dobivenih rezultata, ovisno o vrsti transformacije u srednjonaponskim distributivnim mrežama, potrebno je već sada poduzeti slijedeće mjere za ograničenje snage kratkog spoja:

a) Klasična transformacija 110/35/10 kV

Za usvojene iznose snage kratkog spoja na 110, kao što je to navedeno u tablici 10, za odgovarajuću veličinu i uobičajeni broj međusobno paralelnih transformatora 110/35 kV proizlazi potrebni u_k % i snaga kratkog spoja na 35 kV, kao što je to navedeno u tablici 11.

Za usvojene iznose snage kratkog spoja na 35 kV u tablici 11. i uobičajenu veličinu i broj paralelno spojenih transformatora 35/10 kV prema tablici 9. potrebni odgovarajući novi iznosi napona kratkog spoja i novi iznosi snage kratkog spoja na 10 kV iznose kao što je to navedeno u tablici 12.

Iz tablice 11. i 12. proizlazi ovo:

— Za sve transformatore 110/35 kV snage veće od 20 MVA trebalo bi bez odvajanja usvojiti napon kratkog spoja (u_k%) umjesto sadašnjeg 10% nešto veći, i to 12%.

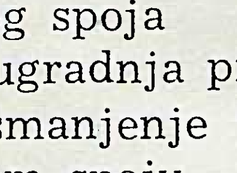
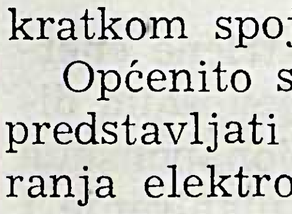
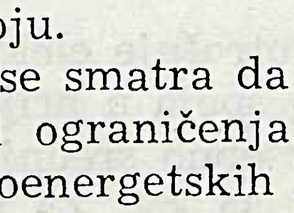
— Na 35 kV trebalo bi ugraditi bez ograničenja s obzirom na kriterij kratkog spoja 4 (600, 750, 1 000 i 1 500 MVA) ili uz odvojeni rad transformatora 110/35 kV samo jedan tip sklopki, i to 600 MVA, i uz u_k = 10%, osim kod transformatora 60 MVA.

— Transformatori 110/35 kV snage 60 MVA, s obzirom na kriterij kratkog spoja, su također nepovoljni u klasičnoj tronaponskoj transformaciji (110/25/10 kV).

— U TS 35/10 kV svih snaga mogu se i bez odvajanja svi problemi riješiti dvama osnovnim tipovima sklopki: 250 i 350 MVA ili uz odvojeni pogon samo 250 MVA.

Na temelju podataka iz tablice 11. i 12. također je vidljivo da se u normalnom pogonu mogu sadržavati prednosti paralelnog rada svih transformatora 110/35 i 35/10 kV i istovremeno postići ograničenje snage kratkog spoja u slučaju kvara ugradnjom tzv. ograničivača snage kratkog spoja. Mana je tih uređaja što im pregara uložak u slu-

OGRANIČENJE SNAGE K.S. KOD KLAS. TRANSF. 110 / 35 / 10 kV — Tabl. 11.*

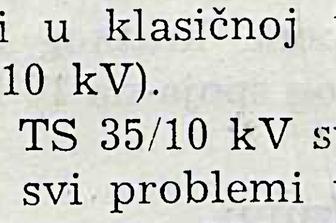
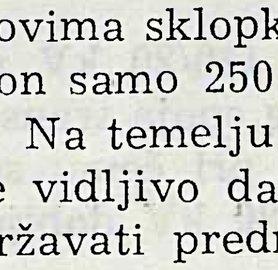
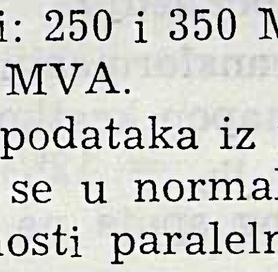
OSNOVNA SHEMA		Instalirano		Snaga K.S. u MVA	
ODVOJENI RAD	S OGRANIČ. K.S.	S u MVA	u_k %	Račun.	Tipska
		2 x 20	8 %	500	600
		2 x 40	12 % (10 %)	650 (440)	750 (600)
		3 x 40 = 2 x 60	12 % (10 %)	990 (440)	1000 (600)
		2 x 60 + 60	12 %	1420 (500)	1500 (600)

* Vrijednosti u zagradama odnose se uz odvojeni rad transformatora 110/35 kV.

učinski rastavljač za uzdužno rastavljanje sabirnica 35 kV

ograničivač snage i struje kratkog spoja na 35 kV

OGRANIČENJE SNAGE K.S. KOD DISTRIBUTIVNIH TS 35 / 10 kV — Tabl. 12.*

OSNOVNA SHEMA TS 35 / 10 kV		PODACI TS 35/10		Snaga K.S. u MVA	
ODVOJENI RAD	S OGRANIČ. K.S.	Inst MVA	u_k %	Račun.	Tipska
		2 x 4	5 %	150	500
		2 x 8	8 %	220	250
		2 x 8 + 8	8 %	320 (220)	350 (250)
		16 + 16 + 16	12 % (8 %)	330 (216)	350 (250)

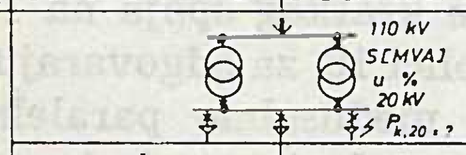
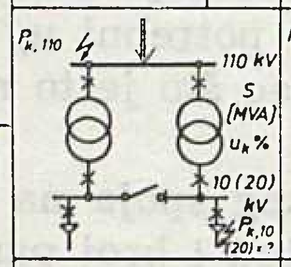
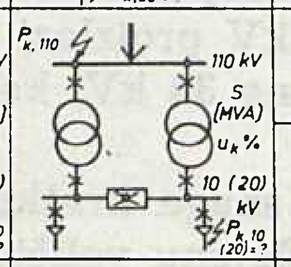
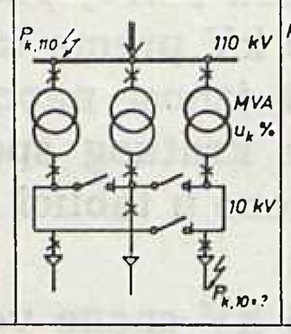
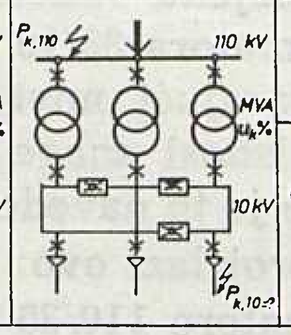
* Vrijednosti u zagradama odnose se na odvojeni rad transformatora

učinski rastavljač za odvojeni pogon

* ograničivač struje kratkog spoja

čaju kvara i što je to još uvijek uvozna oprema. Potrebno je istaknuti da je u nekim zemljama, npr. u SR Njemačkoj broj tih ugrađenih uređaja na 10 i 35 kV u porastu.

OGRANIČENJE SNAGE K.S. KOD DISTRIB. TS 110 / 10 (20) kV — Tabl. 13.

VRST MREŽE	OSNOVNA SHEMA TS 110 / 10(20)		PODACI TS		SNAGA K.S u MVA	
	ODVOJENI RAD	S OGRANIČ. K.S.	Inst. S MVA	u_k%	Račun.	Tipska
1. POKRAJINSKE MREŽE			2 x 20	12 %	360	500
			40 + 40	12 %	360	500
			40 + 40	13 %	340	350 (500)
				15 %	293	350 (500)
2. GRADSKE MREŽE			40 + 40 + 40	13 %	340	350
				15 %	293	350
			60 + 60 + 60	12 %	500	500
				15 %	400	400

b) Direktna trasformacija 110/10 kV i 110/20 kV

U tzv. direktnoj transformaciji 110/10 kV i 110/20 kV, kao što rezultati pokazuju, za iznos snage kratkog spoja na 10 i 20 kV presudna je nazivna snaga i napon kratkog spoja transformatora 110/10 i 110/20 kV. Za usvojene nove tipske vrijednosti snage kratkog spoja na 110 kV, ovisno o veličini i broju paralelnih transformatora 110/10 i 110/20 kV, odgovarajući iznosi napona kratkog spoja i transformatora i snage kratkog spoja na 10 i 20 kV navedeni su u tablici 13.

Podaci iz tablice 13. pokazuju:

— Da u direktnoj transformaciji 110/20 kV u pokrajinskim mrežama napon kratkog spoja transformatora treba iznositi $u_k = 12\%$, pri čemu se kao tipska snaga kratkog spoja na 20 kV dobije od $P_{k20} \leqq 500$ MVA;

— U gradskim kabelskim mrežama i uz odvojeni rad transformatora napon kratkog spoja treba iznositi $u_k = 13—15\%$, pri čemu se dobiju uobičajeni iznosi snage kratkog spoja na 10 kV od $P_{k10} = 350$ MVA.

— Transformatori snage 60 MVA u direktnoj transformaciji u gradovima primjenjivi su s obzirom na kriterij kratkog spoja u kabelskoj mreži 20 kV, gdje snaga kratkog spoja može iznositi 400 ili 800 MVA.

— U direktnoj transformaciji 110/10 kV i 110/20 kV u pravilu treba računati s odvojenim radom transformatora ili ugradnjom tzv. ograničivača struje i snage kratkog spoja na 10 i 20 kV.

Primjena prigušnica za ograničenje snage kratkog spoja u srednjonaponskim mrežama općenito se smatra nepovoljnijom, pa zbog toga ovo pitanje i nije posebno razmatrano.

U postojećim srednjonaponskim mrežama proračun prosjeka kabela i vodova vršen je najčešće s obzirom na ove ukupne vrijednosti vremena iskopčavanja, i to:

— u električnoj mreži 10 i 20 kV t = 1 s.

— u električnoj mreži 35 kV t = 2 s.

U novim mrežama s većim iznosima snage kratkog spoja potrebno je ići na niža ukupna vremena iskopčavanja. Moderna oprema omogućava, kao što neki podaci pokazuju iskapčanje kratkog spoja za ukupno $t_k = t_r + t_s = 0{,}2$ pri čemu iznosi:

t_r — vrijeme komande relea oko 0,1 s.

t_s — vrijeme gašenja luka oko 0,1 s.

Pretpostavljajući u srednjonaponskim mrežama i mogućnost brzog ponovnog uključenja uklopki ukupno maksimalno vrijeme iskopčavanja u kratkom spoju bi iznosilo

$t_k = 0{,}4 — 0{,}5$ sekundi.

Takvo sniženje ukupnog vremena iskopčenja omogućava povećanje termičke komponentne struje kratkog spoja, i to:

— u distributivnim električnim mrežama napona 10 i 20 kV od 1,5 — 5 puta,

— u električnoj mreži 35 kV uz maksimalno vrijeme iskopčenja u odnosu na mrežu 10 kV i uz pretpostavku sa i bez ponovnog brzog ukopčanja sklopke 0,4—0,7 sekundi za oko 2,5—3,3 puta.

Takvo smanjenje ukupnog vremena iskopčenja u kratkom spoju omogućilo bi nesmetan rad postojećih kabela voda srednjeg napona i u uvjetima povećanih termičkih komponenata struje kratkog spoja, kao što je već navedeno.

4. ZAKLJUČAK

Usporedo s porastom potrošnje električne energije raste i snaga kratkog spoja u prijenosnim distributivnim mrežama, posebno srednjonaponskim mrežama napona 10, 20 i 35 kV. Za planiranje i projektiranje budućih distributivnih električnih mreža trebalo bi računati s ovim novim vrijednostima snage kratkog spoja:

— na 10 kV: 250 i 350 MVA;

— na 20 kV: 500 MVA;

— na 35 kV: 600 MVA uz ograničenje u TS 110/35 ili 750 i 1 000 MVA bez ograničenja u TS 110/35 kV;

— na 110 kV: 5 000 MVA uz ograničenje u TS 220/110 kV ili 7 500 i 10.000 MVA bez ograničenja u TS 220/110 kV.

Da bi se ograničila snaga kratkog spoja na navedene iznose, potrebno je u distributivnim električnim mrežama poduzimati odgovarajuće mjere za ograničenje snage kratkog spoja, od kojih su najvažniji:

a) Povećanje napona kratkog spoja transformatora, i to:

— transformatora 110/35 kV od 10 na 12%

— transformatora 35/10 kV do 8 MVA na 8%, a iznad 8 MVA 12,5%;

— transformatora 110/20 kV 12%

— transformatora 110/10 kV 13—15%

b) Odvojeni rad transformatora ili ugradnja tzv. ograničivača struje i snage kratkog spoja, i to:

— u TS 110/35 kV veličine 3×40 MVA i 3×60 MVA;

— u TS 35/10 kV veličine 3×8 MVA, 2×16 MVA i 3×16 MVA;

— u TS 110/20 kV veličine iznad 2×20 MVA

— u gradskim TS 110/10 kV praktički za sve uobičajene veličine trafostanica, i to: 2×40; 3×40 MVA; 3×60 MVA.

c) Smanjenje ukupnog vremena iskapčanja u kratkom spoju, koji kod suvremene opreme srednjonaponskih mreža može iznositi u električnim mrežama 10 i 20 kV, i to:

— bez brzog ponovnog uklopa ukupno $t_k = 0{,}2$ s.

— uz brzi ponovni uklop maksimalno $t_k = 0{,}4$ — 0,5 s.

a u distributivnim električnim mrežama 35 kV također posebno u onim s transformatorom 35/10 kabelom 35 kV u blok-spoju, i to:

— bez brzog ponovnog uklopa $t_k = 0{,}4$ s.

— s brzim ponovnim uklopom t = 0,7 s.

S obzirom na dosadašnja naša i inozemna iskustva za problem ograničenja snage kratkog spoja i općenito dimenzioniranje srednjonaponskih mreža treba pretpostaviti mogućnost pojave snage kratkog spoja na pragu prijenosne mreže 110 kV u maksimalnim iznosima, jer je njezin utjecaj na ukupni iznos snage kratkog spoja u distributivnoj mreži 10, 20 i 35 kV manji od utjecaja veličine i napona kratkog spoja distributivnih transformatora, čime se unaprijed eliminiraju moguća iznenađenja.

LITERATURA

1. Studije i proračuni kratkog spoja Instituta za elektroprivredu Zagreb i Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu
2. Publicirani podaci o kratkom spoju u časopisu »ENERGIJA« Zagreb
3. Dokumentacija i elaborati »Elektroprenosa« i »Elektrodalmacije« Split
4. VDEW: Die Kurzschlussleistung in Mittelspannungsnetzen und ihre Begrenzung, Frankfurt am Main, 1966.

Naslov pisca:
Josip Neveščanin, dipl. ing.
Elektrodalmacija, Split

OOUR
ELEKTRA
KRIŽ

PODUZEĆE ZA DISTRIBUCIJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

»ELEKTRE« — ZAGREB

KRIŽ

TRG N. H. JOSIPA ADAMIĆA 7

Telefon: (041) 85-002, 85-022

ISPITIVANJE BLOKA V. SNAGE 200 MW U TE TUZLA

Stjepan Ivančić, Zagreb

u članku su dane osnovne karakteristike i rezultati garantnog ispitivanja kotla, turbine i normativno kompleksnih ispitivanja bloka.

DK 621.187 : 621.135

U toku svibnja 1975. godine izvršena su garantna ispitivanja kotla i turboagregata bloka V snage 200 MW u TE Tuzla, a također je izvršeno i normativno kompleksno ispitivanje cjelokupnog energetskog postrojenja bloka. Svrha garantnih ispitivanja bila je da se utvrde i provjere garantirane toplinsko-tehničke karakteristike odgovarajućih postrojenja, a normativnih kompleksnih ispitivanja da se odredi osnova za utvrđivanje normativnog potroška topline i vlastitog potroška električne energije bloka. Organizaciju i provedbu ispitivanja obavila je grupa za mjerenje studijske jedinice Termoenergetski sistemi — Instituta za elektroprivredu Zagreb na osnovi ugovora sa TE Tuzla.

Garantna ispitivanja kotla i turboagregata, kao i svi pripadni proračuni provedeni su prema njemačkim propisima za provedbu primopredajnih ispitivanja. To su propisi za kotlove DIN 1942 »Abnahmeversuche an Dampfezeugern« iz 1956. godine i za turbine DIN 1943 »Abnahmeversuche an Dam pfturbinen« iz 1943. godine. Iz tih osnovnih propisa proizlazi i primjena ostalih DIN propisa za mjerenje i utvrđivanje pojedinih osnovnih veličina, npr. protočnih količina, pritisaka, temperatura, snaga itd. Ispitivanjima nisu prisustvovali predstavnici proizvođača postrojenja.

Normativna kompleksna ispitivanja bloka također su u pogledu metoda mjerenja i obračuna provedena prema naprijed navedenim DIN propisima, ali pri normalnim eksploatacionim režimima pogona.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE I OPIS ISPITIVANOG POSTROJENJA

Kotlovsko postrojenje

Kotao je strmocijevni radioacioni s prirodnom cirkulacijom i jednim međupregrijavanjem pare, te dva toka dimnih plinova. Ložen je ugljenom prašinom i ima suh odvod šljake. Cijevni sistemi za svježu i međupregrijanu paru podijeljeni su uzduž osi kotla u dva paralelna i nezavisna sistema. Ogrjevne površine sistema svježe pare u smjeru toka vode jesu: zagrijač vode, isparivački sistem, zidni pregrijač, konvektivni pregrijači I, II i pregradni pregrijač I, II, III i IV. Svježa para nakon pregradnog pregrijača I odlazi jednim reguliranim dijelom u duofluks, tj. izmjenjivač topline para-para, gdje vrši prvostepeno pregrijanje međupregrijane pare. Za regulaciju temperature svježe pare služi 5 hladnjaka s ubrizgavanjem pojne vode, od kojih jedan služi za hlađenje dijela pare za duofluks. Cijevni sistem međupregrijane pare sastoji se u smjeru toka pare od slijedećih površina: duofluksa, međupregrijač I i II. Za regulaciju temperature međupregrijane pare služi duofluks i jedan hladnjak s ubrizgavanjem pojne vode iza drugog stupnja pojnih pumpi.

Zadnji izmjenjivački dio kotla u smjeru toka dimnih plinova je rotacioni regenerativni Ljungströmov zagrijač zraka. Tok dimnih plinova se nakon zagrijača vode dijeli u tri dijela, pa kotao ima tri regenerativna zagrijača zraka. Zrak se prije usisa tlačnih ventilatora može zagrijati pomoću parnih zagrijača.

Kotao se loži pomoću 8 gorionika ugljene prašine povezanih sa 8 ventilatorskih mlinova za ugljen. Kotao ima za potpalu 4 mazutna gorionika, te 4 mazutna gorionika za održavanje temperature pare pri upuštanju i niskim opterećenjima. Kotao ima uređaj za recirkulaciju dimnih plinova od ulaza u dimnjak na usis plinova.

Kotao se napaja pomoću elektro-pojnih pumpi s regulacijom broja okretaja pomoću Voith-spojke.

Osnovne tehničke karakteristike kotla su:

Proizvođač	»RAFAKO« Raciborž — Poljska
Tip	OP — 650 b
Kapacitet	
— maksimalni trajni	650 t/h
— ekonomični	550 t/h
— maksimalni vršni (2h na 24h)	700 t/h
Parametri svježe pare na izlazu iz kotla:	
— tlak	138 ata
— temperatura	540 °C
Temperatura napojne vode	240 °C
Temperatura međupregrijane pare na izlazu	540 °C
Količina međupregrijane pare pri maksimalnom trajnom opterećenju kotla	570 t/h
Parametri međupregrijane pare:	
— tlak pare na ulazu u kotao	26,6 ata

— tlak pare na izlazu iz kotla	24,4 ata
— temperatura pare na ulazu u kotao	330 °C

Voda za visokotlačne hladnjake:

— temperatura	240 °C
— tlak	oko 170 ata
— količina	max 168 t/h

Voda za srednjetlačne hladnjake:

— temperatura	158 °C
— tlak	oko 60 atp
— količina	max 24 t/h

Temperatura zraka:

— ispred Ljungströmova zagrijača	30 °C
— iza Ljungströmova zagrijača	250 °C

Karakteristike ugljena:

— donja ogrijevna vrijednost	1900 — 2500 kcal/kg
— ukupna vlaga	36% max 45%
— sadržaj isplinjivog	25% max 32%
— sadržaj sumpora	0,6% (srednji)

TURBINSKO POSTROJENJE

Parna turbina

Parna turbina je jednoosovinska, trokučišna, kondenzaciona sa dva izlaza pare i međupregrijanjem pare. Svaki izlaz spojen je na posebni dvostrujni kondenzator površinskog tipa. Visokotlačni dio turbine ima 12 stupnjeva, srednjotlačni dio 11, a niskotlačni dio 4 stupnja u svakom smjeru, tj. ukupno 8. Turbina ima 7 nereguliranih oduzimanja, a oduzimna para služi za regenerativno zagrijavanje kondenzata odnosno pojne vode. Zagrijavanje se vrši u četiri niskotlačna zagrijača, otplinjaču i tri visokotlačna zagrijača.

Osnovne karakteristike su slijedeće:

Proizvođač:	ZAMECH — ELBLAG
Tip	TK—200
Nominalna snaga	200 MW
Broj okretaja rotora	3000 o/min
Parametri svježe pare pred zapornim ventilima visokotlačnog dijela	
— tlak	130 ata
— temperatura	535 °C
Parametri pare na izlazu iz visokotlačnog dijela:	
— tlak	25,7 ata
— temperatura	326 °C
Parametri pare pred zaštitnim ventilima srednjetlačnog dijela:	
— tlak	22,1 ata
— temperatura	535 °C
Količina rashladne vode	25000 m³/h
Temperatura rashladne vode	20 °C

Generator

Električni generator je trofazni, direktno spojen s turbinom, a hlađen vodikom i vodom. Uzbudnik je kao i generator spojen s turbinom. Osnovne karakteristike su:

Nazivna snaga	200 MW
Nazivni napon	15 750 V
Nazivna struja	8 620 A
Faktor snage cos phi	0,85
Frekvencija	50 Hz

MJERNA MJESTA I KONTROLNI MJERNI INSTRUMENTI

U toku priprema za ispitivanje, a u skladu sa svrhom i izabranim metodama ispitivanja, određena su potrebna mjerna mjesta i odgovarajući kontrolni mjerni instrumenti. Nakon radova na izvedbi potrebnih priključaka za kontrolne mjerne instrumente neposredno prije ispitivanja izvršena je montaža instrumenata na ispitivanim postrojenjima.

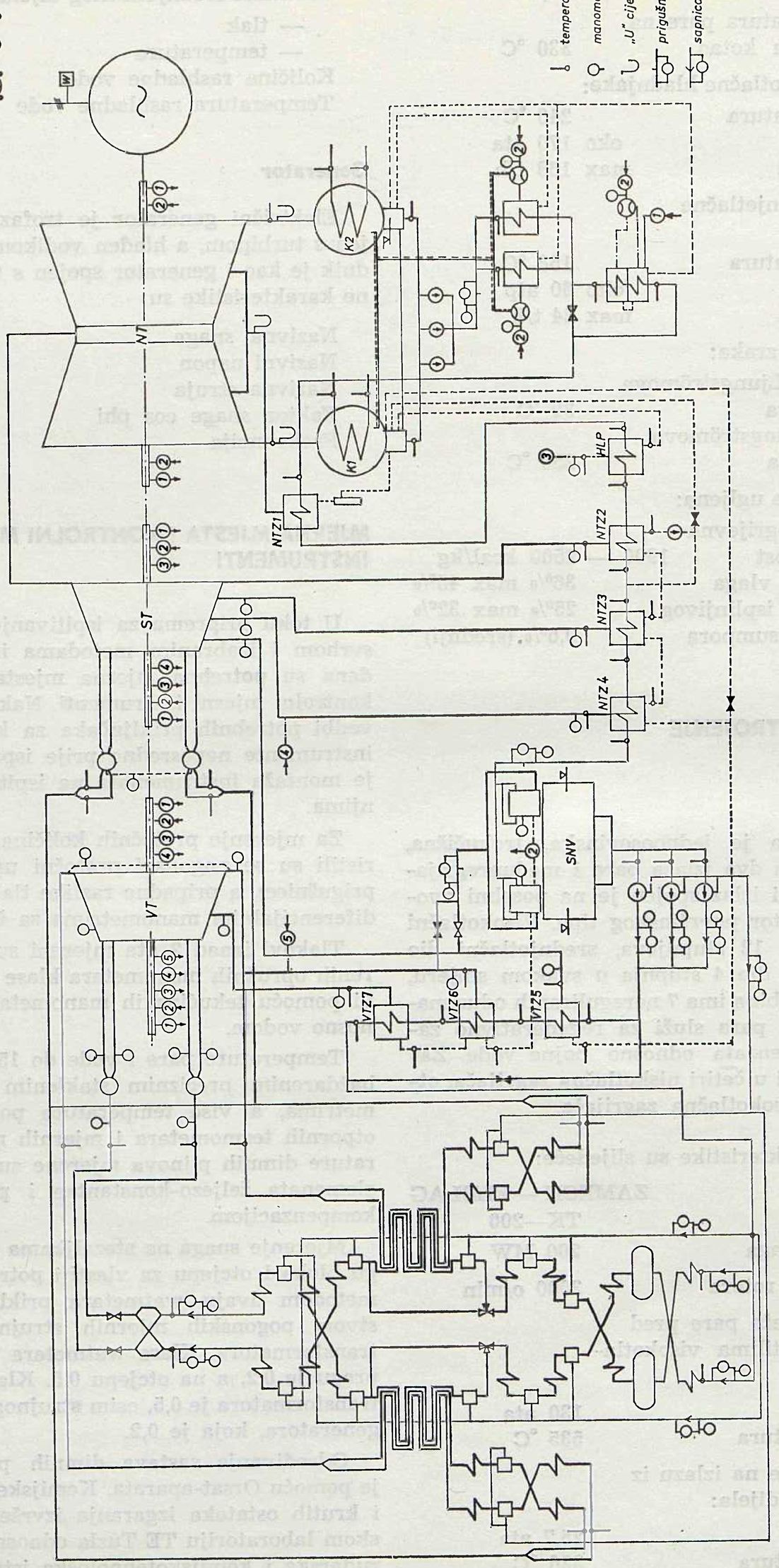
Za mjerenje protočnih količina pare i vode koristili su se pogonski protočni uređaji (sapnice i prigušnice), a pripadne razlike tlakova mjerene su diferencijalnim manometrima sa živom.

Tlakovi iznad 2 ata mjereni su pomoću baždarenih opružnih manometara klase 0,6, a niži tlakovi pomoću tekućinskih manometara sa živom odnosno vodom.

Temperature pare i vode do 150 °C mjerene su baždarenim preciznim staklenim živinim termometrima, a više temperature pomoću platinskih otpornih termometara i mjernih mostova. Temperature dimnih plinova mjerene su pomoću termoelemenata željezo-konstantan i potenciometara s kompenzacijom.

Mjerenje snaga na stezaljkama generatora, pragu bloka i otcjepu za vlastiti potrošak izvršeno je metodom dvaju watmetara priključenih posredstvom pogonskih mjernih strujnih i naponskih transformatora. Klasa watmetara na generatoru i pragu je 0,2, a na otcjepu 0,5. Klasa svih mjernih transformatora je 0,5, osim strujnog na stezaljkama generatora, koja je 0,2.

Određivanje sastava dimnih plinova izvršeno je pomoću Orsat-aparata. Kemijske analize ugljena i krutih ostataka izgaranja izvršene su u kemijskom laboratoriju TE Tuzla odnosno u Institutu za rudarska i kemijskotehnološka istraživanja Tuzla.


temperatura
manometar
„U" cijev
prigušnica
sapnica
NT
ST
VT
K1
K2
NTZ1
NTZ2
NTZ3
NTZ4
HLP
SNV
VTZ7
VTZ6
VTZ5

Sl. 1.

Na slici 1. prikazana je shema mjernih mjesta i primijenjenih instrumenata za garantna ispitivanja turboagregata. Kod ispitivanja kotla primijenjena su prikazana mjerna mjesta koja obuhvaćaju stanja i tokove pare i vode ulaz izlaz kotao, a dopunjena su mjernim mjestima na dimnim plinovima izlaz iz kotla (sastav, stanje), na zraku ulaz kotao i okolini, te mjernim mjestima za uzimanje uzoraka goriva i krutih ostataka izgaranja. Također je mjerena količina šljake, kako bi se mogla izvršiti bilanca pepela ulaz-izlaz.

Pri normativno kompleksnim ispitivanjima primijenjena su sva mjerna mjesta za ispitivanje turboagregata i kotla, uz dodatna mjerna mjesta za vlastiti potrošak električne energije bloka i količine dodatne vode za ciklus.

PROGRAM ISPITIVANJA, REŽIMI POGONA POSTROJENJA I METODE PRORAČUNA REZULTATA ISPITIVANJA

Ispitivanje kotla

Prema utvrđenom programu, ispitivanja su trebala biti provedena pri slijedećim opterećenjima: 550, 650, 700 i 400 t/h. Pri tome su opterećenja 550 i 650 t/h garantirana s obzirom na ekonomičnost, tj. stupanj djelovanja, dok je opterećenje 700 t/h maksimalno vršno. Ispitivanja su provedena prema ovom programu, osim ispitivanja kod opterećenja 700 t/h, koje se, s obzirom na sigurnost pogona bloka, nije moglo provesti. Ovo bi ispitivanje zahtijevalo puštanje u pogon redukcionih stanica na by-passu turbine te bi osjetno povećalo toplinsko opterećenje kondenzatora, što s obzirom na visoku temperaturu rashladne vode i relativno loš vakuum nije bilo dozvoljeno. Režimi pogona pri provedbi ispitivanja bili su:

- loženje kotla lignitom (Bukinje-Lipnica) i sa svih 8 mlinova
- odmuljivanje zatvoreno
- parni zagrijači zraka izvan pogona
- ispuhivanje Ljungströmova zagrijača nije vršeno.

Za vrijeme ispitivanja kotao je ložen pretičcima zraka, koji prema pogonskom iskustvu omogućuju normalan rad mlinova za konkretno stanje udarnih tijela rotora mlinova, a uz održavanje normalne zone plamena u ložištu kotla. Mlinovi su za vrijeme ispitivanja pri nominalnom i maksimalnom trajnom opterećenju kotla bili opterećeni praktički maksimalno moguće, tj. do granice gušenja, što je u znatnoj mjeri otežalo stabilno vođenje pogona kotla.

Stupanj djelovanja kotla određen je indirektnom metodom, tj. preko gubitaka. Količina međupregrijane pare utvrđena je na osnovi rezultata ispitivanja turboagregata.

Ispitivanje turboagregata

Prema programu, ispitivanja su trebala biti provedena pri slijedećim opterećenjima na stezaljkama generatora: 200, 170, 150 i 130 MW uz nominalne parametre pare i rashladne vode, te pri 200 MW uz povišenu temperaturu rashladne vode od 33 °C, a uz nominalne parametre pare. Režim pri 200 MW uz nominalne parametre pare i rashladne vode je garantiran s obzirom na specifičan potrošak topline, dok je režim pri 200 MW, a uz povišenu temperaturu rashladne vode, garantiran s obzirom na maksimalnu trajnu snagu.

Sva navedena ispitivanja su provedena. Međutim, ispitivanje maksimalne snage izvedeno je pri maksimalnoj količini pare ulaz u turbinu s obzirom na dozvoljeni tlak iza regulacionog kola visokotlačnog dijela, a ne uz temperaturu rashladne vode od 33 °C, jer je temperatura rashladne vode određena radom rashladnog tornja.

Režim pogona pri izvršenim ispitivanjima bio je:

- uključeni svi zagrijači regenerativnog ciklusa i tokovi povratnih kondenzata iz zagrijača prema projektnoj osnovi.
- uključeno ubrizgavanje pojne vode u hladnjake za međupregrijanu paru.
- u pogonu oba ejektora
- zatvoreno odmuljivanje kotlova i parni zagrijači zraka izvan pogona
- zatvorena dodatna voda za ciklus
- isključen vlastiti potrošak pare bloka.

Specifični potrošak topline turboagregata određen je prema direktnoj metodi ulaz-izlaz. Količina pare na izlazu iz visokotlačnog dijela, kao i ulaz u srednjotlačni dio određena je na osnovi toplinskih bilanca visokotlačnih zagrijača 7 i 6, a na osnovi mjerene količine pojne vode, i stanja medija na ulazu i izlazu iz zagrijača. Također je na osnovi mjerene količine kondenzata proveden proračun količina i ostalih oduzimanja na osnovi bilanca pojedinih zagrijača. Tako je utvrđena bilanca količina za cijelu turbinu. Pouzdanost izmjerenih količina provjerena je na bilanci količina za otplinjač i kondenzator. Utvrđene razlike između bilančnih i izmjerenih količina bile su u granicama toleranci mjerenih veličina. Stanje pare na izlazu iz turbine, tj. ulazu u kondenzator, utvrđeno je na osnovi jednakosti unutarnjih snaga turbine određene tokovima količina i ekspanzionom linijom te snagom na stezaljkama generatora. Količina rashladne vode određena je iz bilance topline kondenzatora.

Količine labirintnih para, koje ulaze u navedene bilance, nisu se praktički mogle utvrditi direktnim mjerenjem. Budući da isporučilac turbine nije stavio na raspolaganje odgovarajuće podatke, za proračun su korišteni podaci za turbinu 200 MW. LZM K200-130 ruske proizvodnje, koja je prema parametrima i izvedbi vrlo slična ispitivanoj turbini. Utjecaj tako utvrđenih tokova na konačne rezul-

tate praktički je zanemariv, jer su oni već glavnim dijelom uključeni putem bilanca topline unutar bilančnog kruga.

Normativna kompleksna ispitivanja bloka

Ispitivanja su provedena pri opterećenjima na stezaljkama generatora 200, 170, 150 i 130 MW. Režimi pogona bloka pri ispitivanju odgovarali su praktički normalnim eksploatacionim uvjetima. Kotao je ložen pomoću 8 mlinova od kojih je jedan radio na mrki ugljen iz Banovića, a ostali na lignit. Za vrijeme ispitivanja bio je uključen vlastiti potrošak pare za mazutno gospodarstvo, jer mazut predstavlja trajnu rezervu za slučaj poremećaja u loženju kotla. Također je vršeno ispuhivanje Ljunströmovih zagrijača u trajanju koje odgovara prosječnom potrošku pare za ispuhivanje. Gubici vode u ciklusu nadoknadljivi su dodatnom vodom. Ostali uvjeti režima pogona odgovarali su onima kod ispitivanja kotla i turboagregata.

Proračun specifičnog potroška topline goriva za snagu na stezaljkama generatora provodi se na osnovi metoda za ispitivanje kotla i turboagregata, što je već opisano.

REZULTATI ISPITIVANJA

Kotao

Pregled osnovnih rezultata garantnog ispitivanja kotla dan je u tablici 1. U tablici su dani i garantni stupnjevi djelovanja kotla za opterećenja 550 i 650 t/h. Oni su uvjetovani slijedećim: garantni ugljen donje ogrijevne moći 2 040 kcal/kg, temperatura pojne vode 240 °C, temperatura zraka ispred Ljungström zagrijača 30 °C, kotao čist i nepropustan. Prema projektnim veličinama sadržaj CO_2 u dimnim plinovima trebao bi biti na izlazu iz ložišta 15,2%, a na izlazu iz kotla 13,1%, čemu odgovaraju pretičci zraka 1,25, odnosno 1,45. Temperatura dimnih plinova trebala bi iznositi 155 °C. Isporučilac kotla nije stavio na raspolaganje korekturne krivulje za utjecaj temperature pojne vode i zraka ispred Ljungströma na izlaznu temperaturu dimnih plinova. Međutim utjecaj odstupanja tih temperatura od projektnih za provedena ispitivanja može realno ocijeniti sa $\Delta\eta = 0{,}5 \div 1\%$ u smislu povećanja izmjerenih stupnjeva djelovanja.

Ako se taj utjecaj i uzme u obzir, još uvijek su mjerenjem utvrđene vrijednosti stupnjeva djelovanja osjetno niže od garantiranih vrijednosti. Glavni razlozi tome su izgaranje s velikim pretičcima zraka i povišene temperature dimnih plinova na kraju kotla. Stvarni uzroci odstupanja tih veličina od projektnih vrijednosti nisu utvrđeni direktnim mjerenjem. Analiza rezultata mjerenja i ostalih uvjeta pri ispitivanju ukazuje da su to mlinovi za ugljen, odnosno cjelokupni uređaj mlinova i konvektivne ogrjevne površine kotla. Konačna ocjena zbog vrlo kompliciranih odnosa može se obaviti samo na temelju specijalnih ispitivanja.

Pri ovome treba imati na umu da povećani pretičak zraka uvjetuje u odnosu na projektne režime i preraspodjelu između toplina predanih na radijacionim i konvektivnim površinama, i to u smislu povećanja toplina na konvektivnim površinama, a također i povišenje izlaznih temperatura dimnih plinova. Povećanje prihvaćenih toplina u konvektivnom dijelu utječe na povećanu količinu vode za hlađenje međupregrijane pare. To se doduše ne odražava na stupnju djelovanja kotla, ali povećava specifični potrošak topline turboagregata, a prema tome i bloka u cjelini.

Turboagregat

Pregled osnovnih rezultata garantnog ispitivanja turboagregata dan je u tablici 2. Garantirani

Tablica 1.

PREGLED REZULTATA GARANTNOG ISPITIVANJA KOTLA

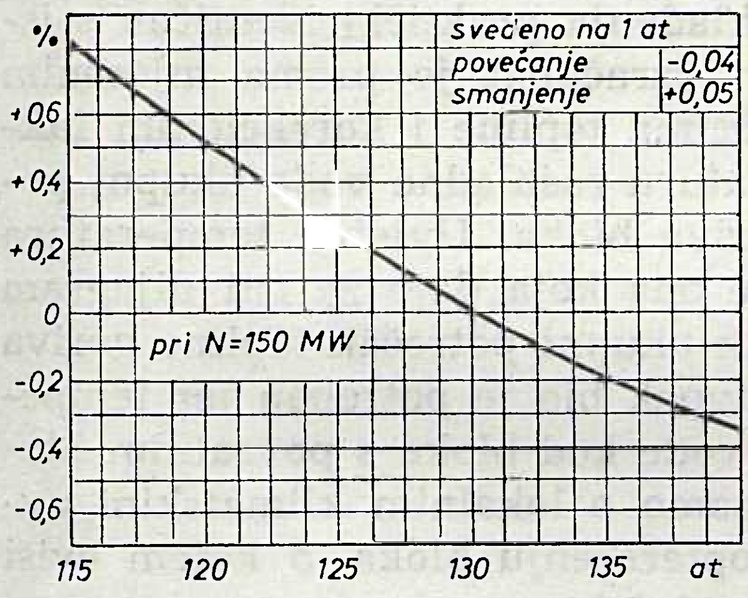
Ispitivanje				6	5	11
Opterećenje:	nazivno		t/h	400	550	650
	ostvareno		t/h	384,0	522,6	635,7
Stupanj djelovanja kotla		η	%	81,16	82,32	84,39
Toleranca mjerenja stupnja djelovanja		$\Delta\eta$	%	± 2,30	± 1,98	± 1,68
Donja ogrijevna vrijednost ugljena		Hd	kcal/kg	2 330	2 128	2 403
Dimni plinovi izlaz iz kotla:	temperatura		°C	179,4	188,4	186,8
	sadržaj CO_2		%	8,60	9,59	10,87
Temperatura zraka:	okolina	t_o	°C	15,4	16,5	23,4
	ulaz Ljungström	t_u	°C	48,8	47,1	52,4
	izlaz Ljungström	λ	°C	278,9	286,7	289,3
Pretičak zraka:	ispred Ljungströma	λ		1,859	1,608	1,501
	izlaz kotla	t		2,180	1,965	1,750
Temperatura napojne vode			°C	219,9	234,8	244,9
Količina vode za hlađenje:	visokotlačni hladnjaci	W_{UVT}	t/h	82,486	127,886	132,135
	srednjetlačni hladnjaci	W_{UST}	t/h	13,035	22,742	44,309
Garantni stupanj djelovanja kotla			%		87,5	87,0

Tablica 2.

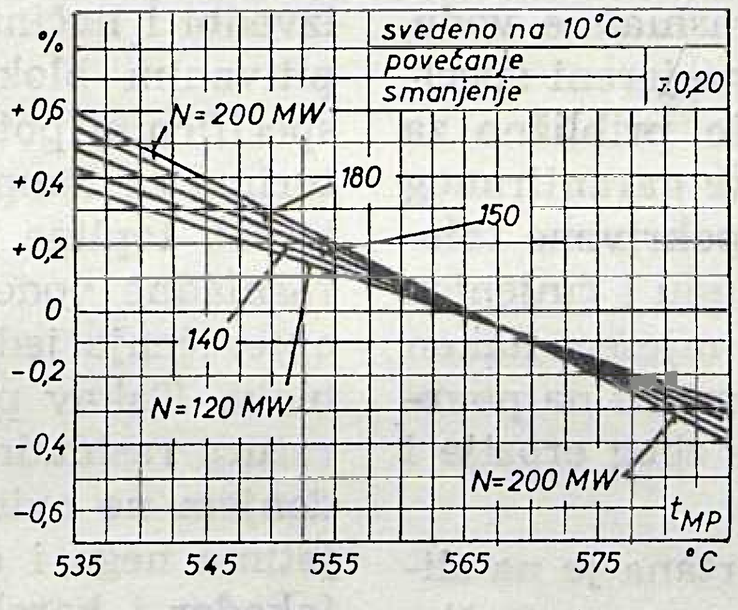
PREGLED REZULTATA GARANTNOG ISPITIVANJA TURBOAGREGATA

Ispitivanje			3	2	1	4	12
Snaga na stezaljkama generatora		MW	132,960	151,455	169,709	201,446	208,695
Količina svježe pare ulaz u turbinu		t/h	407,1	463,5	523,8	619,1	646,9
Parametri svježe pare ispred VTD:	tlak	ata	130,37	130,49	131,57	129,52	131,51
	temperatura	°C	533,7	530,7	532,0		539,8
Parametri pare ispred STD:	tlak	°C	15,32	17,12	19,85	23,35	24,67
	temperatura	°C	533,4	534,6	534,1	534,5	537,0
Pad tlaka u međupregrijaču	$\Delta p/p_{STD}$	%	14,69	16,65	15,87	15,29	16,21
Odnos ST ubrizgavanje/svježa para		%	2,98	2,12	1,77	4,02	3,07
Temperatura napojne vode izlaz zagrijač 7		°C	223,4	229,1	236,2	244,8	247,2
Temperatura rashladne vode ulaz		°C	28,18	27,91	27,82	27,68	29,80
Količina rashladne vode		t/h	27 683	27 467	27 342	27 585	26 716
Izmjereni potrošak topline:	ukupni	Gcal/h	291,244	325,128	363,047	429,698	443,279
	specifični	kcal/kWh	2 190,5	2 146,7	2 139,2	2 133,1	2 124,1
Korigirani potrošak topline:	ukupni	Gcal/h	284,021	317,943	356,759	420,503	432,064
	specifični	kcal/kWh	2 136,1	2 099,3	2 100,5	2 087,4	2 070,3
Toleranca mjerenja spec. potroška topline		%	± 1,37	± 1,38	± 1,33	± 1,33	± 1,33

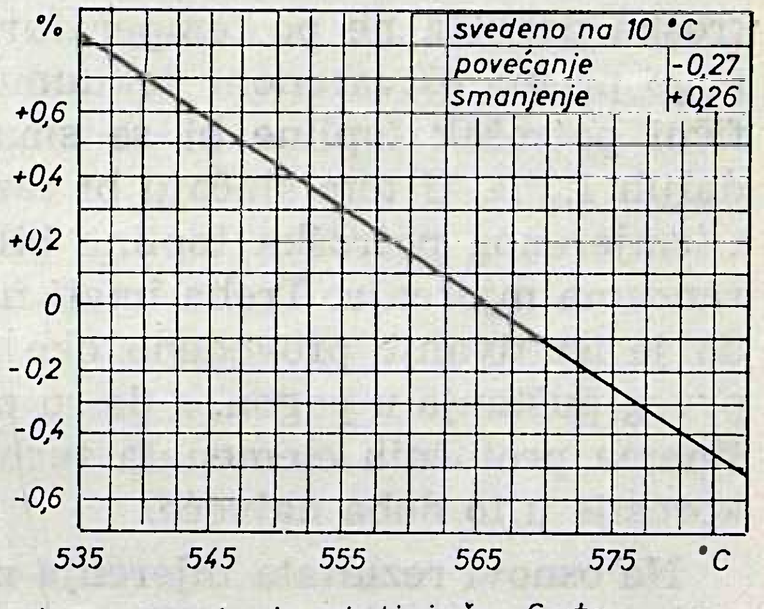
a) Za odstupanje tlaka svježe pare od nominalnog



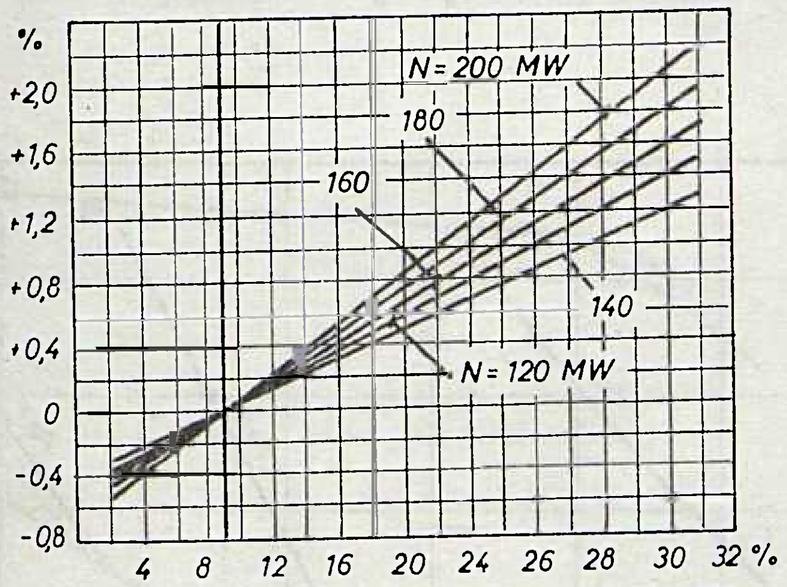
b) Za odstupanje temperature međupregrijane pare od nominalne



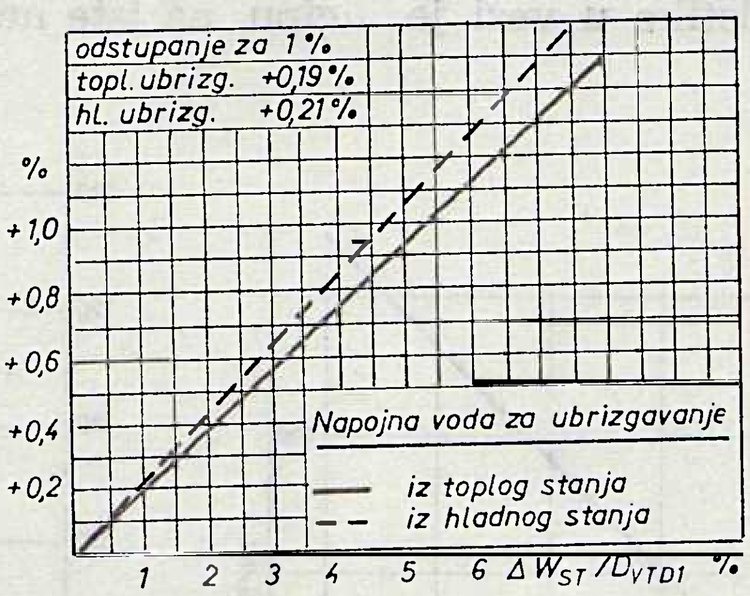
c) Za odstupanje temperature svježe pare od nominalne



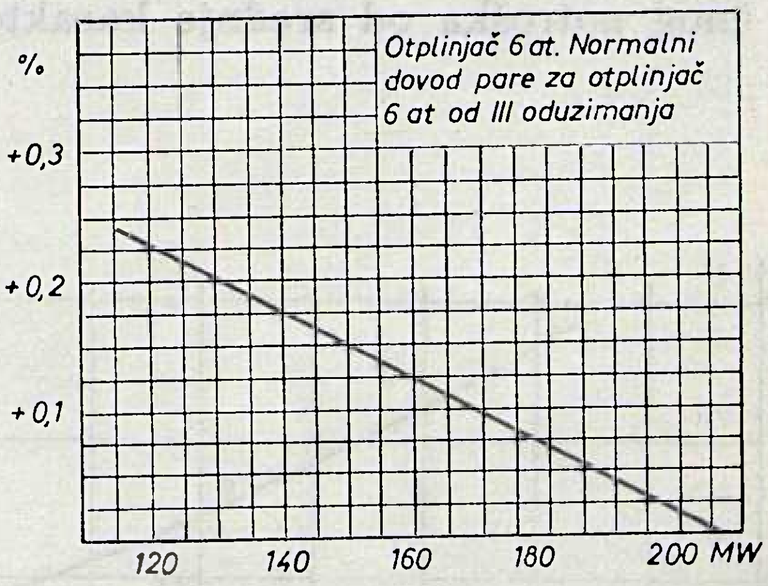
d) Za odstupanje pada tlaka u traktu međupregrijača



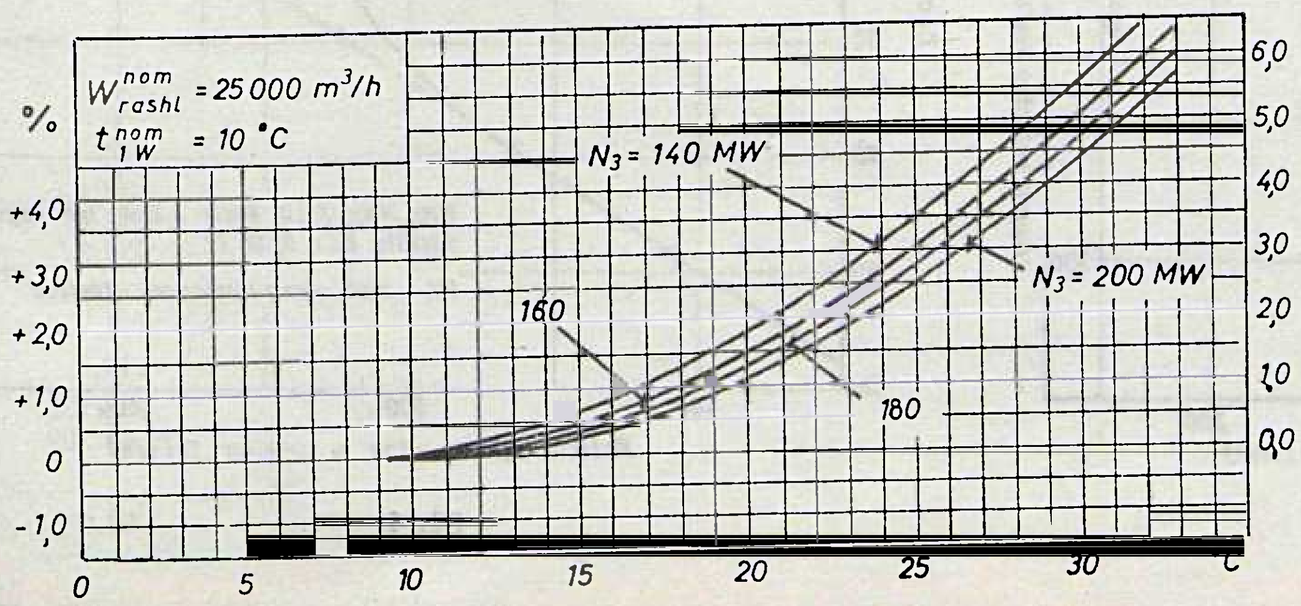
e) Za uključivanje ubrizgavanja u međupregrijač



f) Za napajanje otplinjača 6 ata parom II oduzimanje



g) Za odstupanje temperature rashladne vode od nominalne



Sl. 2.

specifični potrošak topline iznosi 2 034 kcal/kWh kod snage 200 MW na stezaljkama generatora, a uz nominalne parametre svježe i međupregrijane pare, te uz količinu rashladne vode 26 000 t/h i temperaturu od 24 °C. Budući da isporučilac postrojenja nije dao korekturne krivulje za svođenje izmjerenih specifičnih potrošaka na nominalne uvjete i parametre, primijenjene su korekturne krivulje za turboagregat 200 MW LMZ K 200-130 slične izvedbe i parametara. Korekturne krivulje su dane na slici 2.

Informativna usporedba garantiranog i korigiranog potroška topline pokazuje razliku od + 2,63 % odnosno povećani specifični potrošak za 53,4 kcal/kWh. Međutim rezultati ispitivanja pokazuju da je rad kondenzatora lošiji nego što bi trebao biti. Na to posebno upozoravaju velike temperaturne ralike između pare na izlazu iz turbine i rashladne vode izlaz. Vjerojatni uzrok te pojave jest prodor zraka u kondenzator, a ne čistoća rashladne površine. To potvrđuje i činjenica da se pogon vodi s oba parna ejektora, a ne s jednim kako bi to bilo normalno.

Ako bi se korektura izmjerenog specifičnog potroška provela ne po temperaturi rashladne vode, nego prema ostvarenom vakuumu izmjereni specifični potrošak topline bi se smanjio približno za daljih 1,3%. U tom slučaju bi razlike garantiranog i izmjerenog potroška topline bile pokrivene tolerancama mjerenja. Treba imati na umu i činjenicu da je ispitivanje provedeno oko 14 mjeseci nakon prvog puštanja u pogon, a da su promjene na površinama protočnih elemenata turbine zbog erozije i korozije u to doba najveće.

Na osnovi rezultata mjerenja nacrtana je na slici 3. karakteristika specifičnog i ukupnog potroška topline. Odstupanje izmjerenih vrijednosti specifičnog potroška od srednje karakteristike u vezi je s različitim gubicima prigušivanja u regulacionim ventilima visokotlačnog dijela za pojedine režime. Na osnovi mjerenih tlakova iza regulacionih ventila dan je dijagram ovisnosti ovih tlakova o količini pare ulaz u turbinu na slici 4.

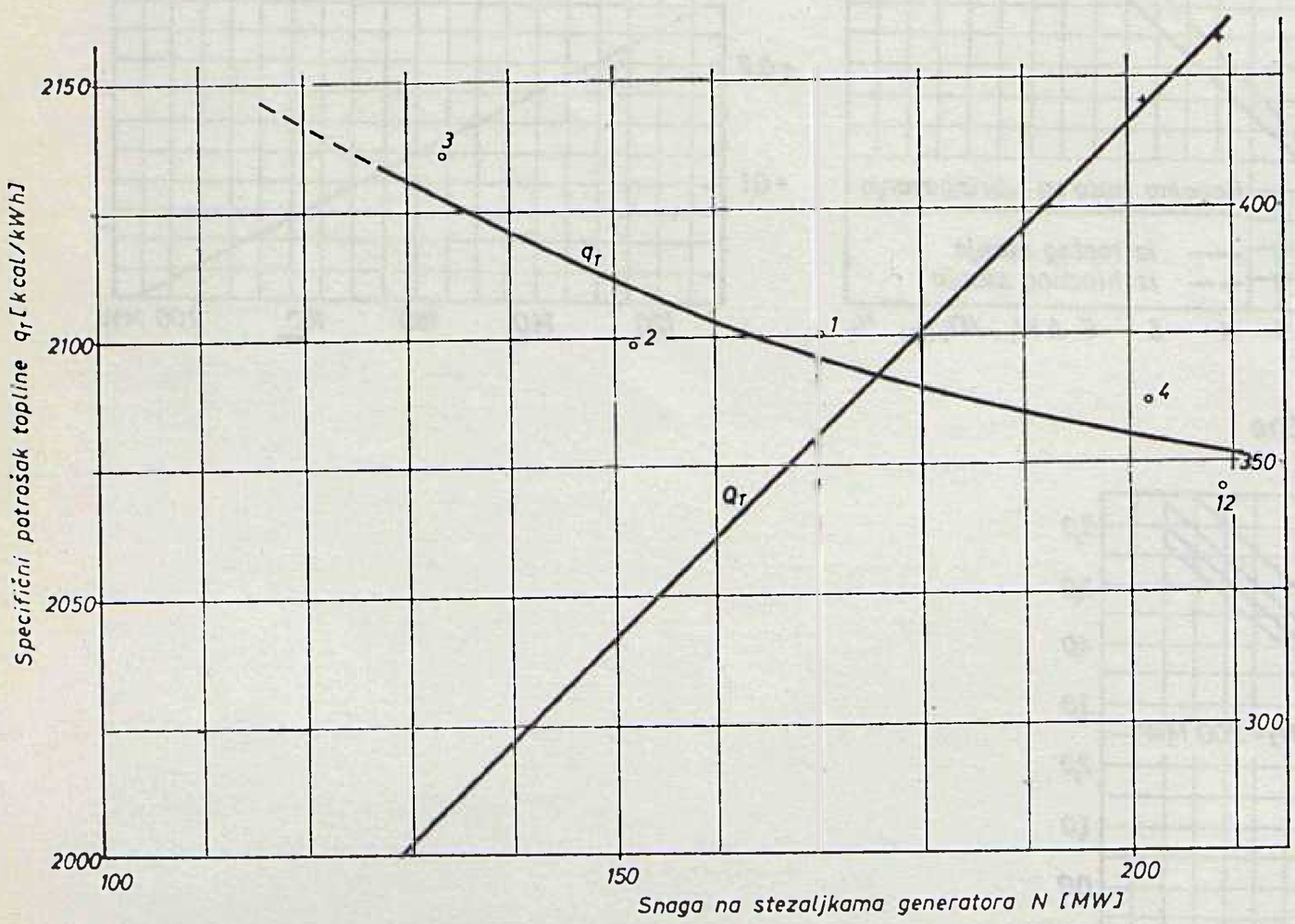
Blok

Osnovni rezultati mjerenja i obračuna za normativna kompleksna ispitivanja bloka dani su u tablici 3.

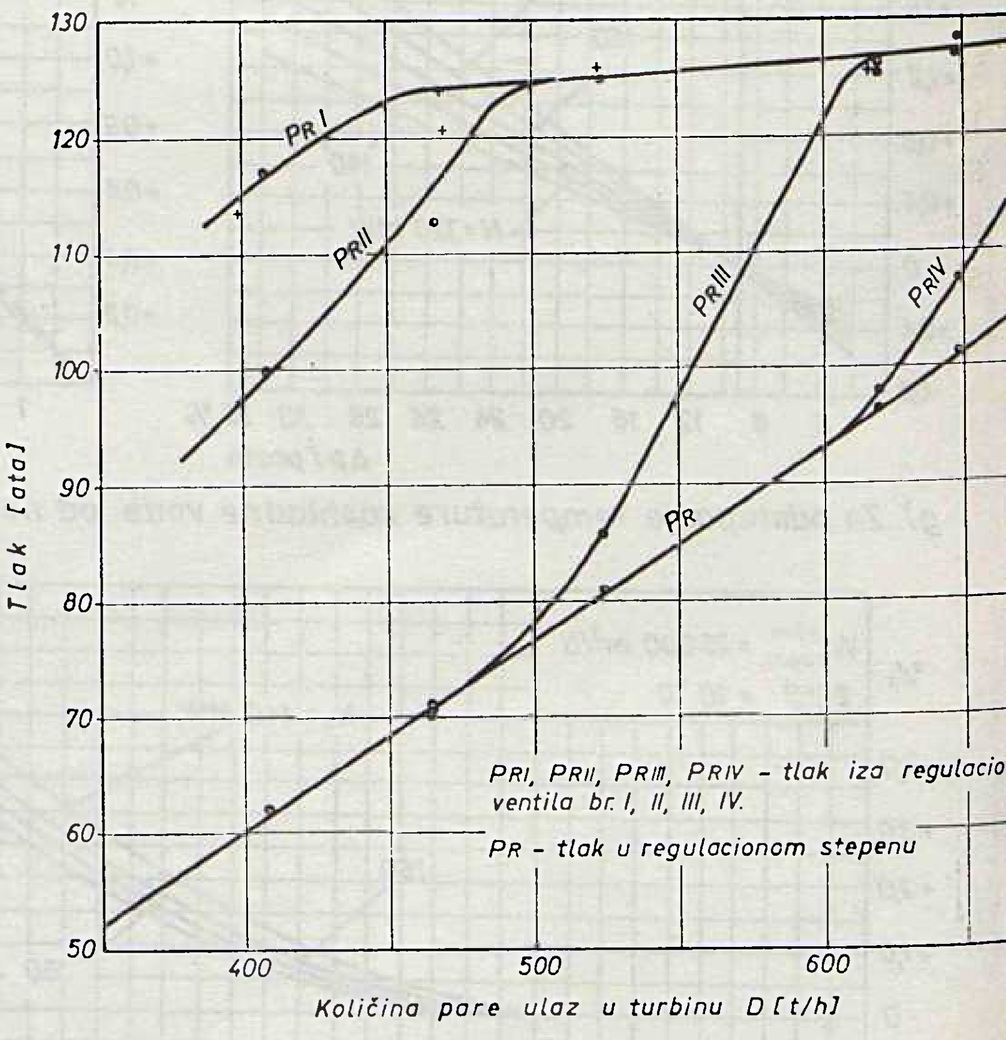
Bruto specifični potrošak topline bloka korigiran je samo s obzirom na temperaturu rashladne vode, jer sve ostale utjecajne veličine proizlaze iz karakteristika, pogonskog stanja i načina vođenja pogona postrojenja. Budući da korigirani bruto specifični potrošak topline treba poslužiti kao osnova za normativni potrošak topline bloka u ovisnosti isključivo o opterećenju, to je pri određivanju uvjetne temperature rashladne vode proveden slijedeći postupak.

Na osnovi podataka pogonske evidencije o proizvodnji, opterećenju i stvarnim temperaturama rashladne vode bloka IV TE Tuzla, koji je prema izvedbi i načinu hlađenja praktički identičan s ispitivanim blokom, izračunat je prema mjerenim specifičnim potrošcima topline i korekcionim faktorima za temperaturu rashladne vode ukupni potrošak topline goriva bloka. Uvjetna temperatura rashladne vode je ona koja daje za isti dijagram opterećenja jednak ukupni potrošak topline goriva bloka. Takav postupak bio je potreban jer temperatura rashladne vode kod bloka s povratnim hlađenjem ne ovisi samo o lokalnim klimatskim uvjetima nego i o opterećenju bloka, o kojem ovisi također i korekcioni faktor.

Rezultati ispitivanja bloka upozorili su, u principu, na iste nedostatke postrojenja i režima vođe-



Sl. 3.



Sl. 4.

Tablica 3.

PREGLED REZULTATA NORMATIVNO KOMPLEKSNOG ISPITIVANJA BLOKA

Ispitivanje				10	8	7	9
Snaga na stezaljkama generatora			MW	128,700	152,535	171,882	199,860
Količina svježe pare ulaz turbina			t/h	398,1	468,2	522,0	616,4
Stupanj djelovanja kotla		η	%	83,05	84,32	84,27	83,37
Toleranca mjerenja stupnja djelovanja		$\Delta\eta$	%	± 2,06	± 1,75	± 1,74	± 1,79
Donja ogrijevna vrijednost ugljena		Hd	kcal/kg	2 282	2 237	2 284	2 335
Dimni plinovi izlaz iz kotla:	temperatura		°C	175,9	183,3	185,0	186,5
	sadržaj CO_2		%	9,25	10,52	10,38	10,93
	pretičak zraka			2,001	1,788	1,834	1,723
Temperatura napojne vode			°C	222,1	229,4	235,5	244,5
Temperatura zraka:	okolina		°C	22,5	22,8	23,7	21,1
	Ljungström ulaz		°C	54,9	56,2	53,8	52,4
Količina vode za hlađenje:	visokotlačni hladnjaci		t/h	78,904	123,265	135,083	140,352
	srednjetlačni hladnjaci		t/h	19,196	22,341	26,867	35,017
Temperatura rashladne vode ulaz			°C	28,25	29,42	28,39	29,03
Količina rashladne vode			t/h	27 243	27 245	27 399	27 255
Količina dodatne vode			t/h	21,75	20,97	18,67	20,98
Brutto specifični potrošak topline bloka:	izmjereni		kcal/kWh	2 732,1	2 646,7	2 630,9	2 649,7
	korigirani		kcal/kWh	2 684,3	2 590,6	2 586,7	2 601,0
Tolerancija mjerenja specifičnog potroška topline			%	± 2,44	± 2,19	± 2,18	± 2,22
Vlastiti potrošak električne energije bloka*			MW	12,162	13,503	14,142	16,482
			%	9,45	8,85	8,23	8,25

*Uključeni i gubici u blok-transformatoru

nja pogona koji su postojali na garantnim ispitivanjima. Nešto boljim uvjetima u pogledu stabilnosti režima loženja i izgaranja pridonio je pogon jednog mlina s mrkim ugljenom iz Banoviča. Postignuti su nešto povoljniji i ujednačeniji pretičci zraka u ispitivanom dijapazonu opterećenja, ali je istovremeno dolazilo do jačeg zašljakivanja u ložištu, a posebno na odsisima dimnih plinova za mlinove.

OSVRT

Provedena ispitivanja bloka pokazala su da stvarni uvjeti pogona osjetno odstupaju od projektnih vrijednosti, i to posebno na kotlovskom postrojenju. To se odražava negativno u ekonomsko energetskim pokazateljima bloka direktno preko stupnja djelovanja kotla i specifičnog potroška topline turboagregata, a i indirektno preko povećanog vlastitog potroška električne energije. Svrha i opseg provedenih ispitivanja nisu bili takvi da bi se mogli utvrditi jednoznačno i stvarni uzroci svih odstupanja, odnosno optimalni uvjeti pogona pri postojećem stanju temeljne energetske opreme bloka. Zbog toga bilo bi potrebno prvo provesti relativno opsežna dopunska ispitivanja radi određivanja mjera za dotjerivanje postrojenja, a zatim ispitivanja da bi se utvrdili optimalni uvjeti pogona.

LITERTURA

1. »Tehnički izvještaj o garantnim ispitivanjima kotla OP-650 B u TE Tuzla«
2. »Tehnički izvještaj ispitivanja turboagregata TK 200 Zamech Elbag snaga 200 MW u TE Tuzla«
3. »Tehnički izvještaj kompleksnog normativnog ispitivanja bloka V snaga 210 MW u TE Tuzla«

Naslov pisca:

Stjepan Ivančić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu u Zagrebu, Zagreb

NOVOSTI U PREPORUKAMA ZA JAVNU RASVJETU

Edo Širola, Zagreb

Od izdanja publikacije No 12 o rasvjeti javnih prometnica prošlo je već 12 godina. U međuvremenu doneseno je mnogo novosti koje je autor pokušao sistematski iznijeti i objasniti i prikazati njihovom praktičnom primjenom.

DK 621.31 : 618,9

1. UVOD

Međunarodna komisija za rasvjetu (Commission Internationale de l' Eclairage Kratica CIE) izdala je godine 1965. svoju već poznatu publikaciju №12 pod nazivom »Recommandations Internationales pour l' ecla irage des voies publiques«*, s namjerom da na međunarodnom planu sumira i preporuči tadašnja saznanja na području primjene osnovnih principa i kriterija u rasvjetljavanju javnih putova.

Od tada je prošlo gotovo 12 godina, a u tom je razdoblju učinjen značajan napredak na području ove veoma značajne i specifične problematike. To se posebice odnosi na unifikaciju nekih bitnih gledišta na međunarodnom planu koji su u tom prvom dokumentu bili nedorečeni i pomalo uopćeni. Proračuni luminacije, jednolikosti i blještanja te definicija refleksivnih svojstva površina kolnika bili su u to doba u središtu veoma žive stručne rasprave i u tom prvom dokumentu dali su se samo naslutiti putovi i ciljevi, ali su metode bile još prilično neusklađene i prilično nejasne.

Dvanaestogodišnje razdoblje prilično intenzivnog istraživanja donijelo je niz krupnih i čak mogli bi reći fundamentalnih novosti u čitavoj ovoj sferi. Zadatak ovog članka nije u tome da se upušta u sve detalje tih novosti, već da ih sistematizira i, koliko to opseg članka dopušta, objasni te prikaže njihovu praktičnu primjenu našoj široj javnosti koja se bavi tim problemom.

Terminologija sasvim novih stručnih pojmova uzeta je u slobodnom prijevodu bez pretenzije da se definitivno usvoji. Svaka sugestija u tom pravcu dobro je došla.

Publikacije što ih je u razdoblju od 1965. godine do danas izdala CIE, a odnose se općenito na rasvjetu javnih cesta i prostora javnog značaja jesu slijedeće (svi nazivi su navedeni u originalu i u slobodnom prijevodu autora):

1. »Recommendations for the Lighting of Roads for motorized Traffic« (Preporuke za rasvjetu prometnica s motornim prometom), Publication CIE NO 12/2, TC-4.6, 1975.

2. »Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting-«, (Proračun i mjerenja luminacije i rasvjetljenosti u cestovnoj rasvjeti) Publication CIE NO 30, TC-4.6, 1976.

3. »Glare and Uniformity in Road Lighting Installations« (Blještanje i jednolikost u instalacijama cestovne rasvjete) Publication CIE NO. 31, TC-4.6, 1976.

4. »Depreciation et Entretien des Installation d' Eclairage Public« (Opadanje vrijednosti i održavanje instalacije javne rasvjete), Publication CIE NO. 33, TC-4.6, 1976.

5. »International Recommendations for Motorway Lighting« (Međunarodne preporuke za rasvjetu auto-cesta) Publication CIE NO. 23, TC-4.6, 1972.

6. »International Recommendations for Tunnel Lighting« (Međunarodne preporuke za rasvjetu tunela), Publication CIE NO. 26, TC-4.6, 1973.

7. »Road Lighting Lantern and Installation Data — Photometrics, Classification and Performance« (Svjetiljke za javnu rasvjetu i fotometrijski podaci, klasifikacija i izvedba instalacije javne rasvjete), Publication CIE NO ....., TC 4.6, 1975.

8. »Points Speciaux en Eclairage Public« (Javna rasvjeta specifičnih mjesta), Publication CIE NO. 32, TC-4.6 1976.

9. U ovu seriju publikacija možemo uvrstiti i tehničke izvještaje komiteta TC-4.5. koji obrađuju problematiku rasvjetljavanja parkova, pješačkih zona, ulica, prostora posebnog arhitektonskog značenja itd.

Može se odmah zapaziti da su navedenim publikacijama praktički pokrivena sva područja rasvjete javnih putova i prostora. To je opsežna stručna literatura od preko 350 stranica štampanog teksta, koja radi detaljnog upoznavanja zahtijeva velik trud i priličnu dozu tehničkog predznanja.

2. MEĐUNARODNE PREPORUKE ZA RASVJETU PROMETNICA S MOTORNIM PROMETOM

Publikacija CIE No 12/2 (TC — 4.6) 1975*

To su osnovne preporuke koje razrješavaju svu fundamentalnu problematiku, pa će u ovom članku biti uglavnom govora o njima i njihovu sadržaju. Osim publikacije br. 23 i 26 (rasvjeta auto-cesta i rasvjeta tunela), sve su ostale publikacije tehnički izvještaji pojedinih tehničkih komiteta CIE koji se bave pojedinom specifičnom problematikom.

---

* Publikacija je kod nas prevedena pod nazivom »Preporuke za rasvjetu javnih puteva« (prevodilac R. Žurić)

2.1. Svrha preporuka

Svrha je preporuka dati prikaz fundamentalnih načela kojih se treba pridržavati kod rasvjetljavanja glavnih prometnica s motornim prometom, te preporučiti neke od opće priznatih tehničkih saznanja i usvojenih mjerila i vrijednosti. Iza tih principa i spoznaja stoje stručnjaci Tehničkog komiteta TC-4.6, Međunarodne komisije za rasvjetu, koji su imali na umu napomene pojedinih nacionalnih komiteta zemalja učlanjenih u CIE.

Od zemlje do zemlje različita je tehnika rasvjetljavanja. Različite su i mogućnosti te konstruktivni izgled i način korištenja prometnica. Stoga ni nacionalni propisi pojedinih zemalja u praksi ne mogu biti identični, jer ovise o specifičnim uvjetima pojedine zemlje. Unatoč tome moguće je definirati određene principe i tehničke metode koje se mogu općenito primijeniti.

Sama metodologija pristupa u rješavanju prikladnosti javne rasvjete veoma je različita, a istraživanja na tome još su u toku. U ovim preporukama dane su one spoznaje i one metode i principi koji su u praktičnoj primjeni dala tehnički dobra i ekonomski prihvatljiva rješenja.

Preporuke nisu propisi, a ponajmanje one pretendiraju da budu međunarodne. One, međutim, treba da budu i temelj za izradu nacionalnih preporuka i propisa i u većini zemalja članica CIE, a to i jesu.

2.2. Svrha javne rasvjete

U definiciji osnovne svrhe javne rasvjete u biti se nisu izmijenila nekadašnja stajališta, da dobra javna rasvjeta treba osigurati siguran i udoban automobilski promet noću, sličan onome danju.

Uočljivo je, međutim, da novi dokument više inzistira na ovom drugom zahtjevu, zahtjevu udobnosti, što je sasvim i shvatljivo s obzirom na to da su istraživanja u proteklom desetljeću napravila velik skok naprijed upravo na onim zahtjevima dobre javne rasvjete koji se odnose na udobnost (ograničenje bliještanja, jednolikost luminancije površine kolnika i optičko i vizualno vođenje), o čemu će biti više govora u nastavku.

2.3. Definicija vidnog zadatka korisnika puta (vozač)

Kažimo odmah da je čitav širi aspekt javne rasvjete baziran na definiciji vidnog zadatka vozača kao jedinog mjerodavnog korisnika puta. Zadatak pješaka je manje složen, iako baš njegove pogreške u kretanju mogu biti fatalne i za njega i za vozača. U usporedbi s vidnim zadatkom vozača ipak je njegov manje značajan. Pri tome se, naravno, polazi od uobičajene pretpostavke da će se udovoljiti težim zahtjevima vozača posredno osigurati dobri uvjeti viđenja pješaka.

Dok je ranija definicija ovog zadatka polazila od standardne prepreke (L3), sadašnji dokument taj sintetizirani zadatak razgrađuje u tri istovremene faze dobivanja vidnih informacija, i to:

1. dobivanja informacije o kriteriju toka puta ispred vozača,
2. dobivanja informacije o položaju i kretanju objekta u neposrednoj blizini ispred vozača (pješaci, druga vozila itd.),
3. dobivanja informacije o promjenama u njegovoj neposrednoj okolici (njegov položaj u toku prometa i druga vozila).

Tako definiran zadatak nešto je teži od uočavanja standardne prepreke. Naime, za taj je zadatak bilo dovoljno osigurati određeni nivo luminacije, dok se za ovako definiran zadatak mora osigurati i lakoća zapažanja. Sada postaje jasno da se zahtjev za udobnošću u javnoj rasvjeti ne može smatrati luksuzom bez kojega se može, već udovoljavanje tom zahtjevu proizlazi iz same definicije vidnog zadatka vozača u noćnoj vožnji. Ili, recimo to drukčije: Instalacija javne rasvjete s lošom jednolikošću, izrazitim bliještanjem i slabim optičkim i vizualnim vođenjem ne omogućava da vozač ostvari svoj osnovni vidni zadatak sigurno i udobno, pa je prema tome takva instalacija loša (unatoč činjenici što nivo luminacije takve instalacije može biti i relativno visok).

2.4. Kriteriji kvalitete cestovne rasvjete

Da bi vozač mogao sigurno i udobno slijediti tok prometnice, izbjegnuti prepreke i donositi odluke o promjenama u okolnom toku prometa (3 faze vidnog zadatka), treba mu omogućiti dobro viđenje. To je noću praktički neizvedivo putem farova na samim kolima, već je zato neophodan dobar i kvalitetan sistem cestovne rasvjete, čiji su kriteriji kvalitete podređeni tom zahtjevu.

Što se sigurnosti tiče, u osnovi je samog zahtjeva da se tok ceste može slijediti i vidjeti na dovoljnoj udaljenosti ispred. To je praktički zahtjev za vizualnim vođenjem. Zato nam je potreban određen nivo luminacije površine kolnika i ništa više.

Da bi se uočili objekti (posebno manji) u neposrednoj blizini, osim nivoa potrebna je i određena jednolikost distribucije te svjetlosne energije na površini kolnika.

Akomodacija ljudskog oka ovisna je o nivou srednje luminacije površine kolnika i vrijedi ono pravilo; što je oko više akomodirano, to bolje je viđenje. Rasvijetljena ili nerasvijetljena okolina same prometnice ima dakle neposredan utjecaj kako na stupanj akomodacije oka, tako i na viđenje prepreka (putem silueta).

Svi ti dobri uvjeti viđenja ne smiju se smanjiti mogućim bliještanjem svjetiljki pa ga je stoga potrebno ograničiti na dopuštenu mjeru.

S aspekta udobnosti svi su ti kriteriji još stroži; manje, doduše, nivo i vizualno vođenje, a mnogo više jednolikost i ograničenje blještanja.

Dakle, sumarno, kriteriji kvalitete cestovne rasvjete jesu:

— određen nivo luminacije površine kolnika,

— određen stupanj jednolikosti luminacije površine kolnika,

— određen nivo rasvjetljenosti okoline same prometnice,

— ograničenje bliještanja,

vizualno vođenje.

U usporedbi s prijašnjom porukom novost je u zahtjevu za određenim stupnjem rasvjetljenosti okoline prometnice.

Time se ujedno više i ne pravi razlika između prometnica u naseljenim mjestima i izvan njih.

2.5. Preporučene numeričke vrijednosti kriterija cestovne rasvjete

Tablica 1. daje sve numeričke preporučene vrijednosti definiranih kriterija cestovne rasvjete. Te su vrijednosti danas opće prihvaćene kao minimum s tehno-ekonomskog aspekta. Odnose se samo na suhi kolnik, ali njihovo striktno poštivanje osigurava određeni stupanj sigurnosti prometa i u relativno lošijim vremenskim uvjetima.

Današnja znanja još nam, na žalost, ne omogućavaju precizno utvrđivanje međusobnih odnosa odabranih kriterija. Zbog toga je nemoguće točno reći kako se izbor npr. veće jednolikosti od preporučene može nadomjestiti relativno nižim nivoom srednje luminacije ili većim dopuštenim stupnjem bliještanja. Isto tako nije još moguće dati dodatne kvantitativne zahtjeve za uvjete mokrog kolnika, jer do danas raspoloživa znanja o refleksionim svojstvima mokrih površina kolnika nisu dovoljna da bi se mogle uvrstiti u međunarodne preporuke.

Kažimo jedino da je i kod mokrih površina poželjno imati dobru jednolikost luminacije, a opće je prihvaćeno da je stupanj opće jednolikosti veći od 20% prihvatljivo rješenje. Nije do sada utvrđen način kako bi se takva vrijednost mogla unaprijed predvidjeti i proračunati s dovoljno točnosti. Može se uzeti opće pravilo da će se gubitak kvalitete po kišotivom vremenu moći ograničiti primjenom relativno grubih površina asfalta ili kod onih kod kojih su u samoj recepturi dodani umjetni (sintetični) sastojci. I jedna i druga vrsta površina relativno slabo mijenja svoja refleksivna svojstva po kišovitom vremenu. Što se tiče same distribucije svjetlosne energije povoljnija je primjena svjetiljka s jačom poprečnom krivuljom raspodjele svjetlosti.

Sve vrijednosti dane u tablici I. predstavljaju minimalne vrijednosti, osim za »T I« koje predstavljaju maksimalne vrijednosti.

Vrijednosti dane u tablici I. sadrže zahtjeve za sigurnost i udobnost istovremeno. Nemoguće je za

PREPORUČENE BROJČANE VRIJEDNOSTI KRITERIJA KVALITETE CESTOVNE RASVJETE — *Tablica 1.*

KLASA PROMETNICE	OKOLINA	SREDNJA RAZINA LUMINANCIJE SUHE POVRŠINE KOLNIKA Lm (cd/m²)	JEDNOLIKOST LUMINANCIJE		OGRANIČENJE BLJEŠTANJA	
			Srednja jLm (%)	Uzdužna jLu (%)	Psihološko G	Fiziološko TI (%)
A	—	2	40	70	6	10
B	Svjetla	2			5	
	Tamna	1			6	
C	Svjetla	2		50	5	20
	Tamna	1			6	10
D	Svjetla	2			4	20
E	Svjetla	1			4	
	Tamna	0.5			5	

sada reći koji se dio navedenih vrijednosti odnosi na sigurnost, a koji na udobnost. Zna se samo to, i to valja izričito naglasiti (kod nas se u praksi ova činjenica često zanemaruje), da se ne može odstupati od jedne vrijednosti bez posljedica na sve ostale. Istraživanja pojedinih udjela ovih vrijednosti posebno na zahtjev sigurnosti, a posebno na zahtjev udobnosti te njihovi međusobni utjecaji tek predstoje.

Svjetlotehnički zahtjevi iz tablice I. ne uključuju u sebi zahtjeve za vizualnim i optičkim vođenjem, o čemu će biti govora nešto kasnije.

Ovdje također nisu obuhvaćeni zahtjevi za rasvjetom specijalnih mjesta (mostovi, raskrižja itd.).

2.5.1. Nivo luminacije površine kolnika

Dane vrijednosti u tablici I. srednje su vrijednosti luminacije površine kolnika, i to vrijednosti koje treba održati tijekom trajanja instalacije.

Vrijednost od 2 cd/m² pokazala se kao najprihvatljiviji kompromis između zahtjeva dobrog viđenja i ekonomike instalacije cestovne rasvjete.

Niži nivoi preporučljivi su samo za prometnice s ograničenim prometom.

2.5.2. Rasvjetljenost okoline

Dok su metode za utvrđivanje nivoa i jednolikosti luminacije površina kolnika poznate, veoma je teško numerički kvalificirati luminacije okoline. Ako se objekt promatra u pravcu nerasvjetljene pozadine, postoji velika opasnost njegove kamuflaže. Premda je dobro i jednolično rasvjetljena traka kolnika opće prihvaćeni znak kvalitete, ako je okolina ovako rasvjetljene prometne trake previše tamna, postoji realna opasnost lošijeg viđenja u tamnijim potezima prometnice (radi ranije akomodacije oka na relativno visok stupanj jednoliko rasvijetljenog kolnika).

Stoga u tamnijoj okolini naglasak treba dati na rasvjetu okolice, dok se na samom kolniku mogu prihvatiti niži nivoi. Isto tako u takvim tamnim okolinama potrebno je pooštriti i zahtjev za ograničenjem bliještanja.

U svijetlim okolinama potrebna je, međutim, svijetla i jednolika površina kolnika kako bi se tok prometnice jasno istakao unutar takve opće rasvijetljene okoline.

Pokazalo se dobrim, da je približno 5 m širok pojas izvan ruba kolnika rasvijetljen do nivoa koji nije manji od 50% nivoa rasvjetljenosti susjednih 5 m kolnika.

2.5.3. Jednolikost luminacije

Jednolikost luminacije površine kolnika osigurava dobro viđenje i vidni komfor vozaču.

Za dobro viđenje preporuke definiraju minimalni omjer srednje jednakosti luminacije površine kolnika.

$$j\,L_m = \frac{L_{min}}{L_m} \cdot 100\,(\%) \qquad (1)$$

a za vidni konfor definirana je uzdužna jednolikost luminacije površine kolnika:

$$j\,L_u = \frac{L_{min\,(u)}}{L_{max\,(u)}} \cdot 100\,(\%) \qquad (2)$$

gdje su:

L_{min} — minimalna vrijednost luminacije unutar polja promatranja (cd/m²)

L_m — srednja luminancija površine kolnika (cd/m²)

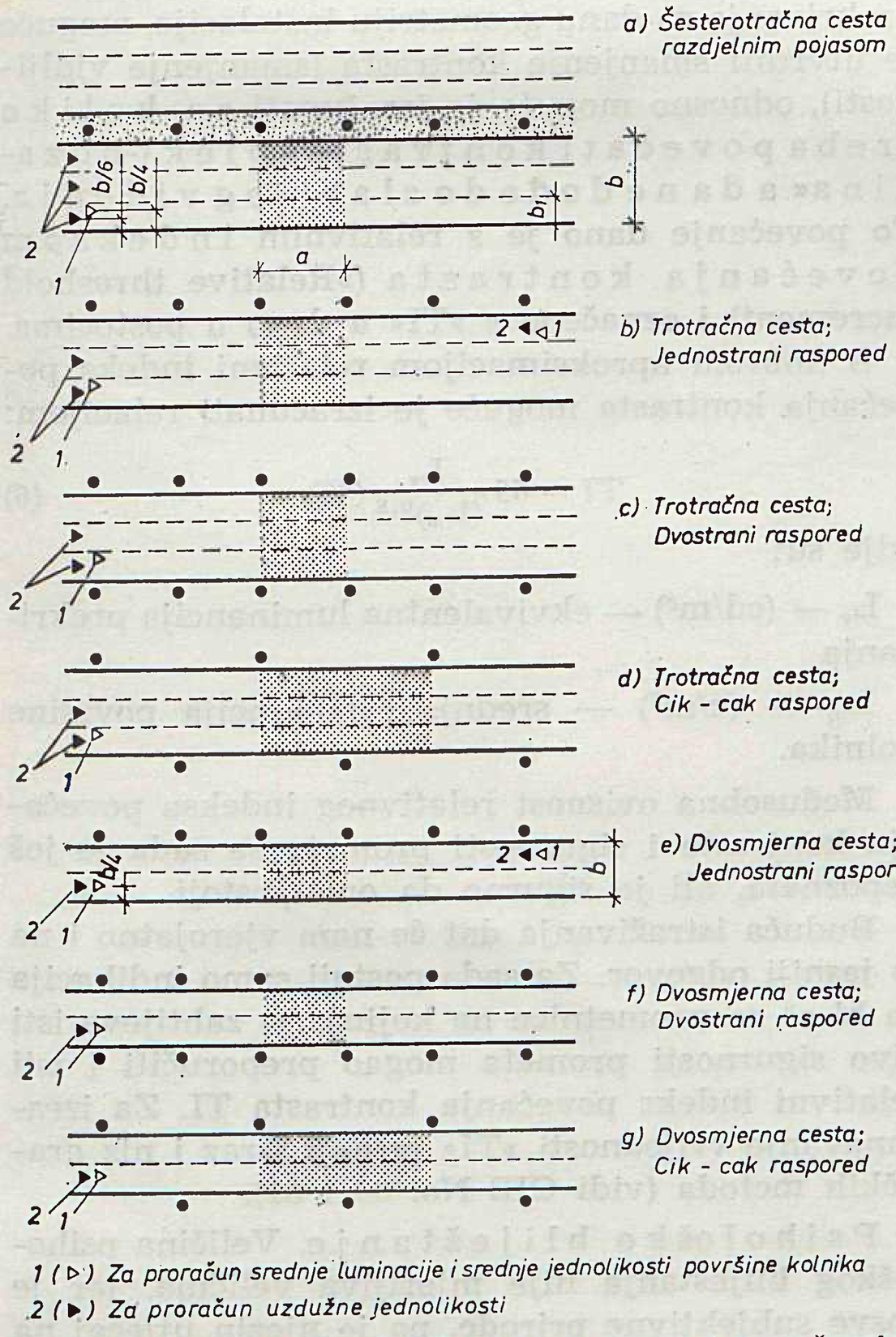
$L_{max\,(u)}$ i $L_{min\,(u)}$ — maksimalna odnosno minimalna vrijednost luminancije po sredini svake prometne trake promatrane iz sredine same trake.

Slika 1. daje prikaz definiranih položaja točaka promatranja i polja proračuna na ravnom dijelu nekoliko tipskih prometnica i nekoliko vrsti rasporeda instalacije, i to za proračun srednje i uzdužne jednolikosti luminancije površine kolnika.

Iz ekonomskih razloga ponekad je nužno prihvatiti i nešto niže vrijednosti jednolikosti. U tom slučaju poželjno je zadržati vrijednosti za srednju jednolikost (dobro viđenje), a za uzdužnu jednolikost uzeti nešto niže vrijednosti (komfor). Način proračuna luminancije vidi (L3 ili publikacije CIE br. 3).

Napomena: Zanimljivo je uočiti da u dosadašnjim preporukama nema zahtjeva za poprečnom jednolikosti luminacije, zahtjevom s kojim su operirale preporuke nekih zemalja u prošlom razdoblju i o kojemu se vodila veoma žustra diskusija. To isto vrijedi i za tzv. opću jednolikost luminacije površine kolnika.

Pokazalo se da je za dobru javnu rasvjetu dovoljno voditi brigu o srednjoj i uzdužnoj jednolikosti.



Sl. 1. Primjeri definiranih točaka promatranja i proračunskih polja na ravnim dijelovima prometnice

2.5.4. Bliještanje

Kada se u vidnom polju promatrača pojavi neki izvor svjetlosti čija je luminancija u pravcu promatrača znatno veća od one u drugim okolnim pravcima njegova vidnog polja, taj će izvor izazvati bliještanje. Ono raste s povećanjem luminancije i prividne veličine izvora svjetlosti, sa smanjenjem luminancije pozadine i smanjenjem kuta pravca promatranja s pravcem koji spaja oko i izvor svjetlosti.

Prvi efekt bliještanja je slabije viđenje.

Kvantitativni mjerljivi pokazatelji viđenja su:

— osjetljivost na kontrast

— oštrina viđenja

— brzina vidnog zapažanja.

Osjetljivost na kontrast jest osjetljivost na zapažanje razlika luminancija, oštrina viđenja sposobnost zapažanja finih detalja, a vidna brzina potrebno vrijeme zapažanja nekog objekta zadane prividne veličine i zadanog kontrasta u odnosu prema pozadini. Sve se te tri veličine smanjuju ako se bliještanje povećava.

Bliještanje koje prouzrokuje smanjenje viđenja poznato je pod nazivom fiziološko bliještanje (»Disability glare«) zbog toga što je to prva fiziološka reakcija koja se može i mjeriti.

Međutim. nezavisno od ovog fiziološkog efekta, bliještanje ima još jedan efekt koji je mnogo teže precizno opisati, a još teže mjeriti. To je stanovit osjećaj neugodnosti zapažen kod promatrača pod-

vrgnutog bliještanju, te stanovit umor prouzrokovan od te čak i neznatne neugodnosti ako je promatrač podvrgnut bliještanju duže vrijeme. U prvi mah može se pretpostaviti da je ta nelagodnost prouzrokovana pretežno od fiziološkog efekta bliještanja. Eksperimentalnim je putem, međutim, dokazano da je takva nelagodnost prisutna i tamo gdje su mjerenja pokazala da nikakvog fiziološkog bliještanja nema. Čak se može dogoditi da u tim slučajevima ta neugodnost bude izrazito jaka. Bliještanje koje prouzrokuje takvu psihičku neugodnost poznato je pod nazivom psihološko bliještanje (»discomfort glare«).

Fiziološko bliještanje. Granica vidnog polja vozača putničkog automobila obično je 20° iznad i 10° ispod horizonta, odnosno 30° lijevo i 60° desno od centra vidnog polja. Unutar tog područja vidljive su svjetiljke koje rasvjetljavaju cestu, pa do vozačeva oka dopire svjetlosna energija:

a) luminancija kolnika L_A

b) luminancija objekta L_B

c) luminancija niza svjetiljaka L_C.

Budući da luminancije niza svjetiljaka koje se nalaze u vidnom polju promatrača također djeluju na fotoreceptore organa vida istovremeno s luminancijama L_A i L_B, jasno je da centar organa vida prima istovremeno sve te svjetlosne utiske.

Prisjetimo se, naime, da proces viđenja uvijek jednako započinje, svjetlom koje ulazi u oko donoseći informacije što ju je pokupio dodirujući i prolazeći kroz predmete na svom putu.

Kontrast između objekta i pozadine, kada se ne bi mogle vidjeti svjetiljke u vidnom polju, iznosi:

$$C_o = \frac{L_A - L_B}{L_A}. \qquad (3$$

Prisutnost svjetiljaka u vidnom polju povećava stimulaciju fotoreceptora organa vida, pa se luminancija svjetiljaka istovremeno pribraja luminanciji kolnika i luminanciji objekta. Zapravo na imaginarnu sliku objekta i pozadine na mrežnici oka superponira se veličina luminancije niza svjetiljaka povećavajući tako stimulaciju fotoreceptora na višu razinu. Organ vida se automatski adaptira na viši nivo podražaja i teži da otvor zjenice prilagodi tom podražaju, pa ako je podražaj relativno velik u odnosu na podražaj fotoreceptora od imaginarne slike objekta i pozadine, dolazi do smanjivanja otvora zjenice i tako ujedno i do smanjenja intenziteta podražaja fotoreceptora uzrokovanih samo luminancijom objekta i pozadine (to je posebno uočljivo kod vožnje u susret vozilu noću na nerasvijetljenoj prometnici).

Kontrast u tom slučaju iznosi:

$$C_1 = \frac{(L_A + L_C) - (L_B + L_C)}{L_A + L_C} = \frac{L_A - L_B}{L_A + L_C} < C_o. \qquad (4)$$

Dolazi dakle do smanjivanja kontrasta što za posljedicu ima slabije viđenje.

Eksperimentalnim putem je utvrđeno kolika je veličina luminancije L_C još prihvatljiva a da pri tome ne dolazi do spontane redukcije kontrasta, odnosno slabijeg viđenja.

Periferno vidno polje, isključivši zonu od 2° centralnog vidnog polja, povećava nivo adaptacije oka za oko 7%, što znači da se oko adaptirano na luminanciju L_A koja se nalazi u centralnom vidnom polju, zbog utjecaja luminancije izvora blještanja L_C koja se nalazi u perifernom vidnom polju, na luminanciju 1,07 L_A, što je definirano kao ekvivalentna luminancija prekrivanja (L_V = veiling luminance). Svako daljnje povećanje adaptacije oka izaziva dojam bliještanja. Veličina ekvivalentne luminancije prekrivanja može se izračunati prema relaciji:

$$L_v = k \cdot \Sigma E_i \cdot \Theta_i^{-2} \, (cd/m^2). \qquad (5)$$

gdje je:

k — konstanta koja ovisi o nizu faktora od kojih je starosna dob promatrača najvažnija.

Iz praktičnih razloga uzeto je:

$k = 10$ — ako je Θ uzet u stupnjevima

$k = 3 \cdot 10^{-3}$ — ako je Θ uzet u radijanima

E_i = (lx) rasvijetljenost oka od pojedinih izvora svjetlosti »i« koji izazivaju bliještanje

Θ_i = kut između pojedinih izvora bliještanja i pravca promatranja.

Poznavajući veličinu ekvivalentne luminancije prekrivanja za danu geometriju instalacije, moguće je utvrditi smanjenje kontrasta (smanjenje vidljivosti), odnosno moguće je izračunati za koliko treba povećati kontrast »objekt-pozadina« a da ne dođe do slabijeg viđenja. To povećanje dano je s relativnim indeksom povećanja kontrasta (»Relative threshold increment) i označeno s »TI« a dano u postocima.

S dobrom aproksimacijom relativni indeks povećanja kontrasta moguće je izračunati relacijom:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0,8}} \, (\%) \qquad (6)$$

gdje su:

L_v — (cd/m^2) — ekvivalentna luminancija prekrivanja

L_m — (c/m^2) — srednja luminancija površine kolnika.

Međusobna ovisnost relativnog indeksa povećanja kontrasta i sigurnosti prometa za sada je još nepoznata, ali je sigurno da ona postoji.

Buduća istraživanja dat će nam vjerojatno i na to jasniji odgovor. Za sada postoji samo indikacija da bi se za prometnice na kojima se zahtijeva isti nivo sigurnosti prometa mogao preporučiti i isti relativni indeks povećanja kontrasta TI. Za izračunavanje vrijednosti »TI« postoji izraz i niz grafičkih metoda (vidi CIE No. 30 i 31).

Psihološko bliještanje. Veličina psihološkog bliještanja nije mjerljiva veličina, jer je posve subjektivne prirode, pa je njezin utjecaj na vozača ispitivan statističkim metodama na statisti-

čkom modelu u laboratoriju i na dinamičkom modelu u stvarnosti.

Nelagodnost uzrokovana psihološkim blještanjem definirana je oznakom psihološkog blještanja »G« koja na brojčanoj skali od 1 do 9 opisno izražava subjektivnu ocjenu stupnja postignute nelagodnosti, i to kako slijedi:

G = 1 »nepodnošljivo«
G = 3 »smetajuće«
G = 5 »prihvatljivo«
G = 6 »zadovoljavajuće«
G = 9 »neprimjetno«.

Utvrđeno je (eksperimentalno) da subjektivna ocjena psihološkog blještanja, pa prema tome i popratna vrijednost oznake »G« ovisi o nekim fotometrijskim i geometrijskim svojstvima instalacije rasvjete, a može se izraziti empirijskom formulom:

$$G = 13{,}84 - 3{,}31 \log I_{80} + 1{,}3 \left(\log - \left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{\frac{1}{2}} - \right.$$

$$- 0{,}08 \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1{,}28 \log F \; 0{,}97 \log L_m + 4{,}41 \log h' -$$

$$- 1{,}46 \log p \qquad (7)$$

gdje je:

I_{80}, I_{88}(cd) — jakost izvora svjetlosti svjetiljke emitiranih u meridionalnoj ravnini paralelno s osi kolnika (Co-ravnina) pod kutem od 80° odnosno 88° ($\gamma = 80°$, odnosno $\gamma = 88°$)

F (m^2) — svjetleća površina svjetiljke gledana pod kutem 80° prema vertikali

L_m(cd/m^2) — srednja luminancija površine kolnika

h' (m) — visina svjetiljaka iznad visine kolnika

p — broj svjetiljaka na kilometar dužine prometnice.

Međusobni odnos između oznake »G« i subjektivne ocjene psihološkog blještanja temelji se na velikom broju laboratorijskih pokusa.

Preporuke koje se odnose na blještanje. Preporuke koje se odnose na ograničenje blještanja kod cestovnih rasvjetnih instalacija dane su u tablici I pod oznakama »G« i »TI«, a dane numeričke vrijednosti su granične (minimalna za »G« i maksimalna za »TI«).

Uočljivo je da su dane različite vrijednosti »G« i »TI« ovisno o svijetloj ili tamnoj okolini. Svijetla okolina (naseljena mjesta) pridonose općoj luminanciji vidnog polja na takav način da je efekat blještanja manji, pa i zahtjev za njegovim ograničenjem može biti manji.

2.6. Vizualno i optičko vođenje

U novim preporukama uočljivo je pojmovno razdvajanje vizualnog i optičkog vođenja, a što je u prijašnjoj definiciji bilo sadržano pod općim pojmom optičkog vođenja.

2.6.1. Vizualno vođenje

Zahtjev za vizualnim vođenjem kod instalacije cestovne rasvjete predstavlja u biti zahtjev za dobrim viđenjem površine kolnika u odnosu prema okolini, te dobrim viđenjem cestovnih pomagala za vođenje prometa kao što su oznake na cesti, branici i slično. Da bi cestovne oznake bile što uočljivije, preporuča se upotreba materijala koji su ne samo svijetli, već i grube strukture, pa zadržavaju svoja relativno dobra refleksivna svojstva i po lošem vremenu.

2.6.2. Optičko vođenje

Skladnim rasporedom niza svjetiljki koje prate sam tok ceste te iz velike udaljenosti upozoravaju na pojedina opasna mjesta, kao što su npr. raskrižja, udovoljava se zahtjevu optičkog vođenja. Vidljivi niz svijetlećih izvora daje informaciju o toku ceste, pa pogrešno smještena svjetiljka može zbog toga simulirati pogrešan pravac ceste i dovesti do opasnih situacija i nesreća. Osim nekih općih pravila ne postoje posebne preporuke koje be se u tu svrhu mogle dati.

Dosljednost u izboru sistema, geometrije i boje izvora svjetlosti pridonijet će dobrom optičkom vođenju. Treba izbjegavati svako rješenje gdje previše svjetlosnih mjesta čine suviše veliku zbrku umjesto da rasvjetljavaju tok ceste.

Kod rasvjete s visokim stupovima, optičko vođenje putem svjetiljaka općenito nedostaje pa se ovdje više pažnje treba pokloniti vizualnom vođenju, tj. drugim prometnim pomagalima, a manje svjetlotehničkim.

2.7. Klasifikacija prometnica

Idealno i s gledišta sigurnosti i udobnosti prometa preporučljivo je primijeniti visok standard rasvjete na svim prometnicama. Iz ekonomskih razloga još nije moguće rasvijetliti sve prometnice, posebno one u nenaseljenim mjestima, niti osigurati visok standard rasvjete na onima koje već imaju instalaciju, ali zastarjelu.

S obzirom na standard rasvjete koji valja primijeniti prometnice su svrstane prema kapacitetu, sastavu i brzini prometa, a ne prema konstruktivnim ili arhitektonskim vrijednostima.

Broj nesreća, posebno onih s fatalnim posljedicama, raste s većom brzinom prometa te u mješovitom prometu. Utvrđeno je da se relativno najveće smanjenje prometnih nesreća postiže dobrom cestovnom rasvjetom upravo na prometnicama s velikim dopuštenim brzinama i vrlo mješovitim prometom. Rasvieta takvih prometnica treba stoga biti najviše kvalitete.

Na prometnicama nižeg ranga treba osnovne zahtjeve sigurnosti zadržati (Lm, j Lm i TI), a

KLASIFIKACIJA PROMETNICA — Tablica 2.

KLASA PROMETNICE		GUSTOĆA I BRZINA PROMETA	PROMETNA SVOJSTVA PROMETNICE	PRIMJERI
MOTORNI PROMET	A	Vrlo velika i velika	Odvojeni prometni kolnici. Raskrižja u dvije razine. Potpuna kontrola pristupa.	Autoceste Brze ceste
	B		Važne prometnice samo za motorni promet; moguće posebne trake za spori promet i (ili) pješake.	Magistralne ceste (glavne prometne i prometne ceste)
	C	Velika i srednja ili Vrlo jaki, mješoviti promet srednje brzine	Važnije ceste svih namjena u naseljima i gradskim područjima	Zaobilaznice Radijalne ceste
MJEŠOVITI PROMET	D	Jak i mješovit promet; Uglavnom spori promet ili pješaci	Ceste u centru grada ili centru s trgovinama, prilazne ceste službenim zgradama i područjima gdje se automobilski promet sreće sa sporim prometom ili pješacima	Glavne prometne ceste Industrijske ceste Trgovačke ceste itd.
	E	Mješovit promet male gustoće i male brzine prometa	Sabirne ceste između stambenih područja (stambene ceste)	Sabirne ceste Lokolne ceste itd.

smanjiti zahtjeve koji se odnose na udobnost $j L_u$ i G). Tablica II. daje prikaz klasifikacije prometnica na kojima je potrebno primijeniti adekvatne svjetlotehničke zahtjeve prema tablici I.

2.8. Cijena dobrobiti cestovne rasvjete

Ovo je sasvim nov kvantificirani pojam unesen u preporuke, a odnosi se na već dokazanu dobrobit koju dobar sistem cestovne rasvjete pruža korisnicima prometa. Zahtjevi za rasvjetom prometnica proizlaze iz spoznaje o sve većoj ekonomskoj koristi koja se postiže smanjenjem nesreća noću.

Jasno je da nijedna zemlja neće moći naći financijska sredstva da rasvijetli svu svoju cestovnu mrežu u skoroj budućnosti, pa je stoga potrebno utvrditi:

a) godišnji program izgradnje rasvjetnih instalacija određene prometne mreže,

b) prioritet pojedinih dionica koje će biti uključene u takav program.

Kako općenito važniji putovi nose i opseg prometa, broj prometnih nesreća bit će približno razmjeran gustoći prometa, pa se ta gustoća može uzeti kao gruba kvalitativna mjera za utvrđivanje prioriteta rasvjetljavanja.

Preporuča se, međutim, da se primijene i drugi kriteriji za utvrđivanje prioriteta realizacije rasvjetnog programa, a to je c i j e n a d o b r o b i t i r a s v j e t n o g s i s t e m a. To je posebno važno da bi se istaknula činjenica da je sistem javne rasvjete e k o n o m s k a k a t e g o r i j a i da podliježe svim zakonitostima ekonomike pa se na taj način lakše nalaze putovi i načini za osiguranje potrebnih novčanih fondova.

2.8.1. Kriteriji utvrđivanja dobrobiti cestovne rasvjete

Troškovi jednog cestovnog rasvjetnog sistema jesu:

— osnovna cijena instalacije uključivo i amortizacija

— godišnji troškovi održavanja uključivo zamjena žarulje

— godišnji troškovi utrošene električne energije.

Moguće koristi od jednog cestovnog rasvjetnog sistema jesu:

— smanjenje broja prometnih nezgoda općenito a posebno onih s fatalnim posljedicama);

— udobnost vozača (kod današnjih kvalitetnih sistema rasvjete moguće je zaključiti o neposrednom utjecaju udobnosti na smanjenje prometnih nesreća; to je, međutim, teško precizno kvantificirati);

— smanjenje vremena putovanja (do sada, doduše nije precizno utvrđena ova moguća dobrobit, ali sve upućuje da bi istraživanja u tom pravcu dala pozitivni rezultat);

— povećanje noćnih putovanja (do sada nema jasnih dokaza o tome, ali je to povezano i s relativno skromnim programom rasvjete, prometnica izvan naseljenih mjesta. Veće korištenje prometne mreže tokom 24 sata predstavlja važnu ekonomsku korist);

— estetski (mišljenja su podijeljena da li rasvjeta uljepšava ili nagrđuje noćni pejzaž. To je veoma teško kvantificirati. Tako jedina realna korist koju je za sada moguće i novčano izraziti jest potencijalno očekivano smanjenje prometnih nesreća noću).

2.8.2. Sadašnja vrijednost programa cestovne rasvjete

Ako je:

C — osnovna cijena koštanja instalacije rasvjete

M — godišnji troškovi održavanja (uključivo i zamjena žarulja)

E — godišnji troškovi utrošene energije

A — godišnja novčana dobrobit koja se očekuje od smanjenja noćnih nesreća,

tada je sadašnja vrijednost (SV) jednog programa cestovne rasvjete približno dana relacijom:

SV = nabavna vrijednost — otpis

ili

$$Sv = e_1 A - e_2 A - e_3 E - C \qquad (8)$$

Faktori e_1, e_2 i e_3 različiti su za pojedine zemlje, ovisno o ekonomskim instrumentima pojedine od njih, ali općenito ovise o vijeku trajanja instalacije te očekivanih godišnjih porasta za vrijednosti M, A i E. Analiza tih ekonomskih pokazatelja za našu zemlju može predstavljati veoma interesantan zadatak.

Ako je SV pozitivna, a to znači očekivana korist veća od troškova, planirani program je ekonomski opravdan. Ako se želi dobiti veličina prioriteta pojedinog od planiranih programa često se koristi i odnos SV/C.

3. ZAKLJUČCI

1. Nova publikacija CIE No. 12/2 osim sigurnosti naglašava sve više udobnost kao osnovni zahtjev dobre javne rasvjete.

2. Kao novost, međunarodne preporuke uvode rasvijetljenost okoline, pa se time gubi ranija podjela na prometnice izvan i unutar naseljenih mjesta.

3. Jednolikost luminancije površine kolnika definirana je srednjom (osigurava dobro viđenje) i uzdužnom (osigurava određeni komfor). Za sve klase prometnica od auto-cesta do sporedne prometnice najniža vrijednost luminancije površine kolnika ne smije biti manja od 40% od srednje.

4. Nove preporuke daju numeričke kvantificirane veličine, kriterije i metode za izračunavanje (a prema tome i ograničavanje) utjecaja fiziološkog i psihološkog blještenja.

5. Vizualno i optičko vođenje pojmovno je razdvojeno u odnosu prema ranijoj definiciji koja je u praksi često dovodila do zabune.

6. Rasvjeta prometnica najvišeg ranga treba imati i rasvjetu najviše kvalitete. Na prometnicama nižeg ranga treba obavezno zadržati osnovne zahtjeve koji osiguravaju sigurnost prometa (Lm, j Lm i TI), a smanjiti zahtjeve koji se odnose na udobnost. (j L_u i G).

7. Nove su preporuke definitivno prihvatile već otprije poznata stajališta o direktnom utjecaju javne rasvjete na sigurnost prometa. U tom smislu preporuke sugeriraju i metode vrednovanja tog stajališta, što instalaciju svake cestovne rasvjete čine normalnim investicijskim objektom koji podliježe svim ekonomskim zakonitostima.

Sa stajališta šire društvene kvalifikacije to znači da se u cestovnu rasvjetu i te kako isplati ulagati. To je značajna novost u odnosu na česta gledišta da je cestovna rasvjeta samo nužno zlo, pa se u praksi prave kompromisi na račun njezine kvalitete.

LITERATURA

L1. Publikacije CIE No. 12/2, 23, 26, 30, 31 i 32, te ostali tehnički izvještaji

L2. J. B. de Boer, Public Lighting, Philips technical Library, Eindhoven, 1967.

L3. E. Širola, Usporedna razmatranja o preporukama za javnu rasvjetu ENERGIJA, br. 3—4, 1975, str. 108—118.

Naslov pisca:

Edo Širola, dipl. ing.
Industrijski projektni zavod Zagreb
OOUR Industrijsko projektiranje

Svojim suradnicima

i čitateljima sretnu i

uspješnu 1978. godinu želi

Uredništvo

MJERNI TRANSFORMATORI ZA 400 kV-NU MREŽU SFRJ

Petar Vešić, Zagreb

Prikazana je koncepcija te statičke i dinamičke karakteristike mjernih transformatora stupnja izolacije Si 420 razvijenih i izrađenih po vlastitom rješenju u »Radi Končaru«, a namijenjenih za ugradnju u jugoslavensku mrežu 400 kV.

DK 621.317

1. UVOD

U »Radi Končaru« razvijeni su i proizvodeni strujni i kapacitivni naponski transformatori za najviši pogonski napon mreže 420 kV namijenjeni za ugradnju u mrežu 400 kV SFRJ.

Transformatori su građeni u skladu s tehničkim zahtjevima Zajednice jugoslovenske elektroprivrede i propisima JUS i IEC, a mogu biti izrađeni i ispitani i u skladu s drugim propisima.

Razvoj transformatora se temeljio na teorijskim postavkama i proračunima te bogatom iskustvu stečenom projektiranjem i proizvodnjom mjernih transformatora za 220 kV.

Ispravnost proračuna i projekata potvrđena je ispitivanjima na prototipovima i transformatorima iz serijske proizvodnje.

2. ZADAĆA MJERNIH TRANSFORMATORA U MREŽI 400 kV

Mjerni transformatori u svojoj osnovnoj namjeni imaju zadatak da transformiraju mjerenu struju, odnosno napon, u jednom praktički stalnom omjeru i gotovo bez faznog pomaka, na vrijednosti prikladne za mjerenje te da mjerne instrumente i opremu izoliraju od visokog napona mreže čiji se napon, odnosno struja, mjere.

Budući da se na naponskom nivou 400 kV prenose relativno velike količine energije, to i male pogreške prijenosnog odnosa struja i napona ili mali fazni pomak između primarne i sekundarne veličine gledano u apsolutnom iznosu, mogu izazvati velike pogreške u mjerenju energije. Zbog toga se traži da ovakvi transformatori zadovolje relativno visoku klasu točnosti. Također je važno da je izolacija između visokonaponske mreže i sekundarnog dijela, odnosno zemlje dobro dimenzionirana da izdrži električka i mehanička naprezanja koja nastaju pri ispitivanjima ili mogu nastati u pogonu. Pouzdanost aparata na naponskom nivou 400 kV posebno je naglašena, jer prekidi u prijenosu električne energije redovito izazivaju znatne materijalne štete.

3. NAZIVNI PARAMETRI MJERNIH TRANSFORMATORA

Prilikom izbora parametara mjernih transformatora imali su se na umu zahtjevi što ih je postavila Zajednica jugoslovenske elektroprivrede za mjerne transformatore predviđene za mrežu 400 kV SFRJ.

U pogledu dielektričke čvrstoće transformatori su izrađeni za stupanj izolacije Si 420 S_2, odnosno podnose jednominutni napon industrijske frekvencije 680 kV i udarni napon oblika 1,2/50 μs od 1 550 kV. Osim toga, strujni transformator može izdržati dinamičku struju od 100 kA i termičku struju 40 kA (1 sek) bez oštećenja.

Strujni transformator ima 4 jezgre ovih karakteristika:

Broj jezgre	Odnos transformacije	Nazivna snaga	Klasa točnosti	Faktor sigurnosti
1	500—1000/1	15	0,2 ext. 200%	10
2	800—1600/1	30	0,5	10
3	800—1600/1	30	5P30	—
4	800—1600/1	30	5P30	—

Kapacitivni naponski transformator ima dva sekundara nazivnog napona $100/\sqrt{3}$ V, snage 30 VA u klasi 0,2 na prvom namotu i 100 VA u klasi 1/3P na drugom namotu, uz istovremeno terećenje. Kapacitivno djelilo ima pogonski kapacitet 4 400 pF, vlastitu rezonantnu frekvenciju veću od 1 MHz i serijski nadomjesni otpor manji od 40 oma u frekventnom području od 40 do 500 hHz i za raspon temperatura od —25 do +40°C. Transformatori imaju mogućnost priključka uređaja za visokofrekventnu vezu.

4. IZBOR RJEŠENJA I IZVEDBA TRANSFORMATORA

Pri izboru rješenja razmotreno je nekoliko varijanti s obzirom na točnost transformatora, pouzdanost, tehnologičnost i cijenu.

Za strujni transformator odabrano je rješenje s primarnim namotom iz jednoga dijela sa zatvorenom petljom. Shematski crtež transformatora dan

je na slici 1. Primarni namot je izoliran kvalitetnim papirom proimpregniranim uljem. U izolaciju su ugrađene elektrode za kapacitivno diktiranje raspodjele potencijala. Time je postignuta približno jednaka jakost polja u svim dijelovima izolacije, odnosno bolja iskoristivost izolacije i manje dimenzije transformatora. Krajevi elektroda su prikladno formirani na pažljivo odabranim mjestima tako da se ne premaše dozvoljena naprezanja na završecima i da se dobije povoljna raspodjela potencijala na granici izolator-zrak [2].

Kapacitivni naponski transformator sastoji se od visokonaponskog kapaciteta djelila odnosa 400/$\sqrt{3}$ kV na 15 kV i elektromagnetske jedinice. Za srednji nakon (međunapon) odabrana je vrijednost 15 kV kao optimalan iznos s obzirom na tehničke zahtjeve i cijenu elektromagnetske jedinice [3].

Kapacitivno djelilo je složeno od kvalitetnih kondenzatora i izrađeno rastavljivo u dva dijela radi lakšeg transporta. Shematski crtež transformatora vidi se na slici 2.

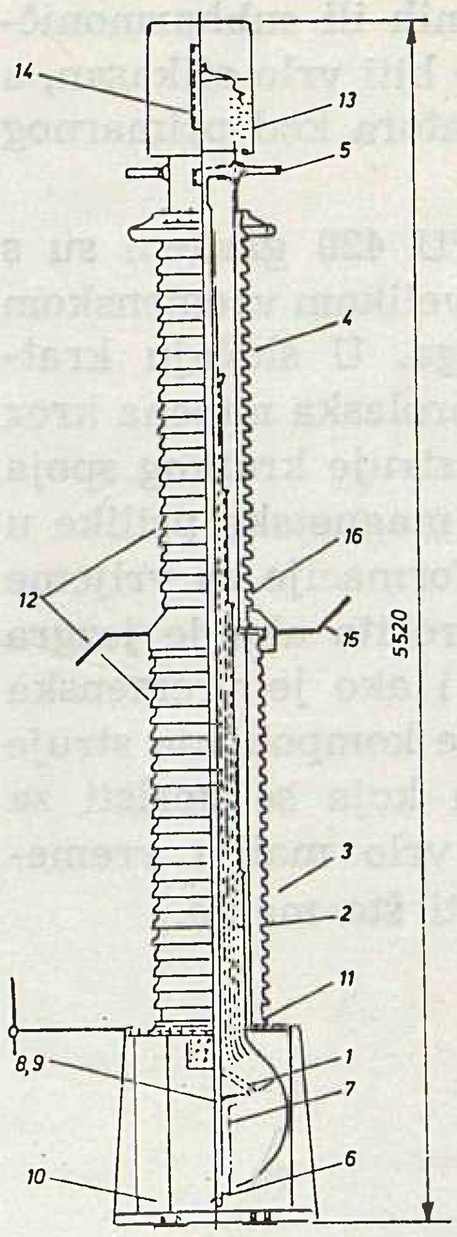
Oba su tipa transformatora hermetički zatvorena bez kontakta ulja sa zrakom i praktički pri konstantnom unutarnjem tlaku zahvaljujući elastičnim membranama ugrađenim na glavi transformatora. Te membrane dimenzionirane su tako da praktički bez povećanja tlaka kompenziraju promjene volumena ulja u cijelom radnom području temperatura.

5. PONAŠANJE MJERNIH TRANSFORMATORA Si 420 U PROLAZNIM STANJIMA

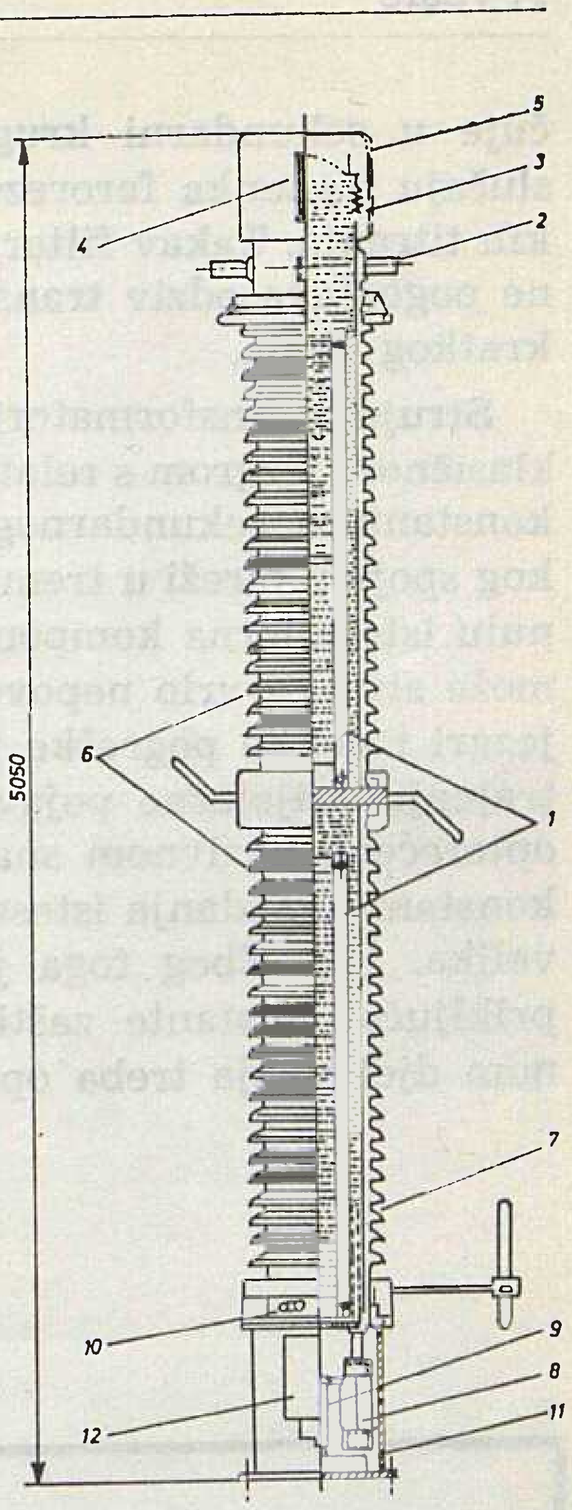
Pri nenormalnim uvjetima koji mogu nastati u mreži ili u sekundarnom krugu mjernog transformatora, on mora ostati priključen na mrežu i ispravno raditi nakon prolaska takvog stanja, a pri takvim uvjetima ne smije biti uzrok pogrešnog djelovanja zaštite. Najizrazitiji slučajevi nenormalnih uvjeta rada mjernih transformatora jesu kratki spoj u mreži i preopterećenje transformatora.

Kapatitivni naponski transformator predstavlja RLC krug s promjenljivim induktivitetom zbog promjene permeabilnosti željeza, pa je kao takav sklon ferorezonantnim i subharmoničkim titranjima. Kapacitivni transformator može doći u ovakvo stanje pri naglom rasterećivanju preopterećenog transformatora. Najizrazitiji slučaj je uklanjanje kratkog spoja sekundarnih stezaljki.

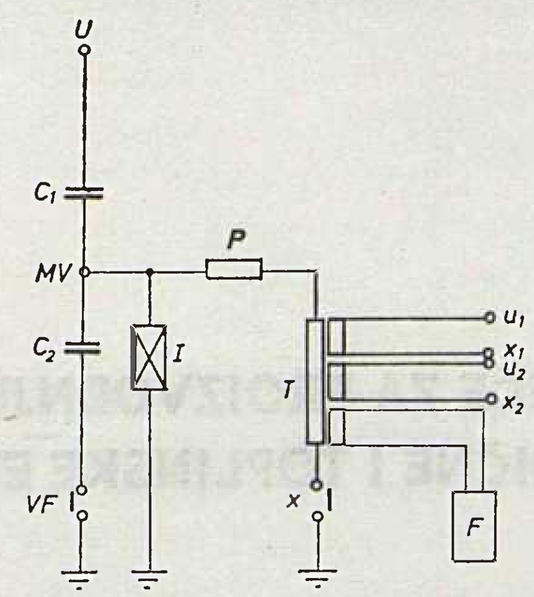
Da bi se spriječila trajna ferorezonancija, na posebni namot međutransformatora spojen je nepropusni filtar za 50 Hz, tako da ne opterećuje transformator u normalnim pogonskim uvjetima, a efikasno guši subharmonička i ferorezonantna titranja. Od veličine filtra ovisi efikasnost gušenja. Međutim, veliki filtar znači veliku akumuliranu energiju u njemu, što može bitno pogoršati odziv transformatora kod primarnog kratkog spoja. Očito je da se mora odabrati kompromisno rješenje. Najbolje rješenje predstavlja filtar koji se uklju-



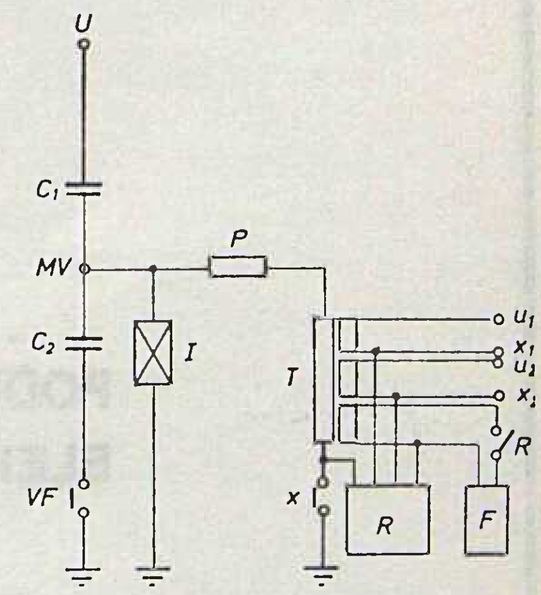
Sl. 1. Strujni transformator 2APU 420: 1-primarni namot, 2-izolacija, 3-elektrode, 4-izvod primarnog namota, 5-priključci primarnog namota, 6-mjerna jezgra, 7-namot mjerne jezgre, 8 i 9-zaštitne jezgre s namotima, 10-kotao, 11-priključci sekundarnih namota, 12-porculanski izolator, 13-membrana, 14-pokazivač ulja, 15-rogovi za zaštitu od prenapona, 16-krajevi elektroda.



Sl. 2. Kapacitivni naponski transformator VCU 420: 1-kapacitivno djelilo, 2-visokonaponski priključci, 3-membrana, 4-pokazivač nivoa ulja, 5-poklopac membrane, 6-porculanski izolatori, 7-izvod međunapona, 8-prigušnica, 9-međutransformator, 10-priključak za VF, 11-kotao, 12-sekundarni izvodi.



Sl. 3. Shema spoja kapacitivnog naponskog transformatora s trajno uključenim filtrom za gušenje ferorezonantnih i subharmoničkih titranja



Sl. 4. Shema spoja kapacitivnog naponskog transformatora s uređajem za zaključivanje filtra samo u slučaju pojave ferorezonantnih ili subharmoničkih titranja.

C_1 visokonaponski kondenzator, C_2 međunaponski kondenzator, P serijska reaktanca, T međutransformator, I iskrište, F filtar, VF priključak za visokofrekventnu vezu, R uređaj za uključivanje filtra u slučaju pojave ferorezonantnih i/ili subharmoničkih titranja, U visokonaponski priključak, u_1, x_1 i u_2, x_2 sekudarni priključci

čuje u sekundarni krug transformatora samo u slučaju nastanka ferorezonantnih ili subharmoničkih titranja. Takav filtar može biti vrlo efikasan, a ne pogoršava odziv transformatora kod primarnog kratkog spoja.

Strujni transformatori 2APU 420 građeni su s klasičnom jezgrom s relativno velikom vremenskom konstantom sekundarnog kruga. U slučaju kratkog spoja u mreži u trenutku prolaska napona kroz nulu istosmjerna komponenta struje kratkog spoja može stvoriti vrlo nepovoljne magnetske prilike u jezgri i velike pogreške transformacije za vrijeme trajanja prijelazne pojave, naročito ako je jezgra opterećena nazivnom snagom i ako je vremenska konstanta opadanja istosmjerne komponente struje velika. [7]. Zbog toga jezgru koja se koristi za priključak distante zaštite s vrlo malim vremenom djelovanja treba opteretiti što manje.

LITERATURA

1. Ivanković, I., Karakteristike strujnog transformatora APU 420, X stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, 1970, Referat br. 12.01
2. Ivanković, I., Strujni transformator za Si 420, Informacije »Rade Končar«, br. 2/1976.
3. Kelemen, T., Stacionarna i prolazna stanja kapacitivnog naponskog transformatora VCU-420, X stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, 1970, Referat 12.02
4. Kelemen, T., Ferorezonancija i subharmonička titranja u kapacitivnom naponskom transformatoru, XII stručno savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, 1975, Referat br. 12.08
5. Kelemen, T., Proračun i analiza vjernosti prenosa kapacitivnog naponskog transformatora u slučaju trenutnih promjena napona mreže, Disertacija, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, 1974.
6. Vešić, P., Transformacija asimetrične struje kratkog spoja u strujnom transformatoru s klasičnom i lineariziranom jezgrom, V simpozij o prijenosnoj mreži SFRJ, 1973, Referat br. II-1
7. Vešić, P., Prolazno stanje u strujnom transformatoru kod kratkog spoja u mreži, Elektrotehnika (Beograd), br. 11/1975. Informacije »Rade Končar«, br. 64/1975.
8. Vešić, P., Istraživanje karakteristika strujnih transformatora s lineariziranom jezgrom u stacionarnom i prolaznim stanjima, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, 1973.

Naslov pisca:

Petar V e š i ć, dipl. ing.

Elektrotehnički institut »Rade Končar« Zagreb

ELEKTROPRIVREDA

ZAGREB

PODUZEĆE ZA PROIZVODNJU, PRIJENOS I KUPOPRODAJU ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE

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

SELEKTIVNI SLOJEVI ZA KONVERZIJU SUNČEVE ENERGIJE*

J. Vuletin, F. Marčelja, P. Kulišić, M. Bosanac
Split i Zagreb

U ovom radu razmatra se fototermička metoda za konverziju Sunčeve energije, a posebno su ispitivana svojstva selektivno apsorpcijskih slojeva. Proizvedeni su slojevi crnog kroma, izmjereni koeficijenti refleksije i izračunata selektivnost za nekoko uzoraka. Razmatrana je primjena kolektora od crnog kroma za grijanje.

UVOD

Energetska kriza u svijetu i problem zagađivanja čovjekove okoline zahtijevaju istraživanja o mogućnosti iskorištavanja Sunčeve energije. Od svih dostupnih izvora Sunce ima najveću zalihu energije, a proces dobivanja energije ne zagađuje okolinu. Ukupna snaga koja od Sunca dolazi na Zemlju iznosi oko $1{,}7 \times 10^{14}$ kW, dok je današnja ukupna svjetska potrošnja snage oko 10^{10} kW. To pokazuje da bi se konverzijom Sunčeva zračenja mogao podmiriti veći dio naših energetskih potreba kada bi se pronašao pogodan način konverzije i akumulacije.

Velik dio Jugoslavije ima vrlo povoljne uvjete s obzirom na broj Sunčanih sati godišnje i intenzitet Sunčeve radijacije (1 200—1 500 kWh/m² godišnje), što upućuje na dobre mogućnosti korištenja Sunčeve energije, pogotovo u južnom dijelu jadranskog područja.

Posebni problemi u iskorištavanju Sunčeve energije su mala gustoća snage i varijacije s obzirom na godišnje doba, doba dana, klimatske prilike i sl. Tehnička rješenja trebaju voditi računa ne samo o konverziji Sunčeve energije u neki drugi oblik (npr. toplinsku, električnu i sl.), nego i o akumulaciji te energije. Da sada se za istraživanja u području primjene Sunčeve energije nisu ulagala dovoljna sredstva, broj istraživača bio je relativno malen, a rezultati skromni.

Postoji više načina konverzije Sunčeve energije.

Najistraženija metoda jest metoda izravne konverzije Sunčeve energije u električnu pomoću fotonaponskog efekta u polovodičkim Sunčevim ćelijama. Za to se koriste p-n spojevi raznih poluvodičkih materijala na kojima pod utjecajem Sunčeva zračenja nastaje razlika potencijala. Takvi generatori daju niske napone (0,4 — 0,5 V) te se za dobivanje većih napona spajaju u seriju. Glavna im je mana visoka cijena po proizvedenom vatu, koja je oko 100 puta veća nego za konvencionalne izvore energije. Takve Sunčeve baterije već se primjenjuju u uređajima male snage tamo gdje drugi izvori nisu dostupni. Očekuje se smanjenje njihove cijene u skoroj budućnosti i sve veća primjena za dobivanje električne energije u uređajima manje snage.

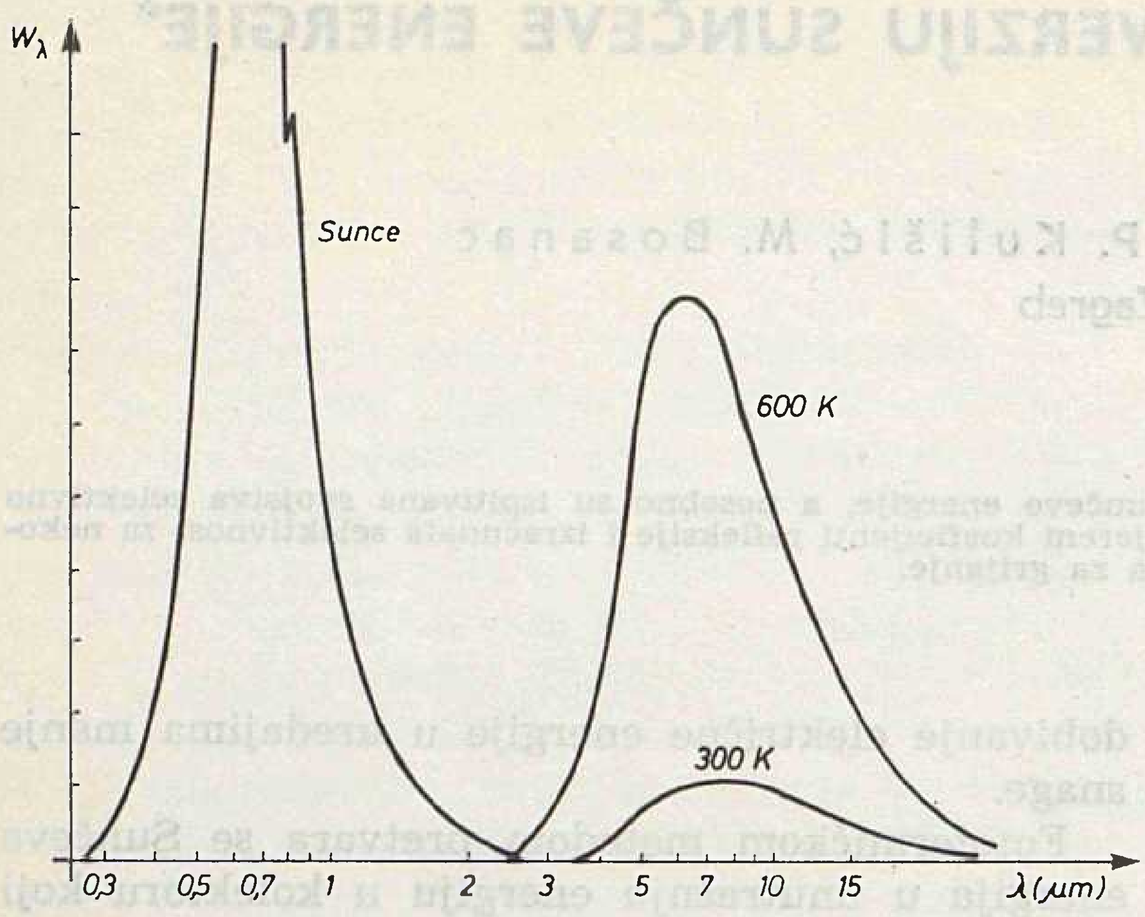
Fototermičkom metodom pretvara se Sunčeva energija u unutrašnju energiju u kolektoru koji se tako zagrijava na više temperature, što se može iskoristiti za grijanje i hlađenje zgrada te dobivanje električne energije. Prvi kolektori upotrebljavali su zacrnjene metalne ploče ili cijevi koje su pokazivale zahtijevane asorpcijske karakteristike, ali su imale znatnu reemisiju i stoga nisku efikasnost. Povećanje koeficijenta iskorištavanja kolektora može se postići upotrebom selektivno apsorpcijskih slojeva. Selektivni kolektor koji bi dobro apsorbirao kraće valne duljine (tj. one koje dolaze u Sunčevu zračenju), a loše emitirao dulje valne duljine (tj. one koje odgovaraju temperaturama od nekoliko desetaka stupnjeva Celzijusa), izložen Sunčevu zračenju ugrijao bi se na visoku temperaturu i tako omogućio efikasnu konverziju Sunčeve energije. Na ovu metodu osvrnut ćemo se u ovom radu.

SELEKTIVNO APSORPCIJSKI SLOJEVI

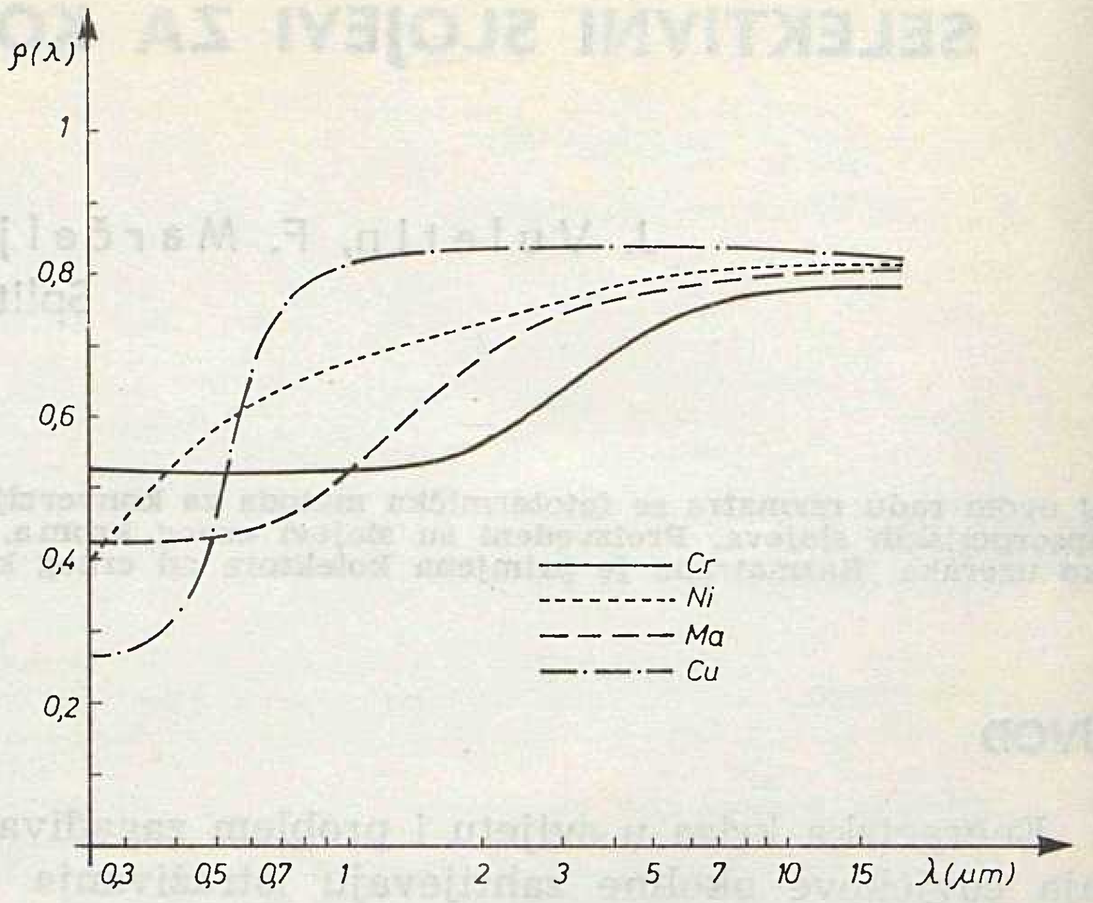
Gotovo sva energija koja od Sunca dolazi na Zemljinu površinu nalazi se u intervalu od 0,3 do 2,5 μm s maksimumom zračenja u vidljivom području (0,48 μm). Predmeti na Zemljinoj površini apsorbiraju tu energiju i reemitiraju je u infracrvenom području od približno 2 do 30 μm već prema tome kolika im je temperatura. Sl. 1. uspoređuju spektar Sunca i kolektora (pod pretpostavkom da emitira kao crno tijelo) na dvije različite temperature. Činjenica da se ta dva spektra preklapaju u vrlo malom području valnih duljina iskorištava se za konverziju Sunčeve energije u termičku pomoću selektivnih apsorbera.

Idealni selektivni apsorber trebao bi imati koeficijent refleksije jednak nuli (odnosno stopostotnu apsorpciju) za veći dio Sunčeva spektra (od 0,3 μm do točke u kojoj se krivulje na sl. 1. presijeciju), a u infracrvenom području maksimalnu refleksiju koja odgovara emisiji jednakoj nuli. Namjera je dakle proizvesti što bolje selektivne apsorbere koji bi jako apsorbirali kraće valne duljine (koje dominiraju u Sunčevu spektru), a bili slabi emiteri (dobri reflektori) duljih (infracrvenih) valnih duljina. Takvi bi kolektori dobro apsorbirali

* Rad je financirala Republička zajednica za znanstveni rad, SIZ-I SR Hrvatske



Sl. 1. Usporedba spektra Sunca i crnog tijela na 300 K i 600 K



Sl. 2. Koeficijent refleksije metala prikladnih za apsorbere kao funkcija valne duljine (L.2)

veći dio Sunčevog spektra, a minimalno gubili energiju zračenjem, čime bi se mogle postići visoke temperature i efikasna konverzija.

Za opisivanje selektivnosti kolektora definira se apsorptivnost $\bar{\alpha}$ kao težinska aritmička sredina svih koeficijenata apsorpcije $\alpha(\lambda)$ u kojoj se težinski faktori određuju iz spektralne razdiobe Sunčeva spektra. Slično je emitivnost $\bar{\varepsilon}$ selektivne površine težinska aritmetička sredina svih $\varepsilon(\lambda)$ gdje su težinski faktori određeni razdiobom intenziteta po valnim duljinama spektra crnog tijela na odgovarajućoj temperaturi. Omjer $\bar{\alpha}/\bar{\varepsilon}$ karakteristika je selektivnosti određenog apsorbera.

Većina metala prikladnih za apsorbere pokazuje vrlo malu spektralnu selektivnost (sl. 2).

Poboljšanje selektivnosti može se postići nanošenjem tankih filmova ili poluvodičkih slojeva na površinu metala te obradom apsorpcijske površine. Odabiranjem vrste i debljine filma (što sugerira na interferencijske efekte) te mikrostrukture njegove površine može se kontrolirati tok upadnog i emitiranog zračenja. Debljina filma prilagođava se prema obliku spektra i položaju maksimuma spektra. Poluvodičkim slojevima, koji apsorbiraju kraće a propuštaju dulje valne duljine, može se postići visoki $\bar{\alpha}$ i mali $\bar{\varepsilon}$, dakle dobra selektivnost. Složeniji poluvodički slojevi u obliku »sendviča« imaju vrlo dobru selektivnost (omjer $\bar{\alpha}/\bar{\varepsilon}$ im je od 18 do 26), ali su mehanički nestabilni, neekonomični i teže ih je proizvesti, te su jednostavniji slojevi naneseni premazivanjem, naparivanjem, elektrolitičkim procesima u tom smislu mnogo perspektivniji, pa bi daljnja istraživanja trebalo usmjeriti na ispitivanje svojstava takvih slojeva.

Naročito pogodni za postizavanje selektivnih svojstava pokazali su se slojevi crnog kroma i nikla. NiS-ZnS (crni nikal) ima vrlo dobre karakteristike. Proizvedeni su slojevi sa $\bar{\alpha} = 0{,}94$ i $= \bar{\varepsilon} = 0{,}06$ (L. 2.). Nepovoljno je međutim, što je on vrlo osjetljiv na vlagu. Kromosov oksid, CrO_x, na podlozi od nikla (crni krom) pokazuje nešto manju selektivnost, ali je znatno stabilniji i otporniji na vlagu i temperaturu. Osim dobre selektivnosti, slojevi, naime, moraju biti mehanički, kemijski i termički što stabilniji i svojstva im se ne smiju mijenjati u toku cikličkih zagrijavanja i hlađenja. Zbog povoljnih optičkih svojstava, relativno lagane i jeftine izrade te otpornosti na vlagu i temperaturu odlučili smo se na izradu i ispitivanje crnog kroma.

ISPITIVANJE SELEKTIVNOSTI CRNOG KROMA

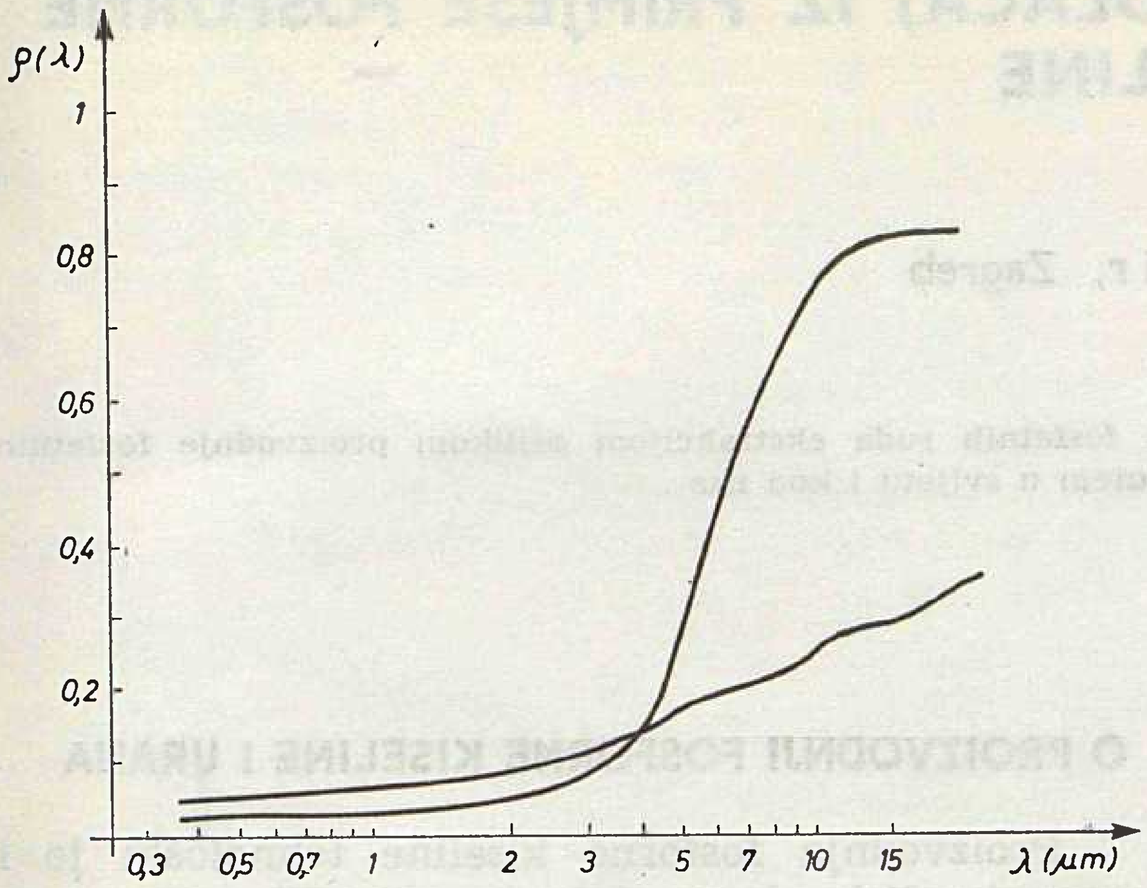
Na pločice od bakra (željeza i mjedi) nanesen je elektrolitskim postupkom sloj crnog kroma na podlogu od sulfamatnog nikla u Fizikalnom laboratoriju Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu.

Pomoću standardnog spektrofotometra (Perkin-Elmer) opremljenog dodatkom za mjerenje refleksije izmjeren je koeficijent refleksije $\rho(\lambda)$ za razne uzorke u području od 0,3 do 15 μm pri sobnoj temperaturi. Iz koeficijenta refleksije proračunata je apsorptivnost $\alpha(\lambda)$ i emitivnost $\varepsilon(\lambda)$.

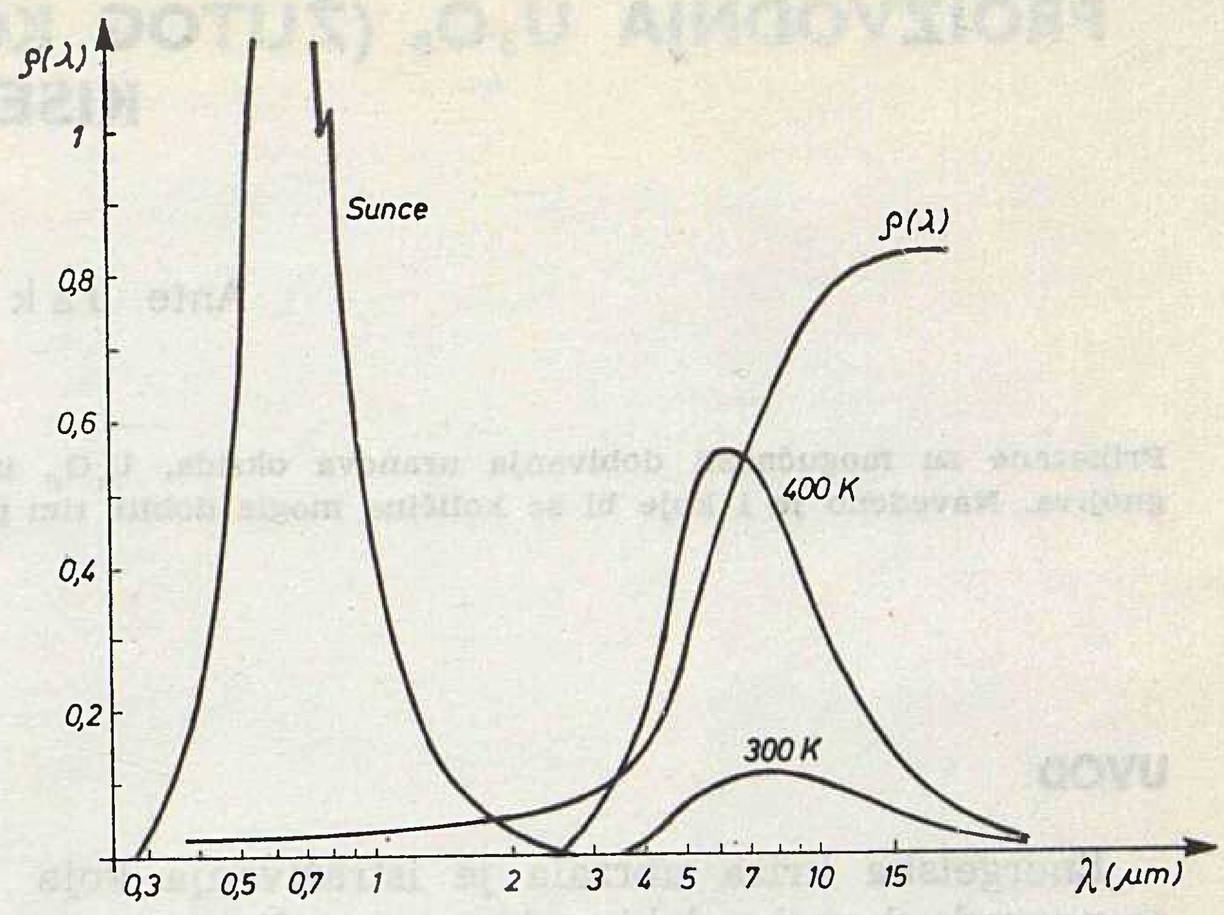
Na sl. 3. prikazani su neki naši rezultati mjerenja. Mijenjajući gustoću struje i vrijeme trajanja elektrolize, uspjeli smo povećati selektivnost.

Usporedba sa Sunčevim spektrom i spektrima crnog tijela na 300 K i 400 K (sl. 4) pokazuje da je s uzorkom crnog kroma CK-8 postignuta povoljna selektivnost za temperature do (približno) 400 K.

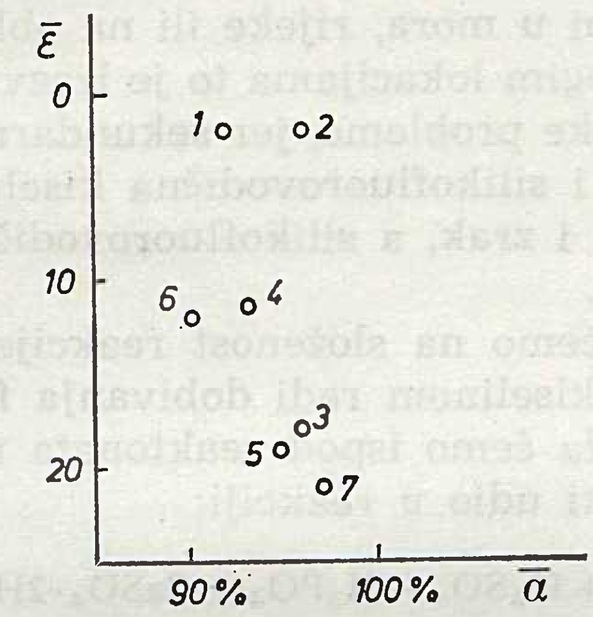
Izračunata je težinska aritmetička sredina za $\alpha(\lambda)$ i $\varepsilon(\lambda)$ primjenom Planckova zakona zračenja crnog tijela te su za uzorak CK-8 dobivene vrijednosti: $\bar{\alpha} = 0{,}97$ i $\bar{\varepsilon} = 0{,}21$ (pri 20°C), odnosno za omjer $\bar{\alpha}/\bar{\varepsilon} = 4{,}6$. Emitivnosti i apsorptivnosti površina crnog kroma proizvedenih u ovim istraživanjima uspoređene su na sl. 5. s rezultatima iz literature (L. 5.). Dobiveni podaci dobiveni su pri sobnim temperaturama.



Sl. 3. Koeficijent refleksije ρ(λ) za dva uzorka crnog kroma



Sl. 4. Koeficijent refleksije ρ(λ) uzorka crnog kroma CK-8 uz spektre Sunca i crnog tijela



Sl. 5. Usporedba uzorka CK-8 sa selektivno apsorpcijskim slojevima u (L.5)

Vrijednosti 1. i 2. su za višeslojnu naslagu Al_2O_3 i Cr na srebru (McKenney i Beaushamp, 1974), točke 3, 4 i 5 (Materson i Seraphin, 1975) i (Jurison i dr., 1975) su za slojeve crnog kroma, a točka 7 je rezultat mjerenja na jednom od naših uzoraka crnog kroma. Selektivnost našeg uzorka ($\bar{\alpha}/\bar{\varepsilon} = 4{,}6$) usporediva je s vrijednostima iznesenim u literaturi koje se kreću od 4 do 8. Izrazito bolju selektivnost pokazuje »sendvič« Al_2O_3 + Cr + Ag ali on je složeniji, skuplji i teže ga je proizvesti na velikim površinama.

Za selektivne apsorbere važno je postići što veću apsorptivnost, a što manju emitivnost. Smanjenje emitivnosti naročito je značajno za konverziju Sunčeve energije u električnu, gdje je potrebna znatno veća temperatura (~300°C) nego pri upotrebi za grijanje. Naši slojevi s relativno velikom apsorptivnošću (do 97%) odgovarali bi dakle za konverziju pri nižim temperaturama, tj. za grijanje vode, prostorija ... Osim dobre selektivnosti crni krom je vrlo otporan na vlagu i promjene temperature. Ni nakon dužeg stajanja u atmosferi nismo mogli uočiti znatnije promjene selektivnih karakteristika uzoraka.

ZAKLJUČAK

I ova ispitivanja upućuju na mogućnost upotrebe crnog kroma za kolektore Sunčeve energije. Dobra selektivnost, jednostavna i jeftina izrada te velika stabilnost čine crni krom jednim od najpogodnijih selektivno-apsorpcijskih slojeva. Potrebno je daljnim tehnološkim postupcima još više povećati selektivnost sloja i tako postići što efikasniju konverziju. U tom smislu istraživanja će se nastaviti.

Ugodna nam je dužnost zahvaliti se prof. dru P. Nikoliću i prof. dr. D. Jeremiću koji su nam stavili na raspolaganje uređaje i omogućili mjerenja.

LITERATURA

1. I. O. M. Bockris: "Energy, Solar-Hydrogen Alternative", Architectural Press, London, 1976.
2. J. Jurrison, R. E. Peterson, H. Y. K. Mar: "Principles and applications of selective solar coatings", J. Vac. Sci. Technol., *12* (1975) 1010.
3. R. M. Krishnan, N. V. Parthasaradhy, H. V. K. Udupa: "Electrodeposition of Chromium", Metal finishing, April, 1975., p. 50.
4. D. M. Mattax:"Coatings and Surface Treatments in Solar Energy Applications", Plating and Surface Finishing, January 1976., p. 55
5. A. B. Meinel, M. P. Meinel: "Applied Solar Energy", Addison-Wesley Publ. Comp., Reading, Mass., 1976.
6. J. T. McMullan, R. Morgan, R. B. Murray: "Energy Resources and Supply", John Wiley and Sons, New York, 1976.
7. R. B. Pettit, R. R. Sowell: "Solar absorptance and emitance properties", J. Vac. Sci. Technol. *13* (1976) 599.

Naslov pisaca:

Dr Jadranka Vuletin,
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split

Dr Frano Marčelja,
Selenia, Rim, Italija

Dr Petar Kulišić,
Elektrotehnički fakultet, Zagreb

Miroslav Bosanac, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split

PROIZVODNJA U_3O_8 (ŽUTOG KOLAČA) IZ PRIMJESE FOSFORNE KISELINE

Ante Jakir, Zagreb

Prikazane su mogućnosti dobivanja uranova oksida, U_3O_8, iz fosfatnih ruda ekstrakcijom prilikom proizvodnje fosfatnih gnojiva. Navedeno je i koje bi se količine mogle dobiti tim putem u svijetu i kod nas .

UVOD

Energetska kriza ubrzala je istraživanja koja se provode u vezi s dobivanjem urana iz primjesa fosfata, odnosno fosforne kiseline.

Izvještaji u stručnoj štampi i agencijske vijesti govore da su stručnjaci SAD i Japana uspjeli svladati tehnološke probleme rekuperacije relativno malih koncentracija urana na način koji je vrlo ekonomičan.

Očekuje se da će u SAD već 1979. godine raditi dvije tvornice za proizvodnju U_3O_8 iz primjesa fosforne kiseline, koje će ukupno proizvoditi 490 t U_3O_8.

Najavljuje se suradnja s Marokom, a u Japanu pristupaju izgradnji poluindustrijskog postrojenja na kojemu će provjeravati vlastitu tehnologiju.

POVIJESNI OSVRT

Interes za radioaktivnost fosfatnih ruda pojavio se prilično davno. U godinama poslije rata fosfatnim se rudama ispitivao sadržaj urana. No pokušaji da se iz njih izdvoji uran nisu dali rezultate.

U nekim zemljama dosta truda je uloženo u ispitivanje radioaktiviteta fosforgipsa, poji se u preradi fosfatnih ruda, odnosno u proizvodnji fosforne kiseline mokrim postupkom pojavljuje kao nusproizvod.

Vjerovalo se da bi radioaktivnost takvog gipsa mogla biti štetna ako se on preradi u građevinske proizvode i upotrijebi u građevinarstvu (1). Takva se bojazan pokazala neosnovanom. Opovrgla su je ispitivanja kojima se je dokazalo da radioaktivnost ispod 25 pikokirija nije štetna, što je potvrdila i dugogodišnja praksa primjene takvih sadrenih prerađevina u nekim razvijenim zemljama.

Vijesti o istraživanjima za dobivanje urana i nekih elemenata iz grupe rijetkih zemalja pojavljuje se posljednjih 5-6 godina, nakon prvog enormnog poskupljenja nafte i drugih energenata.

Treba napomenuti da je interes istraživača za ovu problematiku u porastu, te se može očekivati sve više originalnih rješenja.

O PROIZVODNJI FOSFORNE KISELINE I URANA

Proizvodnja fosforne kiseline tehnološki je i organizacijski dosta složen posao. U prošlosti su proizvođači izbjegavali složenost i bili su zaokupljeni gotovo isključivo proizvodnjom same kiseline, P_2O_5. Sekundarni proizvodi reakcije najčešće su odbacivani u mora, rijeke ili na obližnje deponije. Na mnogim lokacijama to je izazvalo vrlo ozbiljne ekološke probleme, jer sekundarni proizvodi — fosfogips i silikofluorovodična kiselina — onečišćuju vodu i zrak, a silikofluorovodična kiselina je i toksična.

Upozorit ćemo na složenost reakcije fosfata sa sumpornom kiselinom radi dobivanja fosforne kiseline tako da ćemo ispod reaktonata navesti njihov količinski udio u reakciji:

$$Ca_{10}F_2(PO_4)_6 + H_2SO_4 - H_3PO_4 + CaSO_4 \cdot 2H_2O + H_2SiF_6$$

$$3t\,(72\%\,BPL) + 2{,}8\,t\,(100\%) \longrightarrow 1t\,P_2O_5 + 4\text{-}4{,}5t + 0{,}06tF$$

To su približni normativi za suvremene dihidrtne postupke proizvodnje fosforne kiseline. S obzirom na onečišćenje fosfornih ruda raznim mineralima, ovisno o porijeklu rude, temperaturi razlaganja itd., dolazi do cijelog niza sporednih reakcija u čiji kemizam ovdje ne ulazimo. Može se reći da se kemizmi većine rekacija samo pretpostavljaju, da fosfogips, tj. gipsdihidrat sadrži vjerojatno više od 30 raznih spojeva.

Samo dio urana koji sadrže rude prelazi kao primjesa u fosfornu kiselinu, kao i soli nekih rijetkih elemenata (itrija, lantana itd.). Samo tu količinu urana uspjelo je rekuperirati u vrlo visokom postotku, i to postupcima solventne ekstrakcije kroz više faza i uz upotrebu više različitih solvenata koji vjerojatno recirkuliraju.

O SADRŽAJU URANA U FOSFATIMA I FOSFORNOJ KISELINI

Informacije u stručnoj štampi donose različite podatke o sadržaju urana u fosfatima, od 100—150 ppm*, do čak 270 ppm. Sadržaj rijetkih zemalja navodi se do 650 ppm u ekstraktu, tj. forsfornoj kiselini (2, 3, 4).

* ppm = dijelova na milijun

Za fosfate iz Floride navodi se sadržaj urana 100—150 ppm, ili 0,01%, što je navodno dva puta manje od sadržaja urana u uranonosnoj rudi nalazišta Ningyo Pass, Tattori, koja sadrži 0,02%. Istraživanja koja su završena u SAD, a na osnovi kojih se realizira industrijska proizvodnja žutog kolača — U_3O_8, solventnom ekstrakcijom, govore da se iz 1 t P_2O_5 može dobiti 1 1b (0,45 kg) U_3O_8 (5).

Jedna analiza (6) koja ima u vidu ekstrakciju urana u većem broju postojećih tvornica fosforne kiseline u SAD, navodi da bi se moglo proizvesti 3 546 t/g. U_3O_8, što odgovara količini od oko 2 955 t/g uran-metala. Tom se analizom potiče na dobivanje urana u momentu proizvodnje kiseline, prije nego se ona preradi u gnojiva. U protivnom on će biti izgubljen, raspršen primjenom gnojiva.

Izvještaji koji dolaze iz Japana (7) govore da su stručnjaci Power Reactor and Nuclear Fuel Develoment Corp uspjeli razraditi tehnologiju višefazne, ali jednostavne i jeftine solventne ekstrakcije kojom se iz 1 1 P_2O_5, koja sadrži 0,1 gr UF_6, može ekstrahirati i dobiti 95% urana. Troškovi ekstrakcije iznose, navodno, samo 10$/1b, što je uz današnju cijenu U_3O_8 od 42$/1b, vrlo povoljno. Zbog toga Japanci užurbano grade eksperimentalni pogon u Tottori, gdje bi provjerili postupak i pripremili se za industrijsku ekspanziju prvenstveno u vlastitoj zemlji, jer godišnje prerađuju oko 4 milijuna tona fosfata u industriji koja je proteklih nekoliko godina osuvremenjena i okupljena na nekoliko uglavnom obalnih lokacija.

Treba napomenuti da Amerikanci više ističu preduvjet velikih kapaciteta za proizvodnju fosforne kiseline za uspješnu proizvodnju U_3O_8. Zbog toga grade tvornice u Unice Samu, Louisiani (gdje Freeport Mineral ima kapacitet od 700 000 t/g (P_2O_5) i Bartownu na Floridi (gdje Wyoming Minerals Corp. ima kapacitet od 400 000 t/g P_2O_5).

I druge američke tvrtke zainteresirane su za proizvodnju U_3O_8. Tvrtka Westinghouse, npr. predlaže marokanskim proizvođačima fosforne kiseline i fosfata da novu tehnologiju zajednički realiziraju u Safi na atlantskoj obali.

PROCJENE REZERVE FOSFATA I PROIZVODNJA P_2O_5 U SVIJETU

Imajući na umu da većina fosfatnih ruda sadrži određen, približno jednak postotak urana, čini se uputnim iznijeti neke procjene o svjetskim rezervama fosfata.

Svojevremeno je Institut of Eonnology (SAD) procijenio da će se rezerve iscrpiti za 60—90 godina. Tome se suprotstavljaju novije procjene, koje su prezentirali US Bureau of Mines i Jack Turbevill jr. iz Floride Phosphate Rock Export Ass· (8). Te procjene navedene u tablicama desno gore.

Dostupne rezerve ovise o prodajnoj cijeni rude. Ali i rezerve od 47 770 mil. tona, kako ih procjenjuje US Bereau of Mines, na bazi prodajne cijene od 20$t, zadovoljile bi današnju proizvodnju fosforne kiseline preko 450 godina.

Procjena US Bureau of Mines	mil. tona
Svijet (ukupno)	83 900
SAD	7 000
SSSR	4 000
Maroko	60 000
zap. Sahara	3 700
Tunis	2 000
ostala Afrika	1 000
Afrika (ukupno)	66 800
Azija	2 300
Australija	3 000

Procjena dodatnih rezerva po J. Turbevillu	mil. tona
Florida	200 000
Australija	200 000
Maroko — dno	300 000
Tennesse — vapnenci	3 000
Kolumbija	80 000
Saudi Arabija	150 000
zapadna SAD	172 000
jugoistočna SAD	50 000
UKUPNO:	1 155 000

Svjetska proizvodnja i potrošnja fosfata od 1973. do 1975. godine kretala se u 000 tona) ovako (9).

Proizvođač	1973.		1974.		1975.	
	proizv.	potr.	proizv.	potr.	proizv.	potr.
zap. Evropa	115	22 880	104	25 417	95	19 710
ist. Evropa	21 080	23 287	22 505	22 681	24 120	28 053
Afrika	27 395	4 292	32 903	4 596	25 555	4 160
Sjeverna Amerika	38 128	31 460	41 446	35 017	44 450	31 928
Centralna Amerika	164	1 516	179	1 740	153	1 347
Južna Amerika	304	1 559	401	2 144	471	1 513
Azija	7 321	11 139	9 969	12 929	10 015	11 135
Oceanija	3 066	4 262	2 837	4 133	2 173	3 104
U k u p n o:	97 671	100 395	110 344	112 657	107 032	100 950

Svjetska proizvodnja i potrošnja fosfatnih gnojiva, prema istom izvoru, iskazana prema količini hranjive materije, P_2O_5, za isto razdoblje bila je:

Proizvođač	1973.		1974.		1975.	
	proizv.	potr.	proizv.	potr.	proizv.	potr.
zap. Evropa	6 760	6 338	6 606	5 310	5 627	5 287
ist. Evropa	6 513	6 359	7 579	70 029	8 450	7 880
Sjeverna Amerika	6 769	5 130	6 735	4 472	6 800	5 245
Centralna Amerika	320	365	318	431	340	507
Južna Amerika	521	1 119	548	1 278	768	1 283
Afrika	1 011	748	1 010	742	995	761
Azija	2 959	3 641	3 173	3 735	3 109	3 671
Oceanija	1 611	1 767	1 029	1 056	1 110	1 193
U k u p n o:	26 464	25 467	26 998	24 053	27 199	25 827

U navedenim količinama P_2O_5 su sve vrste fosfornih gnojiva, uključujući superfosfate, tehničke P_2O_5, iz kojih se ne može ekstrahirati uran. Ipak količina fosfornih spojeva dobivena mokrim postupkom u navedenoj količini čini pretežan dio, a ostale navedene vrste manji, čija proizvodnja je u padu.

TVA u jednoj novijoj procjeni iznosi da je 1976. g. od ukupno proizvedenih P_2O_5 gnojiva u svijetu (bez socijalističkih zemalja) 2/3 bila kiselina proizvedena mokrim postupkom (ili 26,3 mil. tona P_2O_5), čija proizvodnja će do 1980· g. godišnje rasti po 4 mil. tona. Instalirani kapaciteti za istu grupu zemalja navedeni su ovako (12):

Godine	1968.	1974.	1975.	1976.	1980.
Ukupno (mil. tona)	23,64	34,52	37,87	38,87	43,89

Eventualnu buduću proizvodnju U_3O_8 ograničavala bi ukupna svjetska proizvodnja P_2O_5 ili instalirani kapaciteti.

Učinit ćemo procjenu, koja možda i nema puno opravdanje, iznoseći da bi se iz ukupne navedene količine moglo dobiti u svijetu najviše 11 000 t/g U_3O_8, odnosno, može se sa većom sigurnošću tvrditi da se tolika količina u gnojivima rasijava po obradivim površinama u svijetu.

Zapadne zemlje su od 1960. do 1976. godine proizvodile između 22 235 i 27 000 t/U_3O_8, od čega SAD između 11 707 i 12 250 t (10). Posljednje procjene potreba zapadnih zemalja na U_3O_8 u 1985. godini, iznosit će 86 200 do 88 500 t/g (11).

Iz tih razmatranja može se zaključiti da bi proizvodnja žutog kolača iz primjesa fosforne kiseline, pa i u znatno manjoj količini od navedene, bila vrlo korisna.

Svjesni smo da treba čekati još neko vrijeme da bi se mogle dati iole pouzdanije procjene.

PROIZVODNJA FOSFORNE KISELINE U SFRJ

Fosforna kiselina u našoj zemlji proizvodi na više lokacija upotrebom sjevernoafričkih, pretežno marokanskih fosfata.

Momentano je u rekonstrukciji, dogradnji, izgradnji ili pripremanju izgradnje više tvornica. Dogovor o osnovama plana Jugoslavije za razvoj proizvoda bazne kemije od 1976. do 1980 godine definirao je ove količine za fosforna gnojiva:

P_2O_5	Proizvodnja	Uvoz	Izvoz	Potrošnja
000 tona	550—650	0—50	150—200	450—500

Kapaciteti proizvodnje fosforne kiseline mokrim postupkom, na pojedinim lokacijama bit će:

Proizvođač	Kutina	Prahovo	Šabac	Titov Veles	Kosovska Mitrovica	Hrastnik	Ukup.
t/god	150 000	260 000	125 000	50 000	50 000	30 000	650 00

Ta količina fosforne kiseline, uz pretpostavku sadržaja U_3O_8 koji je prije naveden, sadrži oko 308 t U_3O_8.

ZAKLJUČAK

Industrija fosforne kiseline čini početne korake u pravcu ekstrakcije i dobivanja urana, odnosno U_3O_8 ili UF_6. Diverzifikacijom proizvodnje ulazi u područje energetskih sirovina. Kako će se ta proizvodnja razvijati ubuduće i s kakvim posljedicama, vjerojatno će biti jasnije slijedećih 4—5 godina. Nameće se potreba da se i u našoj zemlji pristupi sistematskom proučavanju svih relevantnih problema vezanih za ovu problematiku, a posebno tehnologije dobivanja, o čemu za sada literatura donosi samo općenite podatke.

LITERATURA

1. Touindustrie Zeitung No 9/1971.
2. Phosphorus & Potassium No 66 Jun/Juli 1973.
3. Phosphorus & Potassium No 72 Juli/August 1974.
4. Phosphorus & Potassium No 80 Novembar/Decembar 1975.
5. C W No 59, Decembar 1976.
6. SAD patenti No 2880063; 3311450, 3937783 i 444211
7. Biki No 56(4541), 4 Maj 1977.
8. ECN, Vol 30, No 775, 25. Februar 1977.
9. Statistical Supplement (Brit. sulphur Corp Ltd), No 14, Nov. Dec. 1976.
10. Biki No 51(4536), 28. April 1977.
11. Biki, No 29(4514), 10. Mart. 1977.
12. Fertilizer International, Maj 1977.

Naslov pisca:
Ante Jakir, dipl. ing.
»Petrokem« Zagreb

Širom svijeta

NAFTA U 1976. GODINI

Iz priložene tablice 1. se vidi da je proizvodnja nafte u svijetu u 1976. godini prekoračila 2,9 milijardi tona, što je za 7,7% više nego u prethodnoj godini. Potrošnja je odgovarala potrebama i bila je nešto iznad 2,8 milijardi tona ili za 4,4% više nego u 1975. godini. Raspoložive rezerve nafte — 87,5 milijardi tona bile su za oko dvije milijarde manje nego u 1975. godini. Konačno, rafinerijski kapaciteti bili su u 1976. godini iznad 3,7 milijardi t/g prema 3,6 milijardi t/g u 1975. godini.

Iz te se tablice vidi da istočna hemisfera u cjelini raspolaze s gotovo 90% svjetskih rezervi nafte, u proizvodnji udjel je 74%, a u potrošnji nešto preko 60%, nešto veći je udio rafinerijskih kapaciteta. Kako je proizvodnja nafte iznosila 2,16 milijardi tona, a potrošnja 1,74 milijardi tona istočna hemisfera preko 43 milijuna tona daje zapadnoj hemisferi, koja svojom proizvodnjom ne može pokriti svoje potrebe.

Zapadna hemisfera u cjelini raspolaže s nešto preko 10% svjetskih rezerva nafte, ali u proizvodnji sudjeluje s 26%, a u potrošnji s nešto ispod 40%. Kako je proizvodnja znatno ispod potreba, to se manjak pokriva uvozom iz istočne hemisfere.

Naravno da je situacija za pojedine zemlje različita, što je za prvih pet najvećih proizvođača nafte prikazanano u tablici 2.

Iz te se tablice vide slijedeći odnosi:

Prvih pet svjetskih proizvođača nafte proizvelo je 62,2% od ukupne svjetske proizvodnje i drže 52,8% od svjetskih rezervi nafte. U potrošnji nafte sudjeluju s 44,0% i raspolažu s 37,9% svjetskih rafinerijskih kapaciteta.

Međutim, udio pojedinih zemalja je različit.

S S S R je prvi po proizvodnji nafte sa 17,8%, ali po potrošnji nafte i rafinerijskim kapacitetima sudjeluje s oko 13%. Raspolaže s oko 10% svjetskih rezervi nafte.

SAD je s 15,7% drugi proizvođač nafte u svijetu, ali raspolaže s 4,8% svjetskih rezervi nafte.

Po potrošnji nafte je s 28,6% na prvom mjestu, ali svojom proizvodnjom ne može pokrivati svoje potrebe. Rafinerijski kapaciteti odgovaraju potrebama.

Ostala tri proizvođača nafte (Saudijska Arabija, Iran i Venezuela) daju 28,7% od svjetske proizvodnje i drže gotovo 36% svjetskih rezervi nafte. Međutim, potrošnja im je samo 1,9% od svjetske potrošnje, a rafinerijski kapaciteti su 3,8% od ukupnih svjetskih kapaciteta.

(Analiza načinjena prema »Eldorado 76«, 1977.

Tablica 1.

SVJETSKA SITUACIJA NAFTE U 1976. GODINI (U MILIJUNIMA TONA)

Proizvođači	Rezer.	%	Proiz.	%	Potroš.	%	Raf. kap.	%
Zapadna Evropa	3 331	3,8	38,8	1,3	674,7	23,9	1 025,2	27,4
SSSR i soc. zemlje	13 777	15,7	630,6	21,6	55[illegible]	19,5	76[illegible]	18,0
Afrika	8 066	9,2	283,8	9,7	52,2	1,8	74,0	2,0
Bliski istok	49 987	57,1	1 088,2	37,2	84,2	3,0	167,5	4,5
Daleki istok	2 606	3,0	121,5	4,2	378,0	13,4	503,9	13,4
Ist. hemisfera	77 767	88,8	2 162,9	74,0	1 739,5	61,6	2 443,6	65,3
Sjeverna Amerika	5 054	5,8	530,5	18,2	897,0	31,8	90[illegible]	24,1
Ostala Amerika	4 723	5,4	228,6	7,8	185,0	6,6	396,0	10,6
Zap. hemisfera	9 777	11,2	759,1	26,0	1 082,0	38,4	1 297,5	34,7
Ukupno	87 544	100,0	2 922,0	7,8	2 821,5	100,0	3 741,1	100,0

Tablica 2.

PRVIH PET NAJVEĆIH PROIZVOĐAČA NAFTE U 1976. GOD. U MILIJUNIMA TONA

Zemlja	Rezer.	%	Proiz.	%	*Potroš*	%	Raf. kap.	%
SSSR	10 626	12,1	520,0	17,8	381,0	13,5	480,0	12,8
SAD	4 219	4,8	460,0	15,7	808,0	28,6	796,5	21,3
Saud. Arab.	20 632	23,6	427,9	14,6	13,5	0,5	30,2	0,8
Iran	8 548	9,8	294,0	10,0	24,5	0,9	39,0	1,0
Venezuela	2 180	2,5	118,9	4,1	15,0	0,5	74,7	2,0
Ukupno	46 205	52,8	182,08	62,2	1 242,0	44,0	1 420,4	37,9
Svijet	87 544	100,0	2 922,0	100,0	2 822,0	100,0	3 741,0	100,0

PRIRODNI PLIN U ZAPADNOJ EVROPI

Raspoložive rezerve prirodnog plina u kontinentalnom dijelu Zapadne Evrope iznose 2 900 milijardi metara³. Od toga 70% otpada na Nizozemsku, po 10% na SR Njemačku i Francusku, a preostalih 10% na Austriju i Italiju. Vjerojatne rezerve cijene se na 500 milijardi metara³.

Raspoložive rezerve u podmorju — oko 60% u Sjevernom moru i Atlantiku — cijene su na 2 200 do 3 200 milijardi metara³ i vjerojatne na 200 do 600 milijardi metara³.

Prema tome ukupne — raspoložive i vjerojatne — rezerve iznose u Zapadnoj Evropi 5 700 do 6 700 milijardi metara³.

Eksploatacijom tih rezervi proizvodnja prirodnog plina kretala bi se kako slijedi:

Proizvodnja	1973.	1980.	1985.
Na kopnu	109	145—162	150—167
U podmorju	35	125	205
Ukupno	144	270—287	355—372

U međuvremenu je proizvodnja porasla i u 1976. godini dosegla je 176 milijardi metara³.

(Petroleum Times, 24. VI. 1977) V. B.

NAFTA I PRIRODNI PLIN SA SJEVERNOG MORA

Nakon 15 godina intenzivnih istraživačkih radova i obavljenih približno 850 bušenja utvrđeno je da u Sjevernom moru raspoložive rezerve nafte iznose oko tri milijarde tona, a prirodnog plina 2550 milijardi metara³. Te su količine u svjetskim razmjerima skromne (3% kod nafte i 4% kod prirodnog plina), ali za alimentiranje Zapadne Evrope, a naročito Velike Britanije i Norveške za najmanje desetak godina imaju posebnu važnost.

Uz znatne tehničke napore provedeni istraživački radovi i otvaranje ležišta zahtijevali su do sredine 1976. godine ulaganja od oko 50 milijardi maraka, a u slijedećih pet godina još daljnjih 80 do 100 milijardi maraka, pa da se početkom osamdesetih godina postigne proizvodnja od 150 do 200 milijardi tona nafte i 100 milijardi metara³ prirodnog plina. I kad se taj cilj postigne, ipak će Zapadna Evropa i dalje ovisiti o uvozu nafte iz zemalja OPEC-a, doduše nešto manje ali će supstituiranje nafte drugim izvorima energije biti usporeno — barem prema planu s kraja 1973. godine.

Naime, alimentiranje Zapadne Evropenaftom nakon 1980. godine za idućih deset ili petnaest godina bit će s oko 25% pokriveno naftom iz Sjevernog mora, a Velika Britanija i Norveška bit će izvoznici nafte. Proizvodnja nafte na Sjevernom moru dat će Zapadnoj Evropi »energetski predah« koji će imati smisao samo ako se isokristi za razvoj alternativnih nosilaca energije. Pri tome će od posebne važnosti biti razvoj korištenja nuklearne energije.

Treba naglasiti vrlo velike troškove istraživačkih radova otvaranje ležišta i njihove eksploatcije. Ovisno o veličini ležišta, dubini mora i vremenskim uvjetima oni iznose četiri do sedam dolara za berel prema 0,10 do 0,5 dolara za barel na Bliskom istoku i jedan dolar za barel u Zapadnoj Africi. K tome još dolaze visoka fiskalna opterećenja, iako je sistem fiskalnih opterećenja u Velikoj Britaniji i Norveškoj različit, u prosjeku iznose pet do šest dolara po barelu. Na taj način tehnički troškovi i fiskalna opterećenja dosižu u prosjeku 10 do 11 dolara za barel.

Prema sadašnjoj cijeni nafte zemalja OPEC-a proizvodnja nafte u Sjevernom moru svakako je ekonomična i opravdana. Da li je to slučaj i za mala ležišta, ostaje da se ocijeni od slučaja do slučaja, a donja granica rentabilnosti za sada još nije utvrđena. Smatra se, međutim, da bi cijena od 7 dolara za barel mogla biti prihvatljiva.

S obzirom na sve teže uvjete za otvaranje naftnih ležišta u Sjevernom moru financijski problemi dobivaju sve veću važnost, jer, kako je već spomenuto, potrebne investicije iznosit će 80 do 100 milijardi maraka, pa će biti težak zadatak evropskih banaka da pruže potreban kredit.

Uz stopu inflacije od godišnje 10%, industrija nafte u svijetu (bez socijalističkih zemalja) trebala bi u razdoblju od 1976. do 1985. godine investirati 1 345 milijardi dolara, dok je od 1966. do 1975. godine bilo investirano ukupno samo 270 milijardi dolara.

Treba na kraju spomenuti da se namjeravaju provesti istraživački radovi sjeverno od 62. paralele u kojem se području očekuje nalaz velikih količina ugljikovodika i gdje razgraničenje između Norveške i Sovjetskog Saveza još nije provedeno. Vremenske prilike u tom području su znatno nepovoljnije nego u Sjevernom moru, gdje se radovi sada provode, što će svakako povisiti ukupne troškove, a i one po barelu nafte. (Anon. Erdöl und Kuhle, *30* 241/V. 1877)

V. B.

UREĐAJI ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

Udio ukapljenog prirodnog plina u ukupnoj svjetskoj potrošnji prirodnog plina iznosio je u 1976. godini oko 1,5% a do 1980. godine taj će se udio prema predviđanju povećati na 5,6%. U 1976. godini bilo je u svijetu osam instalacija za ukapljivanje prirodnog plina iza njegovu otpremu u tekućem stanju u specijalnim tankerima. Raspodjela na pojedine države je ova:

Zemlja	Broj instalacija	Kapacitet ukap. plina 10^3 Nm³/h	Izvoz u
Abu Dhabi	1	390	Japan
Alžir	4	1300	Francuska, SAD, Španjolska, Vel. Britanija
Borneo	1	840	Japan
Libija	1	430	Italija i Španjolska
SAD (Aljaska)	1	190	Japan
Ukupno	8	3150	—

Do 1980. godine broj instalacija će se povećati za osam novih, a ukupni će se kapacitet svih 16 instalacija povećati za preko četiri puta, pa će situacija biti ova:

Zemlja	Broj instalacija	Kapacitet ukap. plina 10^3 Nm³/h	Izvoz u
Abu Dhabi	1	390	Japan
Alžir	6	3650	Belgija, Francuska, SAD, Španjolska i Vel. Britanija
Borneo	1	840	Japan
Čile	1	320	SAD
Indonezija	2	1840	Japan
Iran	1		Belgija, Italija, Japan, SAD, Španjolska
Libija	1	430	Italija i Španjolska
SAD (Aljaska)	3	4410	Zapadna obala SAD
Ukupno	16	13220	—

Kako se vidi, najveća se povećanja broja i kapaciteta instalacija za ukapljivanje prirodnog plina predviđaju u Alžiru, Indoneziji, Iranu i SAD.

(Erdöl und Kohle, VIII. 1977) V. B.

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ

Prema nedavno postavljenim analizama ukupna proizvodnja električne energije u SR Njemačkoj u 1985. godini iznosit će ukupno 525 teravat — sati. Struktura te proizvodnje i ostali interesantni elementi su slijedeći:

Izvor energije	Instalirana snaga u 1 000 MW	Prosječ. iskoriš. sati godišnje	Proizvodnja TWh	Potrošnja goriva mln tona u ekv. uglj.
Ulje za loženje	16	2300	38	11,0
Plin	14	4800	67	19,5
Kameni ugljen	30	3600	107	35,5
Mrki ugljen	14	6500	91	32,0
Nuklearna energija	30	6000	180	59,5
Hidroenergija i ostalo	8	—	42	14,0
Ukupno	112	4700	525	171,5

Kod instalacija koje troše ulje za loženje, plin ili kameni ugljen uzeta je u obzir i mogućnost kombiniranog trošenja.

Kako se kod nuklearnih termoenergana može očekivati stanovito zaostajanje u gradnji novih objekata — iz tehničkih, financijskih i ekoloških razloga — što bi u 1985. godini moglo smanjiti proizvodnju električne energije korištenjem nuklearne energije u količini od 60 TWh, to se kao supstitucija predviđa veće anagažiranje termoelektrana na ovaj način:

Izvor energije	Instalirana snaga u 1 000 MW	Prosječ. iskoriš. sati godišnje	Proizvodnja TWh	Potrošnja goriva mln tona u ekv. uglj.
Manjak kod nuklearnih termoenergana	— 10	—	— 60	— 20,0
Nadomješteno:				
Kamenim ugljenom	—	4200	+ 20	+ 6,5
Uljem za loženje	—	4300	+ 30	+ 9,0
Plinom i ostalim	—	5400	+ 10	+ 4,5
Ukupno*	102	5200	525	171,5

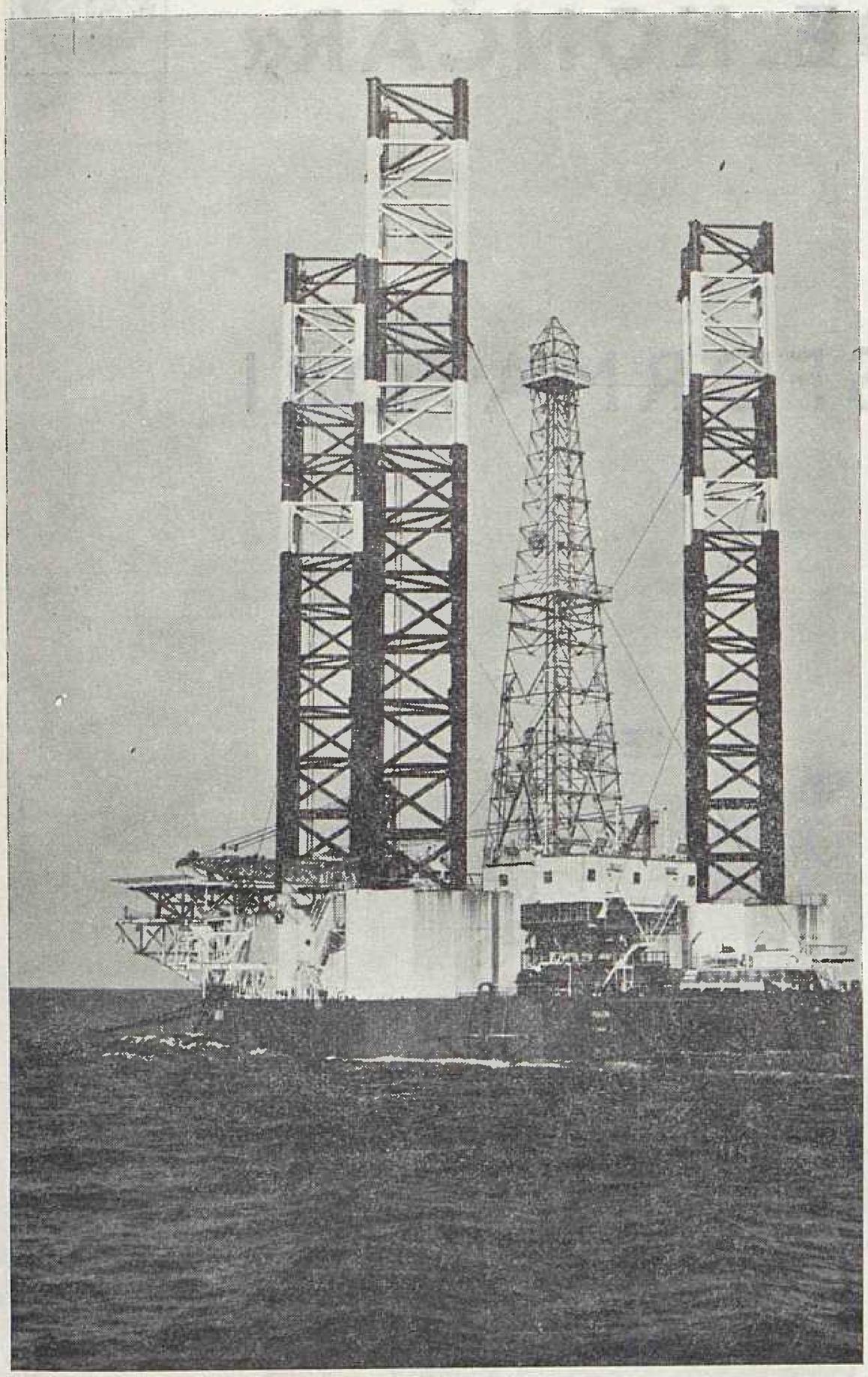
* Uz manjak kod nuklearnih termoenergana.

Kako se vidi, manjak na nuklearnim termoenerganama pokrio bi se većim korištenjem kalendarskog fonda termoenergana fosilna goriva.

(Kohle und Heizöl, VII. 1977)

Vijesti iz elektroprivrede

PODUPRTA SAMOPODIŽUĆA PLATFORMA »PANON«



Sredinom 1977. godine započeo je INA-Naftaplin s istražnim bušenjima podmorja Jadrana novonabavljenom poduprtom samopodižućom platformom »Panon«.

Koristeći se iskustvima stečenim radom s inozemnim zakupljenim platformama, INA-Naftaplin je nabavio takvu platformu koja tehničkim, tehnološkim i maritimnim uvjetima potpuno odgovara za istražna bušenja u sjevernoj, plićoj polovici Jadranskog mora, tj. za dubine mora od 94 m.

Prema tim uvjetima projekt platforme izradilo je brodogradilište Levingston Co iz Oragne (Texas, SAD), a izgradilo ju je brodogradilište R.D.M. Verolme iz Rotterdama (Nizozemska). Neki završni montažni radovi — nakon teglenja do naših voda — obavljeni su u zadarskoj luci Gaženica i na otvorenom moru između Primoštena i Rogoznice.

Platforma »Panon« je tipa poduprte samopodižuće platforme, gdje je ponton dug 83,0 (zajedno s helidekom, širok 54,0 m, a visok oko 7 m, dok visina tornja za bušenje sa svom supstrukturom gotovo iznosi 59,0 m. Visina svake noge s papučom (tri) je 127,0 m, a poprečni je presjek 6,7 × 6,7 m.

Težina platforme iznosi 6 607 tona i konstantna je pri teglenju platforme iz luke u luku ili od lokacije do lokacije, dok je manja kad se platforma tegli na velike udaljenosti i kad se noge uronjavanjem skrate na 80,5 m.

Pri bušenju i pripremi platforme za orkansko nevrijeme noge i papuče oslanjaju se na morsko dno i tada težina platforme iznosi 3 774 tone.

Razni potrošni materijal, pokretna oprema, voda, maziva i gorivo za pogon elektroagregata čine promjenljiv dio tereta i to do 1 000 tona. Snaga elektromotora potrebna za rad bušaće garniture, rasvjete, kao i za pokretanje nogu iznosi 5 000 kW.

Radnu ekipu čine 50 ljudi, koji stanuju na »Panonu« i rade u smjenama.

Prema svojim tehnološkim karakteristikama bušaća garnitura na »Panonu« može bušiti do dubine 6 000 metara.

Do sada je na čitavom našem dijelu sjevernog jadranskog podmorja izbušeno s unajmljenim garniturama deset istražnih bušotina, što je s obzirom na veličinu toga dijela Jadrana tek početak istraživanja na naftu ili prirodni plin.

»Panon« je svoju prvu bušotinu izbušio na lokaciji 130 km zapadno od Zadra. Bušenje je obavljeno do 1 800 metara i utvrđena je prisutnost prirodnog plina.

Druga je bušotina izbušena oko 56 km zapadno od Pule do dubine oko 1 000 metara. Pronađeno je ležište plina koje će — prema svim očekivanjima — davati veću proizvodnju.

»Panon« je u rujnu otegljen na novu lokaciju.

Treća je bušotina locirana između Zadra i Dugog otoka i predviđeno je da se buši do maksimalne dubine, tj. do 6 000 metara.

I. R.

PROSLAVA 70-GODIŠNJICE »ELEKTRE« ZAGREB

Kolektiv zagrebačke »Elektre« na svečan način je proslavio sedamdesetogodišnjicu elektrifikacije Zagreba. Dana 7. studenoga 1907. godine zasjale su prve žarulje na gradskim ulicama. Glavna proslava održana je 3. studenoga u dvorani hotela Zagreb-Interkontinental. Održana je i svečana sjednica Radničkog savjeta ZOOUR kojoj je prisustvovalo oko 400 uzvanika. Proslavi su prisustvovali predstavnici društveno-političkih organizacija republike i grada, te dugogodišnji poslovni prijatelji, predstavnici elektroprivrede i drugi gosti.

Glavni direktor, Petar Kuzele, dipl. ing. podnio je referat o razvoju elektrifikacije, kao i radu i uspjehu »Elektre« od 1907. do danas. Poduzeće »Elektra« razvilo se u jaku elektrodistribucijsku organizaciju s 18 OOUR i više od 1700 zaposlenih radnika.

Predsjednik Republike JOSIP BROZ TITO odlikovao je tim povodom zaslužne dugogodišnje radnike kolektiva Antu Lučeva i Eduarda Papeša Ordenom Republike sa srebrnim vijencem, a Jakova Bezerića i Leopolda Gajdeka Ordenom rada sa srebrnim vijencem. Na svečanoj sjednici jedanaestorici radnika koji su u poduzeću proveli 30 ili 40 godina uručena su priznanja i nagrade za njihov doprinos razvoju i napredku poduzeća.

Na dan poduzeća 7. studenoga svi radnici ZOOUR-a u Zagrebu proslavili su tu značajnu obljetnicu u svojim radnim zajednicama i radnim jedinicama. Tom prilikom podijeljene su nagrade i diplome radnicima za deset i dvadeset godina rada u poduzeću.

Članovi kolektiva »Elektre« uputili su s proslave pozdravni brzojav Predsjedniku Republike i sekretaru SKJ JOSIPU BROZU TITU.

Opširnije o »Elektri« i njezinom 70-godišnjem radu objavit ćemo u slijedećem broju Energije.

I. R.

»RADE KONČAR«

TROFAZNI TRANSFORMATORI

50 do 1600 kVA

ZA VAŠE POTREBE

Projektirali smo standardni niz distributivnih transformatora koji su pouzdani u pogonu i potpuno u skladu s novim propisima

SERIJA

2TBN — 12
2BTN — 24
2BTN — 24x

NAŠE RJEŠENJE

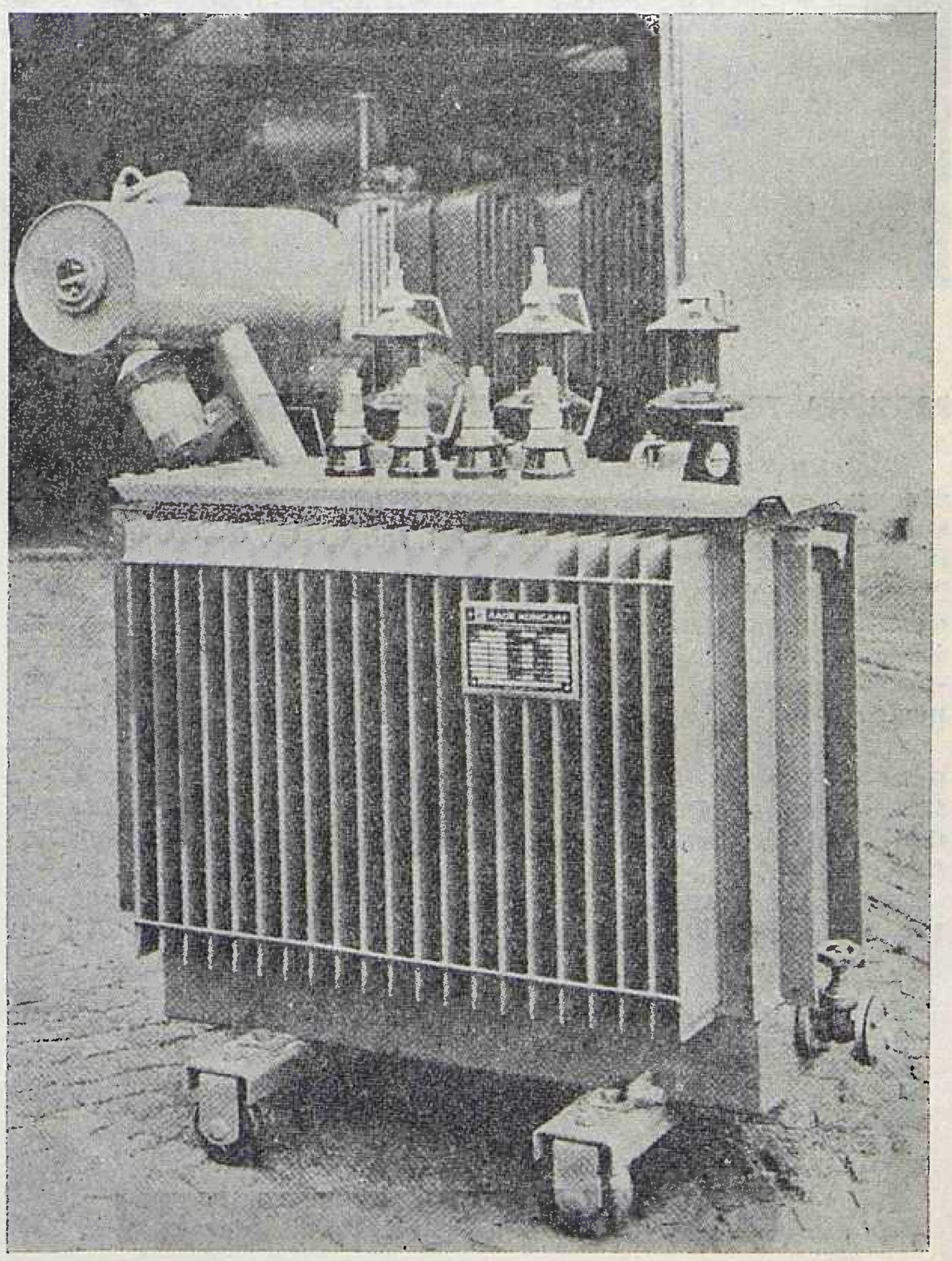
Transformatori se izrađuju i ispituju prema JUS N.H. 1. 010/020

Din 42500 do 630 kVA uk — 4%
1000 . . . 1600 kVA uk — 6%

Osim standardnih izvedbi na poseban zahtjev izrađujemo transformatore s drugačijim tehničkim karakteristikama i u drugačijoj izvedbi (prespojivi na VN strani, veći opseg regulacije, kabelski priključci, sniženi gubici i slično).

VAŠ PROBITAK

Pouzdani u pogonu
Otpornost na sile kratkog spoja
Otpornost na udarni napon
Kompaktna gradnja
Čvrst kotao
Kvalitetna antikorozna zaštita
Male vanjske dimenzije



TRANSFORMATOR 2TBN — KOTAO OD VALOVITOG LIMA

STATISTIČKI PREGLED

ELEKTROPRIVREDE SR HRVATSKE U SKLOPU ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE

OSNOVNI PODACI

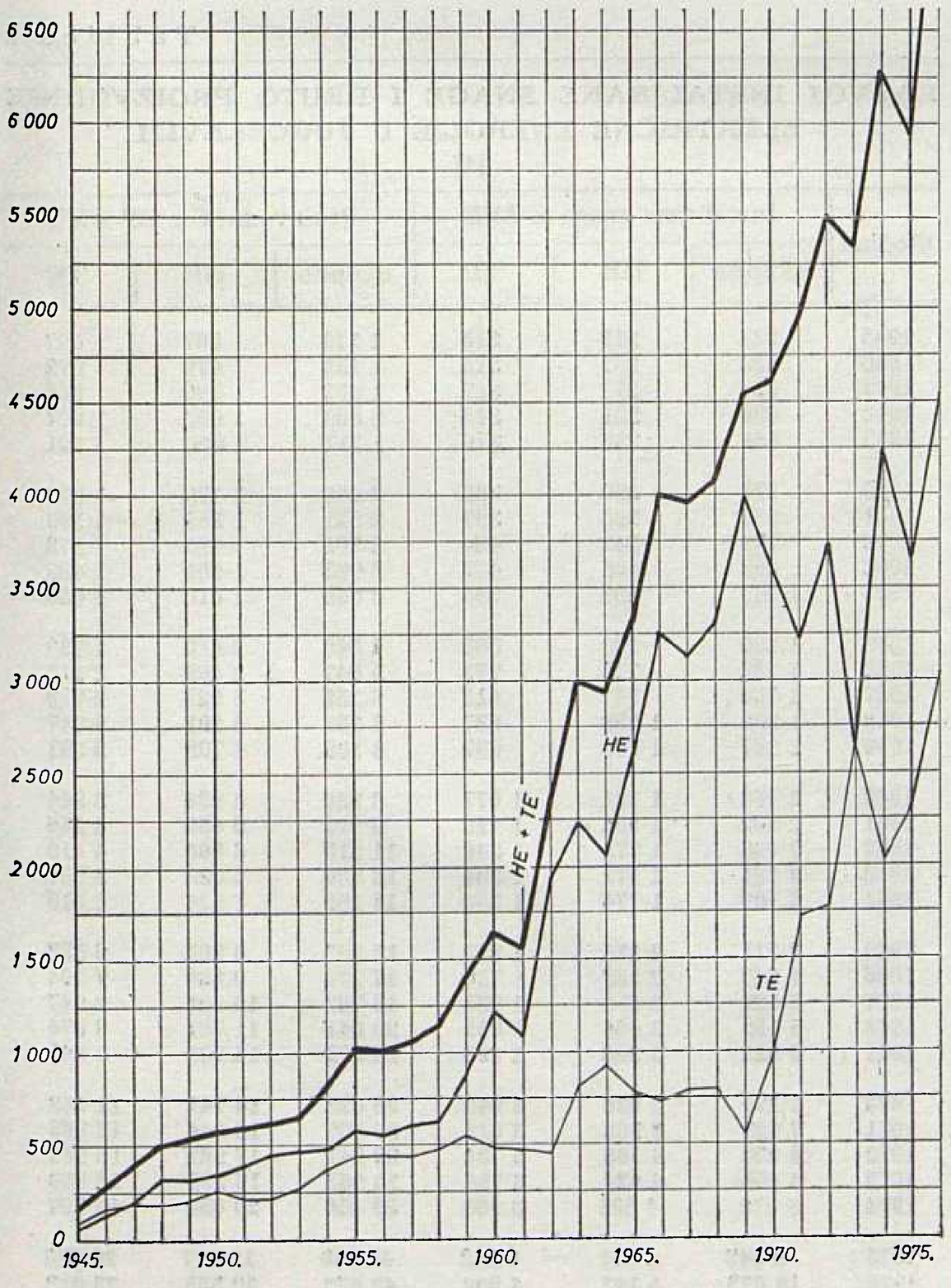
Tablica 1

OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
po stanju od 31. XII 1976. [2]

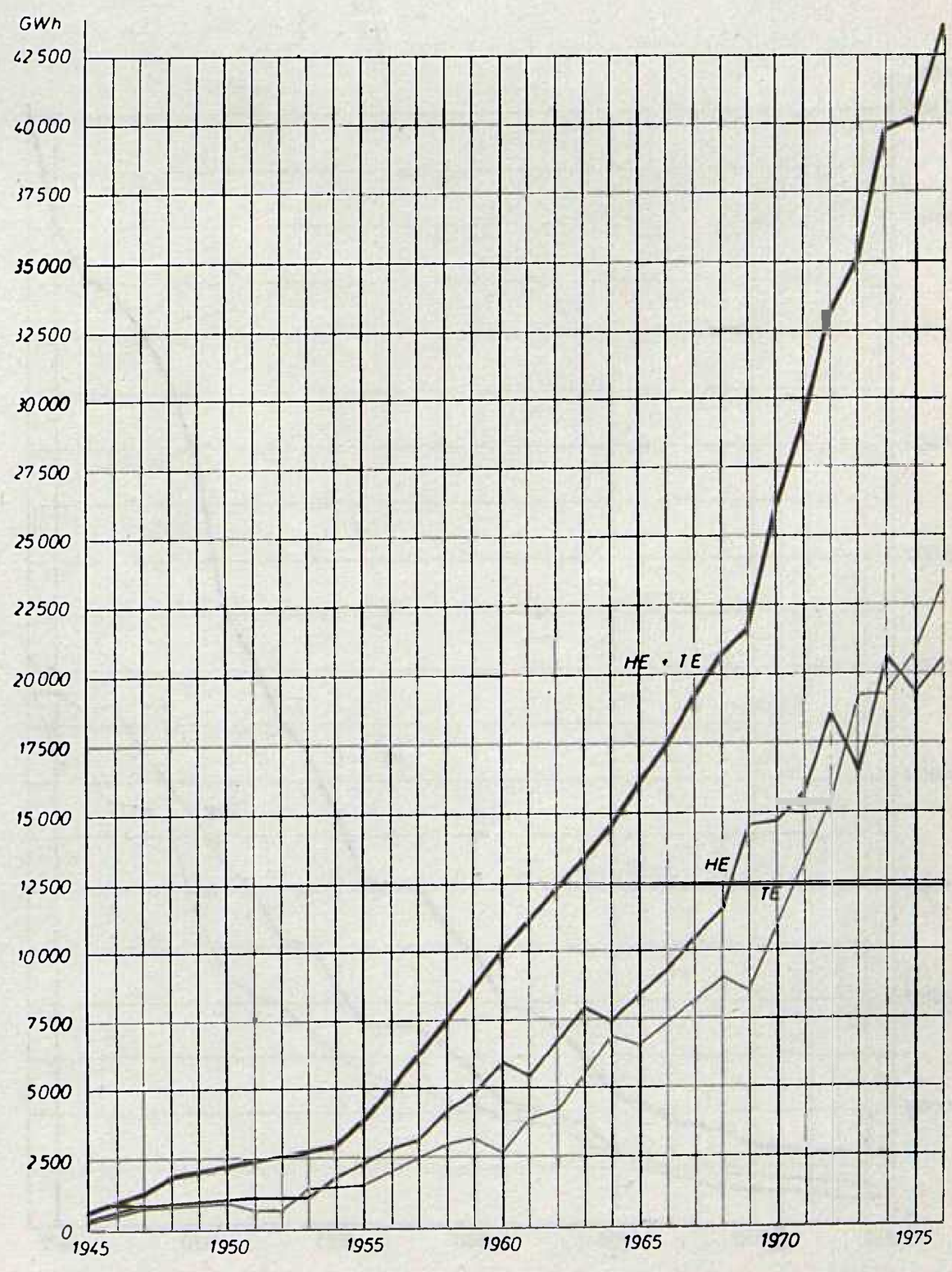
Naziv postrojenja		1965	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Hidroelektrane	broj	14	17	17	17	19	19	20	21
	snaga MW	549	777,7	777,7	777,7	1023,6	1024	1310	1200
od toga Udružene	MW	435	761,6	761,6	761,6	1007,5	1007	1213	1185
Termoelektrane	broj	39	40	40	40	40	41	41	41
	snaga MW	241	556,4	568,4	568,4	568,4	768	836	887
od toga Udružene	MW	125	479,4	491,4	491,4	491,4	691	800	771
Ukupno elektrane	MW	790	1334,1	1346,1	1346,1	1592,0	1792	2146	2087
Transformatorske stanice:									
220/110 kV	broj stanica	2	5	5	5	6	6	6	6
	broj transformatora	3	7	7	8	11	11	11	12
	snaga MVA	350	1000	1000	1150	1600	1600	1600	1800
110/30—50 kV	broj stanica	28	34	36	42	44	46	50	71
	broj transformatora	54	57	68	79	80	82	86	137
	snaga MVA	1161	1441	1586	1920	1980	2060	2140	3118
30—50/3—10 kV	broj stanica	196	241	249	258	270	280	286	280
	broj transformatora	308	449	458	462	487	510	520	497
	snaga MVA	1011	1732	1851	1930	2010	2090	2130	2104
3—10 kV / niski napon	broj stanica	6135	10480	10876	11320	11625	11927	11963	13915
	broj transformatora	6669	11763	12004	12460	12860	13262	13421	14188
	snaga MVA	1109	2220	2276	2410	2910	3450	3636	3210
Dalekovodi:									
220 kV	km	593	874	949	976	1158	1158	1251	1065
110 kV	km	1673	2062	2110	2384	2483	2533	2539	3384
50—30 kV	km	2848	3305	3547	3651	3725	3799	3814	3682
10—3 kV	km	12154	16967	17860	18630	19320	20010	20546	21050
niski napon	km	26402	34749	35750	36685	37340	37995	38415	43750
Vršno opterećenje SRH	MW	890	1004	1126	1208	1227	1271	1576	1595

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

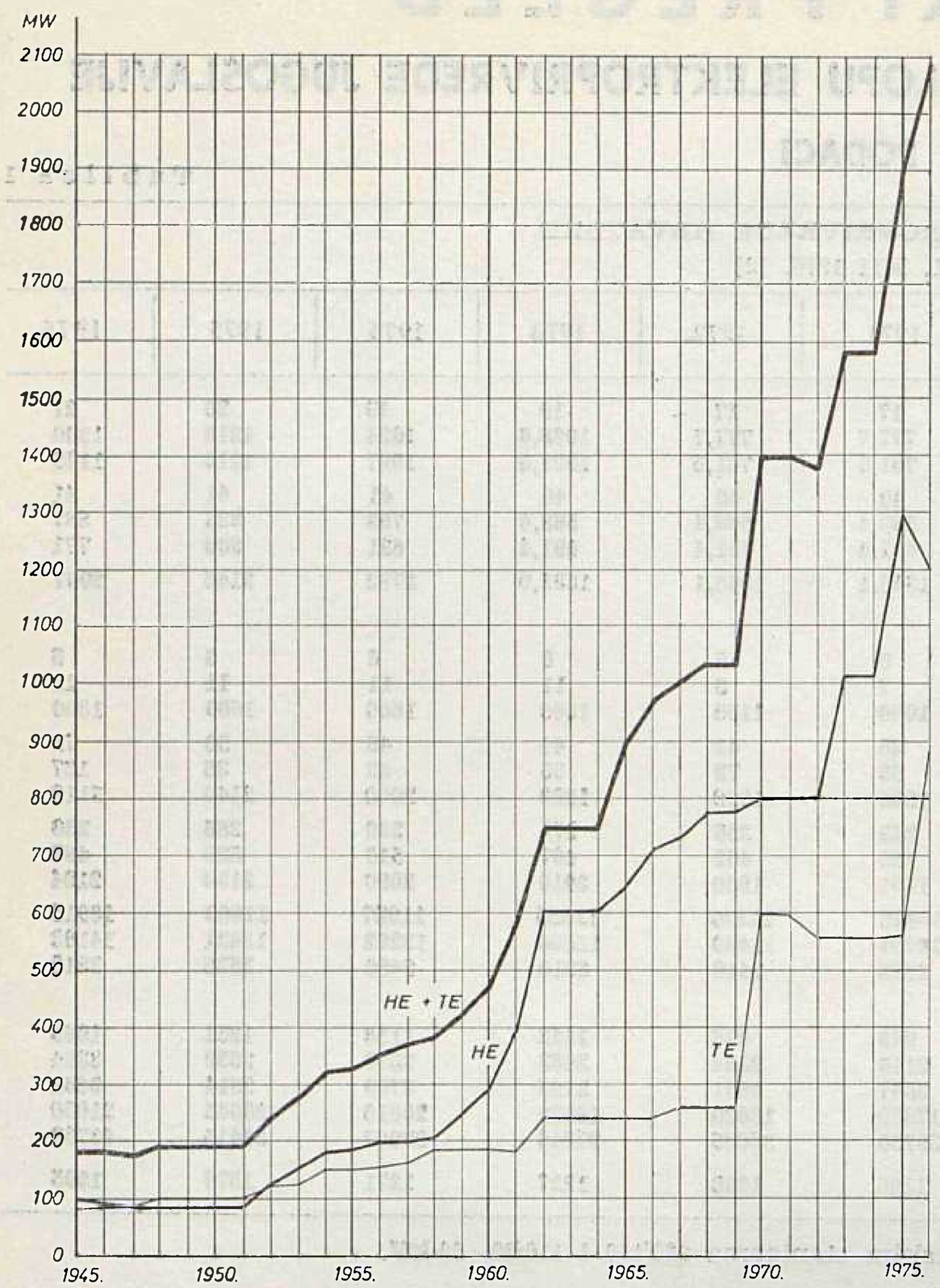
PROIZVODNJA I INSTALIRANE SNAGE



Sl. 1. Ukupna proizvodnja električne energije u Hrvatskoj



Sl. 2. Ukupna proizvodnja električne energije u Jugoslaviji

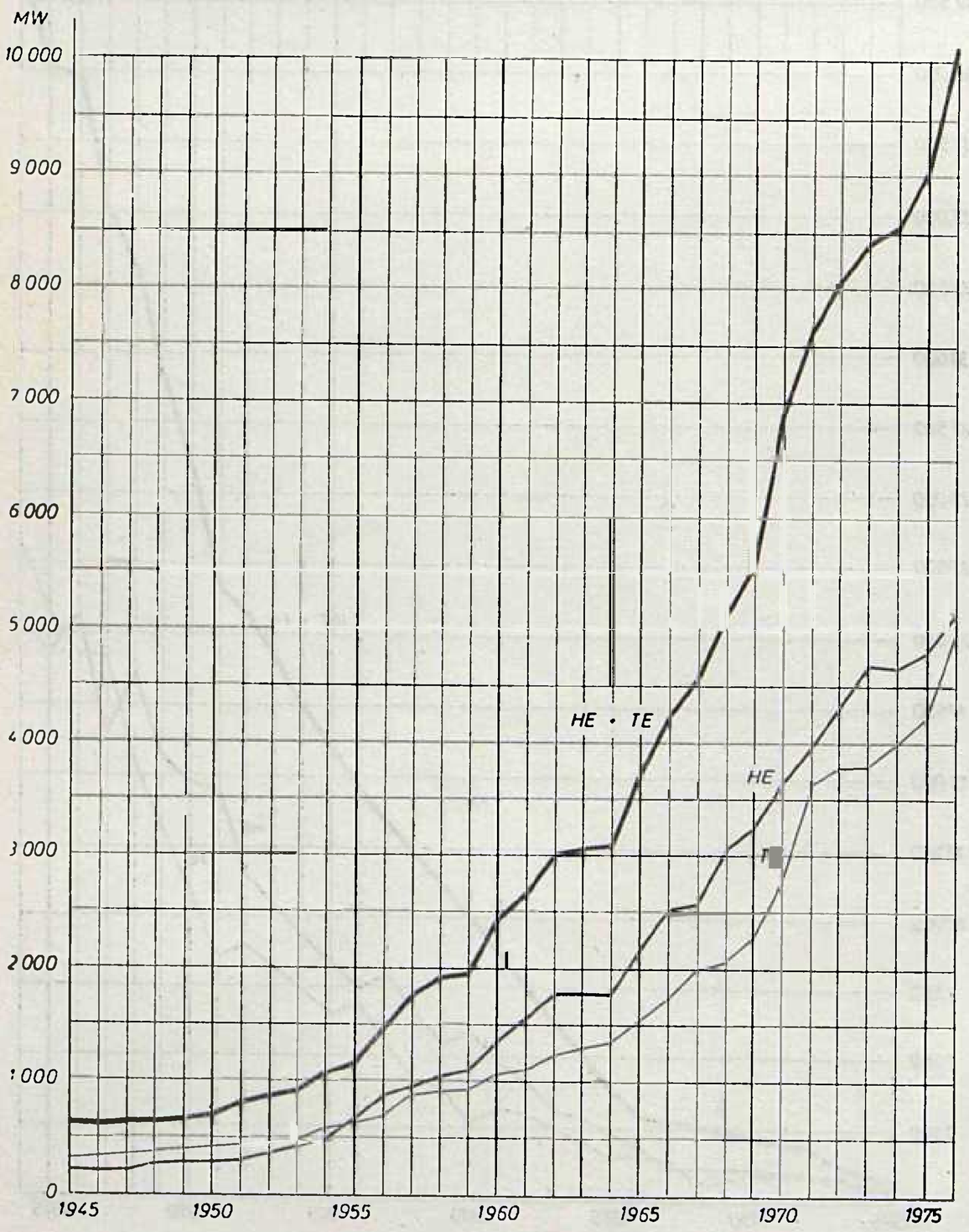


Sl. 3. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Hrvatske

Tablica 2

RAZVOJ INSTALIRANE SNAGE I BRUTO PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ
[4]

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1945	178	97	81	171	79	92
1946	177	93	84	266	130	136
1947	173	89	84	378	179	199
1948	188	89	99	497	301	196
1949	188	89	99	524	297	227
1950	188	89	99	577	326	251
1951	188	89	99	596	379	217
1952	235	117	118	628	412	216
1953	270	149	121	716	458	258
1954	321	173	148	815	461	354
1955	327	179	148	1 021	587	434
1956	347	192	155	1 006	564	442
1957	365	196	169	1 074	638	436
1958	381	200	181	1 168	670	498
1959	429	248	181	1 396	851	545
1960	470	289	181	1 671	1 197	474
1961	576	397	179	1 555	1 103	452
1962	746	505	241	2 339	1 913	426
1963	746	505	241	3 000	2 224	776
1964	746	505	241	2 914	2 068	846
1965	895	649	241	3 391	2 609	782
1966	962	721	241	4 000	3 257	743
1967	999	739	260	3 963	3 184	779
1968	1 035	775	260	4 094	3 304	790
1969	1 035	775	260	4 528	3 980	548
1970	1 334	798	595	4 622	3 656	966
1971	1 393	798	595	4 957	3 232	1 725
1972	1 363	798	565	5 500	3 718	1 782
1973	1 577	1 012	565	5 334	2 640	2 694
1974	1 577	1 012	565	6 299	4 233	2 066
1975	1 878	1 313	565	5 939	3 641	2 298
1976	2 198	1 313	885	7 644	4 566	3 078



Sl. 4. Razvoj instaliranih snaga u elektranama Jugoslavije

Tablica 3

RAZVOJ INSTALIRANE SNAGE I BRUTO PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI
[4]

Godina	Instalirana snaga u MW			Proizvodnja u 10^6 kWh		
	ukupno	HE	TE	ukupno	HE	TE
1945	524	211	313	1 174	567	607
1946	523	207	316	1 150	478	672
1947	528	211	317	1 453	595	858
1948	629	281	348	2 060	1 053	1 007
1949	661	285	376	2 211	1 020	1 191
1950	673	290	383	2 408	1 175	1 233
1951	693	296	397	2 551	1 358	1 193
1952	772	342	430	2 701	1 423	1 278
1953	893	406	487	2 983	1 501	1 482
1954	1 049	496	553	3 440	1 810	1 630
1955	1 220	639	581	4 340	2 610	1 730
1956	1 488	715	773	5 047	2 869	2 178
1957	1 760	947	813	6 252	3 522	2 730
1958	1 895	1 058	837	7 358	4 301	3 057
1959	1 967	1 130	837	8 105	4 708	3 397
1960	2 468	1 391	1 077	8 928	5 984	2 944
1961	2 662	1 536	1 126	9 925	5 659	4 266
1962	3 026	1 778	1 248	11 315	6 896	4 419
1963	3 081	1 777	1 304	13 536	8 029	5 507
1964	3 109	1 774	1 335	14 189	7 574	6 615
1965	3 711	2 176	1 535	15 523	8 985	6 538
1966	4 243	2 533	1 710	17 174	9 880	7 294
1967	4 527	2 589	1 938	18 702	10 655	8 047
1968	5 155	3 094	2 065	20 641	11 767	8 874
1969	5 522	3 226	2 296	23 375	14 733	8 642
1970	6 879	3 636	3 243	26 023	14 741	11 282
1971	7 623	3 980	3 643	29 509	15 644	13 865
1972	8 090	4 306	3 784	33 241	17 982	15 249
1973	8 408	4 624	3 784	35 063	16 395	18 668
1974	8 570	4 602	3 968	39 456	20 659	18 797
1975	9 043	4 801	4 242	40 040	19 317	20 723
1976	10 073	5 143	4 930	43 573	20 555	23 018

Tablica 4

INSTALIRANE SNAGE ELEKTRANA 1976. PO REPUBLIKAMA
u MW [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
S F R J	10 073	9 405	668	5 143	5 015	128	4 930	4 390	540
Bosna i Hercegovina	1 495	1 346	149	...	544	...	...	802	...
Crna Gora	560	532	28	...	532	...	...	—	...
Hrvatska	2 198	2 062	136	...	1 293	...	...	769	...
Makedonija	406	349	57	...	349	...	...	—	...
Slovenija	1 383	1 312	71	...	499	...	...	812	...
Srbija	4 031	3 804	227	...	1 798	...	...	2 007	...

Tablica 5

BRUTO PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1976. PO REPUBLIKAMA
u GWh [4]

Republika	Ukupno			Hidroelektrane			Termoelektrane		
	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale	Svega	Udružene	Ostale
S F R J	43 573	40 652	2 921	20 555	19 891	764	23 018	20 761	2 257
Bosna i Hercegovina	8 617	7 772	845	...	2 845	...	...	4 927	...
Crna Gora	1 340	1 245	95	...	1 245	...	...	—	...
Hrvatska	7 644	7 187	457	...	4 466	...	...	2 721	...
Makedonija	983	799	184	...	799	...	...	—	...
Slovenija	6 677	6 304	373	...	2 184	...	...	4 119	...
Srbija	18 312	17 345	967	...	8 352	...	...	8 994	...

Tablica 6

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

Godina	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1939.	75	...	...	...	...	...	...
1946.	75	...	...	...	...	...	...
1947.	93	...	...	...	...	...	...
1948.	130	58	5	131	21	601	79
1949.	137	77	10	138	24	603	86
1950.	147	91	15	130	37	636	89
1951.	154	93	22	154	48	673	92
1952.	161	100	24	160	50	699	97
1953.	175	110	33	181	55	743	106
1954.	199	134	96	204	71	849	116
1955.	247	219	59	253	94	1 014	132
1956.	283	255	69	247	103	1 233	162
1957.	347	367	77	261	170	1 484	197
1958.	404	466	88	282	230	1 603	244
1959.	439	563	93	334	266	1 692	290
1960.	484	561	304	404	295	1 692	290
1961.	533	589	725	373	320	2 006	318
1962.	597	578	994	555	313	2 008	364
1963.	706	680	1 837	707	314	2 133	423
1964.	736	790	1 866	685	375	1 982	477
1965.	796	850	1 693	792	389	2 177	506
1966.	870	916	1 676	928	418	2 137	585
1967.	937	1 015	1 571	913	513	2 197	694
1968.	1 024	1 201	1 769	938	436	2 354	778
1969.	1 149	1 302	2 101	1 033	563	2 721	865
1970.	1 268	1 435	1 818	1 051	754	2 844	1 043
1971.	1 439	1 702	1 679	1 121	727	2 573	1 381
1972.	1 602	1 716	1 605	1 237	548	3 112	1 641
1973.	1 673	1 784	1 322	1 196	697	3 110	1 795
1975.	1878	2 070	1 357	1 318	569	3 699	2 006
1976.	2 025	2 135	2 363	1 556	550	3 736	2 078

Tablica 7

RAZVOJ PROIZVODNJE NA GENERATORU I RAZMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE SR HRVATSKE
u GWh [1] [2]*

Godina	Proizvodnja												Ukupna razmjena (saldo)			Raspoloživo bruto
	Hrvatska			Udružene elektrane			Distr. i lokalne			Industr. elektrane						
	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	hidro	termo	ukupno	tuzemna	inozemna	
1939.	432	276	156	351	257	94	3	1	2	78	18	60	55	55	—	487
1945.	224	93	133	169	84	85	3	—	3	52	9	43	68	68	—	292
1946.	273	134	139	202	122	80	3	—	3	68	12	56	140	140	—	413
1947.	378	184	194	281	168	113	4	1	3	94	16	78	127	127	—	506
1948.	497	305	192	390	285	105	4	1	3	103	19	84	162	162	—	659
1949.	524	303	221	415	286	129	4	1	3	105	16	89	191	190	1	715
1950.	556	327	229	446	311	135	4	1	3	106	15	91	225	225	—	781
1951.	591	378	213	475	359	116	4	1	3	112	18	94	266	266	—	857
1952.	623	417	206	504	398	106	5	1	4	114	18	96	249	236	13	872
1953.	716	460	256	571	441	130	6	1	5	139	18	121	212	210	2	928
1954.	810	456	354	610	438	172	6	1	5	194	17	177	210	195	15	1020
1955.	1025	591	434	781	569	212	6	2	4	238	20	218	254	254	—	1279
1956.	1007	564	443	741	546	195	6	2	4	260	16	244	398	397	1	1405
1957.	1075	637	438	830	620	210	5	2	3	241	16	225	579	579	—	1655
1958.	1169	672	497	930	654	276	4	1	3	235	17	218	739	792	—53	1908
1959.	1392	854	539	1129	835	294	5	1	4	258	18	240	714	771	—57	2106
1960.	1671	1197	474	1412	1176	236	6	2	4	253	19	234	622	716	—94	2293
1961.	1555	1102	453	1333	1087	246	5	2	3	217	13	204	977	1051	—74	2532
1962.	2331	1903	428	2122	1888	234	5	—	5	204r	15	189r	480	519	—39	2814
1963.	3089	2311	778	2792	2212	580	90	83	7	207	16	191	286	348	—62	3375
1964.	2910	2068	842	2555	1976	579	106	74	32	249	18	231	519	558	—39	3429
1965.	3430	2620	810	3040	2513	527	90r	86	4r	300r	21	279r	374	413r	—39	3804r
1966.	4000	3254	746	3616	3158	458	77r	74r	3	304r	19r	285r	171	187r	—16	4168r
1967.	3962	3183	779	3580	3098	482	70r	70r	—	312r	15	297r	516	502r	+14	4478r
1968.	4091	3301	789	3707	3211	496	77	77	—	306	13	293r	815	817r	— 2r	4905r
1969.	4520	3979	541	4155	3881	274	84	84	—	281	14	267	904	921	—17	5424
1970.	4692	3726	966	4362	3640	722	73	73	—	257	13	244	1303	1351	—48	5995
1971.	4953	3229	1724	4606	3152	1454	66	66	—	281	11	270	1509	1579	—70	6462
1972.	5509	3727	1782	5166	3632	1534	80	80	—	263	15	248	1505	1505	—	7014
1973.	5333	2640	2693	4971	2569	2401	61	61	—	302	10	292	2018	1975	43	7352
1974.	6281	4226	2055	5916	4119	1797	85	85	—	280	22	258	2262	2359	—97	8543
1975.	5922	3626	2296	5501	3538	1963	77	77	—	344	11	333	3188	2472	+716	9110
1976*	7621	4555	3066	7187	4466	2721	74	74	—	360	15	345	1937	1710	+227	9558

Do uključivo 1962. nalazile su se distributivne elektrane u sastavu udružene elektroprivrede
Od 1965. uključeno 22% sistema HE Trebišnjice

RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tablica 8

MEĐUREPUBLIČKA RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE 1976.
u MWh [4]

Primila / predala	Ukupno	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Ukupno	4 921	181	309	1 755	2 032	1 559	85
B i H	2 158	—	59	1 573	1	504	21
Crna Gora	132	69	—	6	11	1	45
Hrvatska	74	31	2	—	1	32	8
Makedonija	5	—	—	—	—	—	5
Slovenija	69	17	—	46	—	—	6
Srbija	2 483	64	248	130	2 019	22	—

Tablica 9

RAZMJENA IZMEĐU PODRUČJA UNUTAR HRVATSKE
u MWh [1] [2]*

Godina	Split			Rijeka			Dubrovnik	Osijek	Zagreb		
	daje	prima	saldo	daje	prima	saldo	daje	prima	prima	daje	saldo
1965.	—	—	—	—	—	—	53 904	—	53 904	—	53 904
1966.	688 723	16 465	672 258	309 946	184 983	124 963	174 522	—	971 743	—	971 743
1967.	763 610	19 863	743 747	452 181	222 894	229 287	156 357	—	1 129 391	—	1 129 391
1968.	422 680	80 823	341 857	476 431	39 679	436 752	328 697	—	1 107 306	—	1 107 306
1969.	541 961	9 711	532 250	666 311	1 962	664 349	425 325	—	1 621 924	—	1 621 924
1970.	397 780	57 158	340 622	817 467	120 497	669 970	457 907	—	1 495 499	—	1 425 499
1971.	215 769	69 211	146 558	502 524	29 890	472 643	435 712	—	1 054 904	—	1 054 904
1972.	103 082	52 774	50 308	683 827	22 079	661 748	399 289	245 413	466 643	—	466 643
1973.	294 541	12 567	281 974	93 423	731 856	—638 433	266 975	299 630	56 829	—	56 829
1974.	29 846	391 822	362 036	663 638	18 569	—645 069	317 959	218 708	64 325	—	64 325
1975.	—	143 000	143 000	474 000	—	—474 000	—	209 000	453 000	—	453 000
1976.*	39 000	912 000	873 000	736 000	2 000	—734 000	340 000	353 000	772 000	154 000	618 000

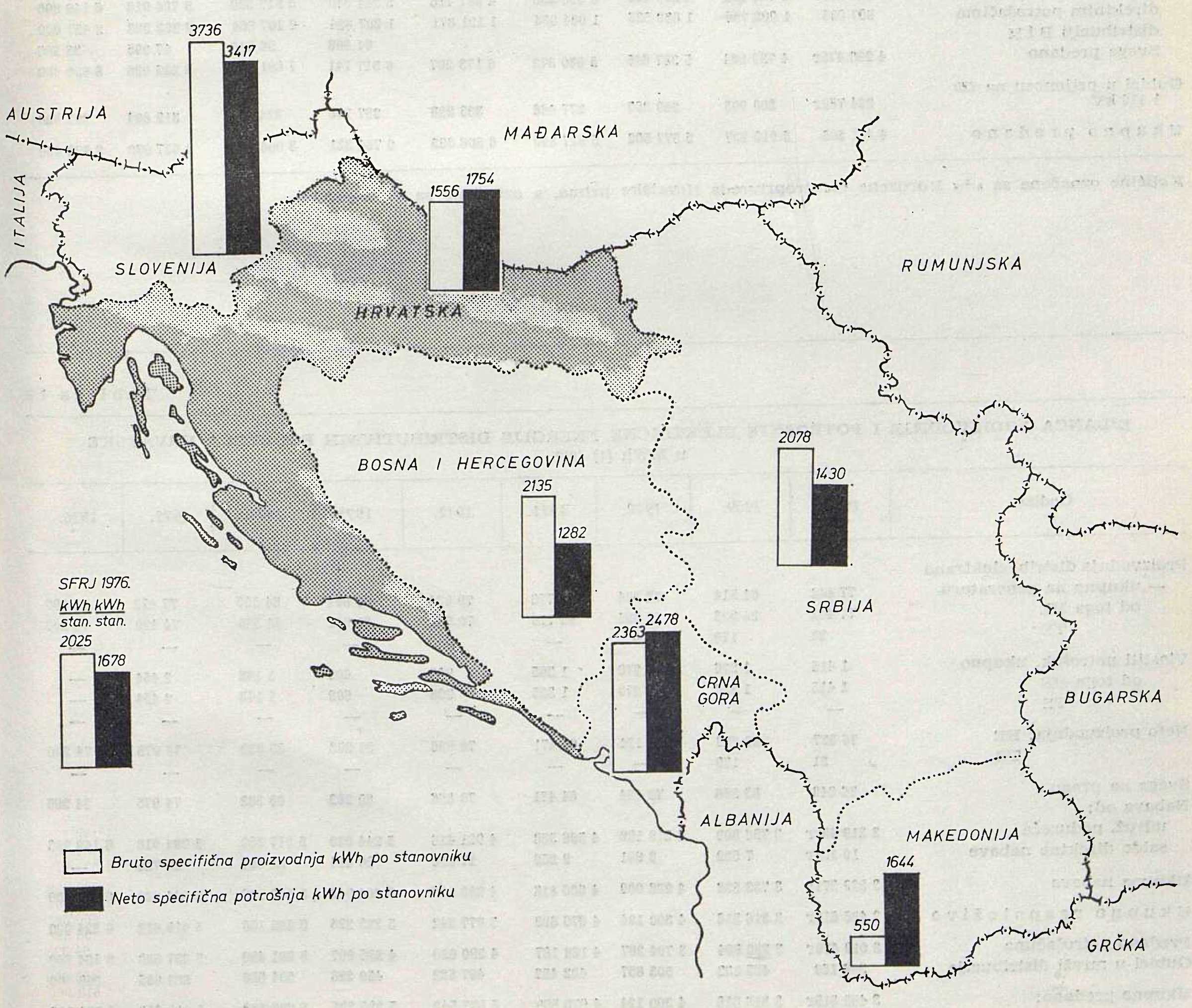
Razmjena između područja unutar Hrvatske vodi se tek od osnivanja združenih poduzeća u Splitu, Rijeci i Zagrebu 1966. g.

Tablica 10

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

Razmjena	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.
Nabava iz Slovenije	376,3	234,9	263,3	169,3	321,6	32,2	95,4	85,2	15,4	166,0	46,0
Predaja u Sloveniju	534,5	484,6	589,7	322,9	421,3	992,9	92,2	28,1	50,9	26,0	26,0
	—	—	—	—	—	—	+	+	—	+	+
Saldo	158,2	249,7	326,5	153,5	99,7	960,7	3,2	57,1	35,5	140,0	20,0
Nabava iz Bosne	708,8	792,9	1189,4	1127,3	1492,9	2575,1	1565,1	1925,0	2397,4	2401,0	1689,0
Predaja u Bosnu	370,9	51,6	51,9	56,5	42,6	40,7	63,2	6,2	2,1	75,0	18,0
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saldo	337,9	741,3	1137,5	1070,8	1450,3	2534,4	1460,7	1918,8	2395,3	2326,0	1671,0
Nabava iz inozemstva	19,4	16,6	8,3	1,7	0,1	1,5	—	42,6	50,0	739,0	331,0
Predaja u inozemstvo	35,7	2,8	9,8	18,2	48,1	71,8	0,1	0,0	146,6	23,0	104,0
	—	+	—	—	—	—	—	+	—	+	+
Saldo	16,3	13,9	1,5	16,6	48,1	70,3	0,1	42,6	96,6	716,0	227,0
Ukupno nabava	1104,5	1044,5	1461,0	1298,0	1814,5	2608,8	1660,5	2052,8	2462,8	3306,0	2066,0
Izvoz i predaja	941,2	539,0	651,4	397,5	512,0	1105,4	155,4	34,3	199,6	124,0	148,0
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Saldo razmjene	163,4	505,5	809,5	900,8	1302,6	1503,4	1505,1	2018,5	2263,2	3182,0	1918,0

U tablici je sadržana razmjena na svim naponima. Razmjena sa SR Crnom Gorom i SR Srbijom uključena u SR BiH.



Sl. 5. Specifična proizvodnja i potrošnja električne energije (kWh/stanovnik)

POTROŠNJA I BILANCE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tablica 11

PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE
u MWh [1] [2]*

Godine	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.
Proizvodnja na generatoru	3 707 099	4 154 663	4 362 092	4 606 147	5 166 161	4 971 261	5 916 047	5 501 120	7 186 500
Vlastiti potrošak	65 489	51 537	89 996	156 548	164 588	207 289	173 553	174 369	222 100
Proizvodnja na pragu	3 641 610	4 103 126	4 272 096	4 449 599	5 001 573	4 763 972	5 742 494	5 326 751	6 964 400
Razmjena saldo	809 595r	+ 900 756	+1 302 564	+1 503 437	+1 505 112	2 018 526	2 262 748	3 187 355	1 937 600
sa Slovenijom	— 326 471	— 153 510	— 99 675	— 960 733	+ 3 213	57 098	35 576	121 140	—
sa Bosnom	+1 137 522r	+1 070 816	+1 450 290	+2 534 449	+1 501 975	1 643 073	1 905 256	1 990 487	—
sa inozemstvom	— 1 459	— 16 550	— 48 051	— 70 279	— 76	42 626	96 715	715 182	—
sa Srbijom						241 642	437 063	345 216	—
sa Crnom Gorom						34 105	52 720	15 330	—
Nabava od:									
distributivnih elektrana	—	—	—	—	—	—	—	—	—
industrijskih elektrana	—	6 375	2 842	4 804	—	1 823	857	23 824	21 400
Razmjena i nabava, ukupno	809 595r	907 131	1 305 406	1 508 241	1 505 112	2 020 349	2 263 605	3 211 179	1 959 000
Ukupno raspoloživo	4 451 205r	5 010 257	5 577 502	5 957 840	6 506 685	6 784 321	8 006 099	8 537 930	8 923 400
Predano:									
distributivnim poduzećima	3 319 450r	3 726 509	4 219 109	4 596 338	4 981 416	5 244 849	5 517 389	5 784 918	6 149 800
direktnim potrošačima	907 025	1 002 755	1 088 536	1 084 034	1 191 871	1 207 894	2 107 664	2 393 023	2 457 000
distribuciji B i H						64 398	56 246	47 095	23 800
Svega predano	4 226 475r	4 729 264	5 307 645	5 680 372	6 173 287	6 517 141	7 681 299	8 225 036	8 630 600
Gubici u prijenosu na 220 i 110 kV	224 730r	280 993	269 857	277 468	333 398	267 180	324 800	312 894	292 800
Ukupno predano	4 451 205	5 010 257	5 577 502	5 957 840	6 506 685	6 784 321	8 006 099	8 537 930	8 923 400

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

Tablica 12

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE DISTRIBUTIVNIH PODUZEĆA HRVATSKE
u MWh [1] [2]*

Godine	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.
Proizvodnja distrib. elektrana									
— ukupno na generatoru	77 463	84 514	73 394	65 776	79 834	60 891	84 525	77 429	74 200
od toga HE	77 442	84 335	73 394	65 776	79 834	60 891	84 525	74 429	74 200
TE	21	179	—	—	—	—	—	—	—
Vlastiti potrošak, ukupno	1 415	1 236	1 270	1 305	968	609	1 143	2 454	—
od toga HE	1 415	1 236	1 270	1 305	968	609	1 143	2 454	—
TE	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Neto proizvodnja: HE	76 027	89 099	72 124	64 471	78 866	60 282	83 382	74 975	74 200
TE	21	179	—	—	—	—	—	—	—
Svega na pragu	76 048	83 278	72 124	64 471	78 866	60 282	83 382	74 975	74 200
Nabava od:									
udruž. poduzeća	3 319 450r	3 726 509	4 219 109	4 596 338	4 981 416	5 244 529	5 517 389	5 784 918	6 149 800
saldo direktne nabave	10 121r	7 029	8 891	9 850	17 250	20 414	25 397	59 720	—
Ukupna nabava	3 329 571r	3 733 538	4 228 000	4 606 218	4 998 666	5 264 943	5 542 786	5 844 638	6 149 800
Ukupno raspoloživo	3 405 619r	3 816 816	4 300 124	4 670 689	5 077 542	5 325 225	5 626 168	5 919 613	6 224 000
Predano potrošačima	3 019 450r	3 390 984	3 794 267	4 188 167	4 590 020	4 855 997	5 091 480	5 337 528	5 564 500
Gubici u mreži distribucije	386 169	425 832	505 857	482 492	487 522	469 228	534 688	582 085	659 500
Ukupno predano:	3 405 619r	3 816 816	4 300 124	4 670 659	5 077 542	5 325 225	5 626 168	5 919 613	6 224 000

Tablica 13

BILANCA ELEKTRIČNE ENERGIJE UDRUŽENE JUGOSLAVENSKE ELEKTROPRIVEDE 1976.
u GWh [4]

Elementi energetske bilance		SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1. Bruto proizvodnja	Ukupno	40.652	7.772	1.245	7.187	799	6.034	17.345
	HE	19.891	2.845	1.245	4.466	799	2.184	8.352
	TE	20.761	4.927	—	2.721	—	4.120	8.993
2. Neto proizvodnja	Ukupno	38.525	7.319	1.239	6.964	795	5.914	16.924
	HE	19.780	2.814	1.239	4.449	795	2.152	8.331
	TE	18.745	4.505	—	2.515	—	3.762	7.963
3. Primljeno od proizvodno-prenosnih organiz.		4.898	136	333	1.755	2.031	558	85
4. Primljeno od ind. elektrana		21	—	—	21	—	—	—
5. U v o z		1.262	32	255	331	134	166	344
6. Ukupno raspoloživa energija (2+3+4+5)		44.706	7.487	1.827	9.071	2.960	6.638	16.723
7. Isporučeno direktnim potrošačima		9.724	1.367	1.011	2.457	1.347	1.858	1.684
8. Isporučeno distributivnim organizacijama		27.480	3.581	556	6.150	1.621	4.393	11.179
9. Isporučeno proizvodno prenosnim organiz.		4.870	2.113	132	68	5	69	2.483
10. I z v o z		1.064	191	59	104	13	139	558
11. Gubici u prenosu		1.568	235	69	292	— 26	179	819
12. Ukupna isporuka i potrošnja		44.732	7.487	1.827	9.071	2.960	6.638	16.723

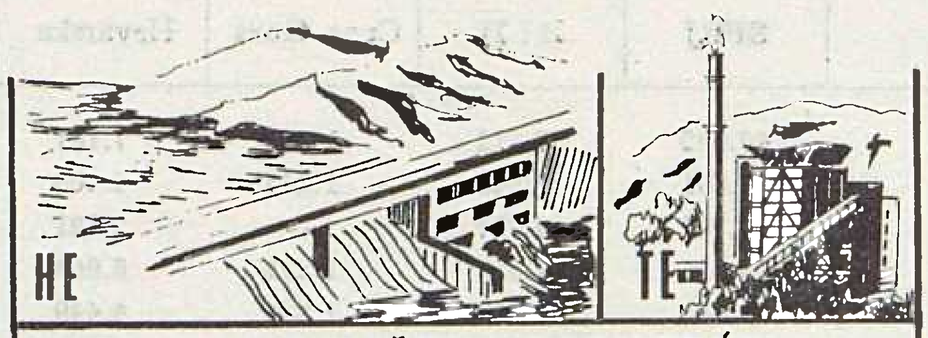
Tablica 14

BILANCA ELEKTRIČNE ENERGIJE JUGOSLAVENSKIH DISTRIBUTIVNIH PODUZEĆA 1976.
u GWh [4]

Elementi energetske bilance		SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
1. Bruto proizvodnja	Ukupno	453	117	27	74	86	44	105
	HE	453	117	27	74	86	44	105
	TE	—	—	—	—	—	—	—
2. Neto proizvodnja	Ukupno	448	116	27	73	85	44	103
	HE	448	116	27	73	85	44	103
	TE	—	—	—	—	—	—	—
3. Primljeno od proizvodno-prenosnih organiz.		27.463	3.581	544	6.150	1.616	4.393	11.179
4. Primljeno od distributivnih organizacija		204	133	—	—	—	—	—
5. Primljeno od ind. elektrana		53	27	—	5	3	1	17
6. Ukupno raspoloživa energija (2+3+4+5)		28.168	3.857	571	6.298	1.704	4.439	11.299
7. Isporuka potrošačima		25.010	3.363	473	5.571	1.410	4.074	10.119
	— na mreži 110 kV	339	5	—	58	—	—	276
	— na mreži 35 kV	3.252	757	26	801	199	884	585
	— na mreži 10 kV	6.528	625	103	1.346	359	1.315	22.782
	— domaćinstvima	11.227	1.510	239	2.224	721	1.328	5.205
	— ostali na 0,4 kV	3.664	466	105	1.142	133	547	1.271
8. Isporuka drugim distributivnim organiz.		177	63	—	60	—	—	54
9. Gubici u mreži		2.981	431	98	667	294	365	1.126
10. Ukupna isporuka potrošnje		28.168	3.857	571	6.298	1.704	4.439	11.299

TOK ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ 1976.

milijuna kilovatsati



Industrijske
Distributivne
Slovenija
Srbija
C.Gora
Bosna
Madžarska
Italija
Austrija

Proizvedeno u SRH — I 360 — D 74

UDRUŽENA PODUZEĆA — 4466 — 2721 — 7187 — 7621

NABAVA — 46 — 1689 — 1735

U — 331

SVEGA PROIZVEDENO I NABAVLJENO U S R HRVATSKOJ 9687

(22) — 338 — 9349

Za javnu elektrifikaciju proizvedeno i nabavljeno — 104 Izvoz

Predano Sloveniji — 26

Predano Bosni — 23

49

RASPOLOŽIVO U S R HRVATSKOJ 9534

222 Vlastiti potrošak elektrana

Vlastita potrošnja i gubici — (36)

PREDANO U MREŽE UKUPNE ELEKTROPRIVREDE

293 Gubici prijenosa

659 Gubici razdiobe

952

338

PREDANO POTROŠAČIMA 8360

4714 — 3364

Specijalni potrošači — 2004

2223 Domaćinstva

Veleindustrija — 441

Ostala industrija — 2269

1141 Komunalna potrošnja. Malopotrošnja Privreda

282 Željeznice

HE = hidroelektrane
TE = termoelektrane
D = distributivne elektrane
U = uvoz
I = industrijske elektrane

Sl. 6. Tok električne energije u SRH 1976. god.

Tablica 15

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ
u GWh [2]

Potrošači	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.
Elektrokemija	271,1	308,1	399,3	486,8	494,8	456,1	533,8	465,8	567,4	537,0	532,0
Elektrometalurgija	307,8	334,4	295,1	328,9	326,0	321,1	345,5	415,4	1206,2	1442,0	1473,0
Ostali ind. dir. pot.	148,4	148,3	150,5	163,2	180,7	191,6	179,9	169,1	153,2	434,0	280,0
Dir. ind. potr. ukupno	727,3	790,8	845,9	978,9	1001,5	968,8	1059,2	1050,3	1926,8	2393,0	2285,0
Neindustr. dir. potroš.	—	—	—	23,8	87,0	115,4	132,7	141,6	135,0	6,0	1,0
Ugljenokopi	5,8	11,9	10,5						45,5	45,0	48,0
Cementare	110,6	123,4	135,1	1222,2	1333,3	1552,4	1776,0	1804,2	247,4	372,0	393,0
Ostala industrija	875,5	1049,8	1178,7						1478,3	1471,0	1779,0
Industr. vlast. snabd.	298,2	304,8	273,0	255,8	250,9	271,3	258,7	293,5	280,1	344,0	360,0
Ukupna industrija	*2016,5*	*2280,7*	*2443,4*	*2456,9*	*2585,7*	*2792,5*	*3093,9*	*3148,0*	*4113,4*	*4631,0*	*4866,0*
Električne željeznice	52,3	52,2	61,4	90,8	140,0	169,9	180,2	192,0	226,6	352,0	282,0
Domaćinstva	924,0	1064,3	1175,6	1333,2	1496,8	1637,9	1772,3	1853,3	2060,2	2126,0	2223,0
Komunalna potrošnja	164,8	150,4	178,0							275,0	291,0
Poljoprivreda	18,7	20,3	23,0	769,1	911,1	943,3	994,3	1070,6	1025,4	31,0	29,0
Ostali	370,7	305,0	340,6							401,0	821,0
Široka potrošnja	1530,5	1592,0	1778,6	2102,3	2407,9	2581,2	2766,6	2923,9	3085,6	2833,0	3364,0
Ukupno potrošači	*3547,9*	*3872,9*	*4222,0*	*4650,0*	*5133,6*	*5543,6*	*6040,7*	*6263,9*	*7425,6*	*7816,0*	*8512,0*
Vlastita potrošnja	95,9	66,6	96,3	67,6	91,3	157,8	165,6	207,0	202,7	174,0	222,0
Gubici razvoda	289,3	342,6	386,2	425,8	505,9	482,5	487,4	495,0	534,7	576,0	659,0
Potrošnja u SRH	*3933,1*	*4281,1*	*4704,5*	*5143,4*	*5730,8*	*6183,9*	*6693,7*	*6965,9*	*8163,0*	*8566,0*	*9393,0*
Gubici prijenosa	216,2	208,5	224,7	281,0	269,9	277,5	335,4	310,0	389,4	313,0	293,0
Raspoloživo bruto	*4149,3*	*4490,6*	*4929,2*	*5424,0*	*6000,7*	*6461,4*	*7027,1*	*7275,9*	*8552,4*	*8879,0*	*9686,0*

Pojedine stavke su djelomično procijenjene.

Tablica 16

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SFRJ 1976.
u GWh [5]

Elementi energetske bilance	SFRJ	B i H	Crna Gora	Hrvatska	Makedonija	Slovenija	Srbija
Proizvodnja na generatoru	43 573	8 627[1)]	1 340	7 644[1)]	983	6 667	18 312
Vlastita potrošnja	2 150	453	2	287	26	407	975
Proizvodnja na pragu elektrane	41 423	8 164	1 338	7 357	957	6 270	17 337
Uvoz	1 263	32	255	331	134	166	345
Izvoz	1 063	191	58	104	13	139	558
Primljeno od drugih republika	—	90	333	1 755	2 032	558	85
Prodano drugim republikama	—	2 106	122	68	5	69	2 483
Gubici prijenosa i razvoda	4 646	684	179	953	334	539	1 957
Raspoloživo za potrošnju	36 977	5 305	1 567	8 318	2 771	6 247	12 769
Industrija i rudarstvo	21 387	3 386	1 188	4 862	1 900	4 150	5 901
Rudnici ugljena	565	210	3	50	—	53	249
Cementare	685	68	—	124	115	103	275
Elektrokemija	3 391	109	155	1 576	29	873	649
Elektrometalurgija	4 916	1 202	836	450	891	705	832
Ostala industrija	11 830	1 797	194	2 662	865	2 416	3 896
Elektroželjeznička vuča	707	115	—	219	10	184	179
Tramvaji i trolejbusi	66	—	—	35	—	—	31
Javni vodovod	398	30	22	151	5	38	152
Javno osvjetljenje	352	27	12	122	16	39	136
Domaćinstva	11 019	1 318	239	2 224	721	1 328	5 189
Poslovne i društvene prostorije	1 069	97	62	349	51	181	329
Motori i aparati	1 468	87	29	322	62	190	778
Poljoprivreda, ukupno	511	245	15	34	6	137	74

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

Tablica 17

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U INDUSTRIJI SR HRVATSKE PREMA TEHNOLOŠKOJ NAMJENI[1]
u MWh [3]

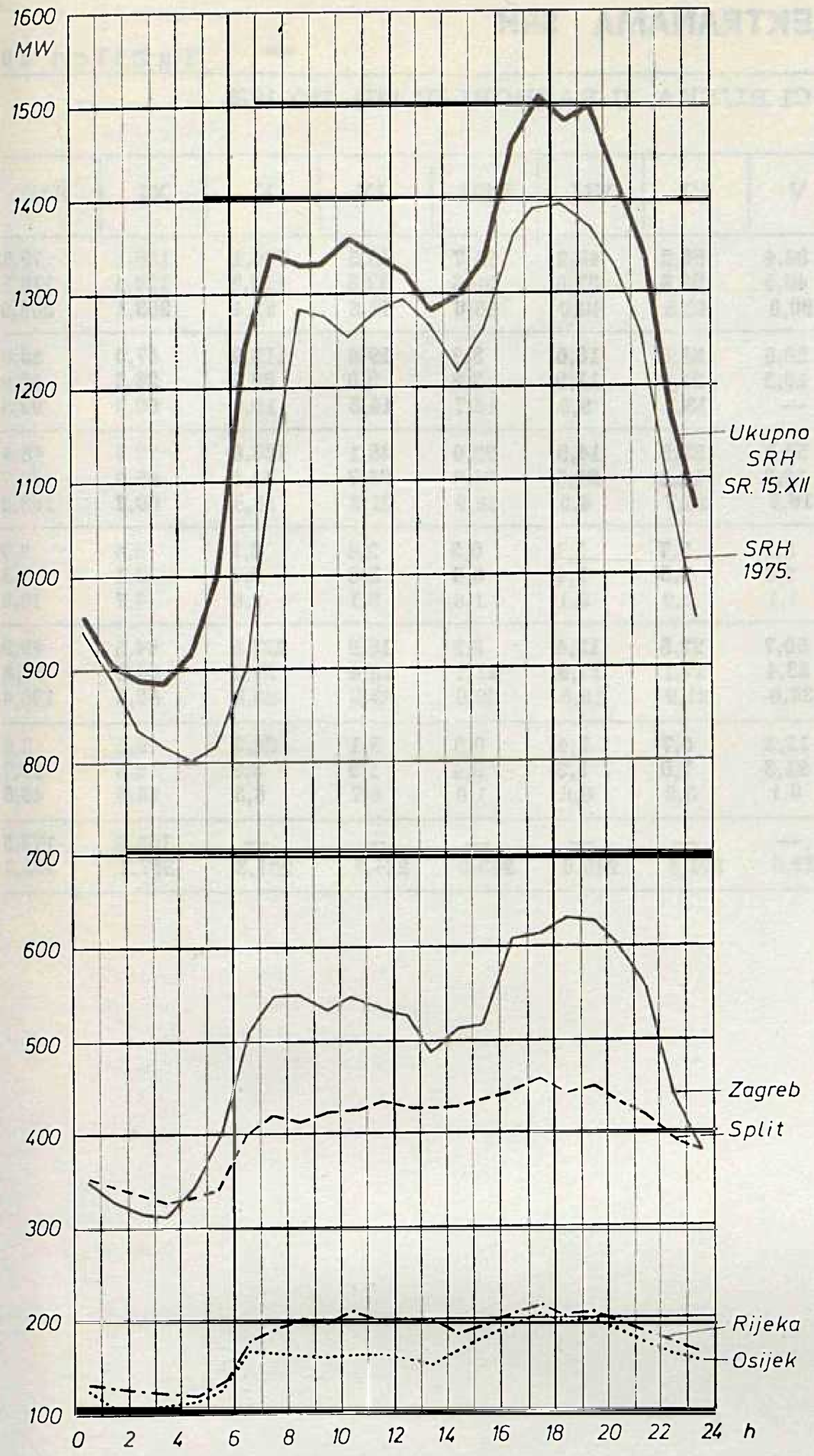
Godina	Ukupno	Za termičke svrhe	Za elektrolizu i galvanizaciju	Za elektromotore	Ostalo
1960.*	1 264 000	. . .	. . .	. . .	. . .
1961.*	1 385 000	. . .	. . .	. . .	. . .
1962.	1 473 000	288 000	239 000	870 000	. . .
1963.	1 706 000	362 000	249 000	1 011 000	. . .
1964.	1 848 000	387 000	161 000	1 199 000	. . .
1965.	1 954 747	401 992	153 412	1 284 849	114 494
1966.*	2 054 000	. . .	. . .	. . .	. . .
1967.	2 119 000	509 000	180 000	1 304 000	125 000
1968.	2 311 000	541 000	176 000	1 460 000	126 000
1969.	2 577 000	550 918	173 758	1 712 317	140 406
1970.	2 664 822	549 581	168 445	1 974 232	152 564
1971.	2 863 931	527 470	149 192	1 997 043	190 226
1972.	3 098 550	583 832	143 812	2 158 955	211 951
1973.	3 180 771	419 094	194 502	2 315 485	251 690
1974.	4 303 030	629 044	1 045 029	2 366 862	262 095
Ukupno 1975.	4 765 699	626 133	1 328 781	2 534 407	276 378
Elektroenergija	198 313	5 065	—	168 273	24 975
Ugljen i prerađevine	50 996	321	—	50 015	660
Nafta i prerađevine	266 003	2 165	744	234 719	28 375
Crna metalurgija	233 580	75 574	—	156 788	1 218
Obojena metalurgija	1 494 455	152 464	1 259 819	75 513	6 659
Nemetali	103 546	47 570	170	42 152	13 654
Metalna industrija	199 672	55 975	6 359	118 804	18 534
Brodogradnja	102 388	5 127	—	83 461	13 800
Elektroindustrija	65 683	15 301	3 774	38 122	8 486
Kemijska industrija	706 890	242 819	54 542	377 486	32 043
Građevni materijal	416 921	1 333	—	405 620	9 968
Drvna industrija	128 355	1 547	11	113 854	12 943
Industrija papira	147 281	436	—	142 714	4 131
Tekstilna industrija	262 530	6 444	—	214 978	41 108
Industrija kože i obuće	26 954	1 131	—	22 103	3 720
Industrija gume	47 921	2 028	63	35 012	10 818
Prehrambena industrija	273 702	8 500	2 808	223 380	39 014
Grafička industrija	28 020	1 590	113	21 434	4 883
Industrija duhana	5 946	152	—	5 278	516
Filmska industrija	622	32	—	352	238
Rudarska industrija	1 601	20	—	1 336	245
Ostala industrija	4 320	539	378	3 013	390

[1] Izvjesna manja odstupanja od podataka objavljenih u ostalim tablicama posljedica su drugog izvora podataka, kao i činjenice da je raspored potrošnje električne energije po tehnološkoj namjeni najčešće dobiven na temelju procjene stručnjaka u poduzeću.
* Podaci iz obrasca Ind - 1, SGH 1971—1975.

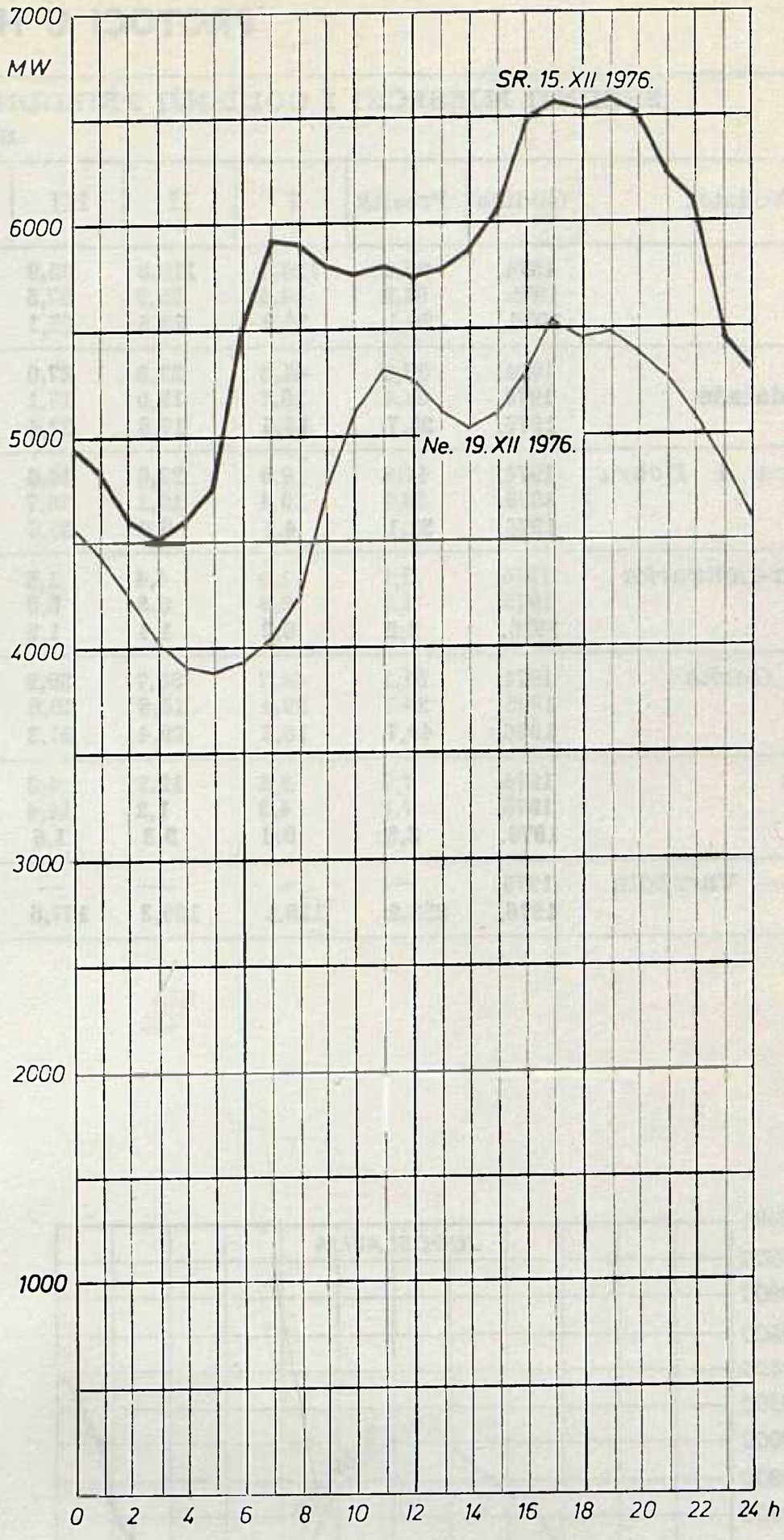
Tablica 18

RAZVOJ NETO SPECIFIČNE PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE SR HRVATSKE
[1]

Godina	Stanovništvo × 1000	Neto proizvodnja GWh	Specifična proizvodnja kWh/stanovnik	Neto potrošnja GWh	Specifična potrošnja kWh/stanovnik	Potrošnja domaćinstava GWh	Elektroenergetski standard kWh/stanovnik
1939.	4 062	432	106	422	104	. . .	. . .
1945.	3 674*	224	61	255	69	41	11
1946.	3 722*	273	73	342	92	50	14
1947.	3 758	379	101	435	116	58	16
1948.	3 780	497	131	565	149	66	17
1949.	3 820	524	137	627	164	70	18
1950.	3 851	556	144	669	174	83	22
1951.	3 882	591	152	732	188	90	23
1952.	3 913	623	159	741	189	73	19
1953.	3 946	716	181	783	198	92	23
1954.	3 978	810	204	844	212	131	33
1955.	4 013	1 025	255	1 076	268	165	41
1956.	4 040	1 007	249	1 180	292	227	56
1957.	4 067	1 076	264	1 404	345	281	60
1958.	4 089	1 169	286	1 577	384	376	90
1959.	4 115	1 392	338	1 767	429	426	104
1960.	4 140	1 671	404	1 943	469	409	99
1961.	4 169	1 555	373	2 132	511	457	110
1962.	4 198	2 334	555	2 380	567	554	132
1963.	4 229	2 948	697	2 853	677	689	163
1964.	4 252	2 793	657	2 903	683	768	183
1965.	4 281	3 308	772	3 204	749	813	190
1966.	4 312	3 903	906	3 508	814	924	214
1967.	4 430	3 861	889	3 783	872	1 064	246
1968.	4 364	3 996	917	4 200	964	1 187	271
1969.	4 406	4 447	1 009	4 650	1 055	1 333	302
1970.	4 411	4 572	1 036	5 134	1 164	1 497	339
1971.	4 376	4 767	1 089	5 543	1 266	1 638	377
1972.	4 450	5 319	1 195	6 041	1 357	1 770	398
1973.	4 469	5 096	1 140	6 330	1 416	1 938	434
1974.	4 490	6 078	1 354	7 451	1 660	2 060	460
1975.	4 507	5 732	1 272	8 009	1 777	2 150	477
1976.	4 527	7 399	1 634	8 360	1 847	2 223	491



Sl. 7. Dnevni dijagram opterećenja za SRH
Srijeda 15. XII 1976.



Sl. 8. Dnevni dijagram opterećenja za SFRJ
Srijeda 15. XII 1976.

Tablica 19

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

	1965,	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.
Proizvodnja na generatoru	15 523	17 174	18 701	20 641	23 374	26 023	29509	33 231	35 062	39 456	40 040	43 573
Potrošnja u elektranama	643	767	873	876	925	1 256	1 484	1 435	1 746	1 807	1 897	2 150
Proizvodnja na pragu	14 880	16 406	17 828	19 774	22 249	24 767	28 025	31 796	33 416	37 649	38 143	41 423
U v o z	498	246	329	439	349	361	104	227	304	625	676	1 263
I z v o z	104	96	189	145	91	152	266	905	353	625	433	1 063
Gubici prijenosa i razvoda	2 016	2 083	2 135	2 282	2 699	2980	3 220	3 613	3 753	4 253	4 445	4 646
Raspoloživo za potrošnju	13 528	14 472	15 833	17 786	20 012	21 966	24 643	27 555	29 514	33 396	33 941	36 977
Domaćinstva	2 876	3 289	3 898	4 559	5 267	6 082	6 911	7 674	8 621	9 431	10 351	11 019
Poslovne i društv. prost.	620	587	496	549	753	968	871	903	1 129	948	1 080	1 069
Motori i aparati	544	611	546	497	798	928	1 083	1 211	1 435	1 541	1 367	1 468
Javna rasvjeta	158	176	192	193	229	242	279	297	322	321	334	352
Vodovod	187	197	211	234	250	273	310	366	347	382	380	398
Tramvaji i trolejbusi	75	81	89	91	83	80	73	77	69	75	62	66
Elektroželježnička vuča	103	119	128	159	170	301	460	591	648	729	699	707
Industrija	8 612	9 333	10 183	11 384	12 325	12 954	14 355	16 161	16 639	19 697	19 246	21 387
Od toga elektrometalurgija i elektrokemija	3 361	3 653	4 008	4 575	5 181	5 259	5 799	5 843	6 223	7 004	7 088	8 307
Poljoprivreda	83	79	89	120	137	168	301	275	304	272	422	511

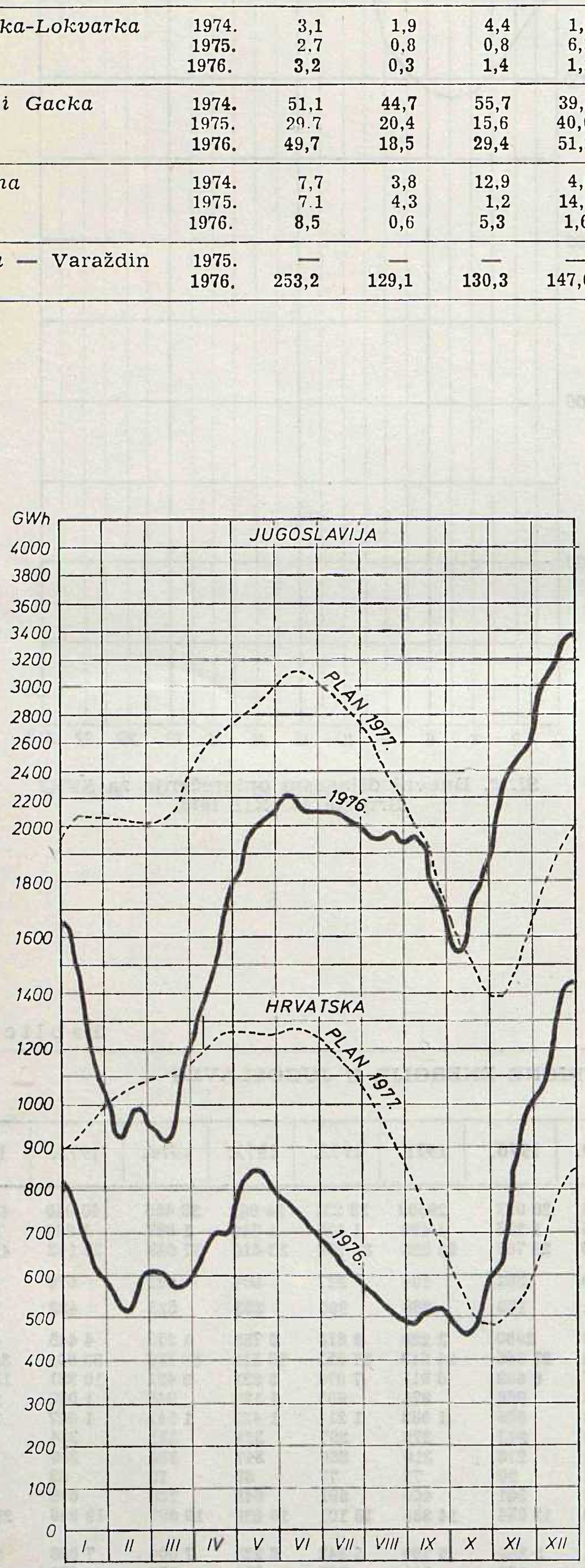
PROTOCI U HIDROELEKTRANAMA SRH

Tablica 20

SREDNJI MJESEČNI I GODIŠNJI PRIRODNI PROTOCI RIJEKA, U RAZDOBLJU 1974. DO 1976.

$m^3/sek.$ [1]

Vodotok	Godina	Prosjek	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Cetina profil	1974.	99,0	126,0	110,8	95,9	55,8	84,4	58,2	43,2	21,7	45,5	346,2	126,1	75,5
	1975.	64,9	44,4	32,7	57,5	93,2	46,9	50,4	32,0	26,6	33,5	113,8	129,4	118,5
	1976.	96,1	**38,9**	72,8	65,1	**101,8**	90,0	45,9	40,0	46,6	**56,6**	**83,4**	**203,1**	**308,8**
Krka profil Mataše	1974.	33,9	41,0	27,8	27,0	18,0	28,6	31,0	18,0	8,8	19,4	112,9	47,0	28,0
	1975.	21,4	16,7	13,0	17,1	30,3	18,2	21,0	11,9	7,8	3,0	59,1	28,6	29,9
	1976.	**25,7**	**13,6**	17,5	22,4	**28,7**	—	13,7	9,9	14,7	14,8	19,9	60,3	**93,4**
Mrežnica + Dobra	1974.	41,6	19,5	23,6	40,6	23,9	50,3	27,2	14,9	22,0	28,1	126,6	72,6	48,5
	1975.	28,2	13,4	10,1	36,7	52,0	30,3	16,0	24,5	31,9	28,7	44,5	45,0	20,7
	1976.	**32,1**	**4,1**	6,6	20,6	66,0	16,5	24,7	4,5	26,9	21,3	16,8	**69,3**	**108,2**
Ličanka-Lokvarka Križ	1974.	3,1	1,9	4,4	1,6	2,5	5,1	2,7	1,1	0,5	2,4	8,1	3,4	2,9
	1975.	2.7	0,8	0,8	6,3	4,7	2,8	3,3	1,4	0,6	3,0	2,7	3,1	3,3
	1976.	**3,2**	**0,3**	**1,4**	**1,2**	5,4	1,1	1,0	0,1	1,6	5,1	2,8	4,7	13,8
Lika i Gacka	1974.	51,1	44,7	55,7	39,9	27,5	50,7	22,5	12,4	8,3	18,9	227,5	64,5	40,9
	1975.	29.7	20,4	15,6	40,6	48,4	23,4	17,1	17,8	11,1	13,4	29,5	60,2	57,8
	1976.	**49,7**	**18,5**	**29,4**	**51,2**	**73,4**	**38,6**	**21,9**	**10,8**	**20,0**	**25,5**	**28,3**	**88,9**	**190,4**
Rječina	1974.	7,7	3,8	12,9	4,6	5,9	12,3	6,7	3,4	0,9	5,1	24,3	9,2	3,6
	1975.	7.1	4,3	1,2	14,4	8,3	21,3	7,0	3,3	0,4	1,9	3,9	6,8	12.7
	1976.	**8,5**	0,6	**5,3**	**1,6**	**11,1**	6,1	3,6	0,6	1,0	8,7	6,3	16,9	**40,5**
Drava — Varaždin	1975.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	162,3	173,3
	1976.	**253,2**	**129,1**	**130,3**	**147,6**	**234,6**	339,0	**321,5**	**245,6**	**243,8**	**284,7**	**281,3**	**357,7**	**305,3**



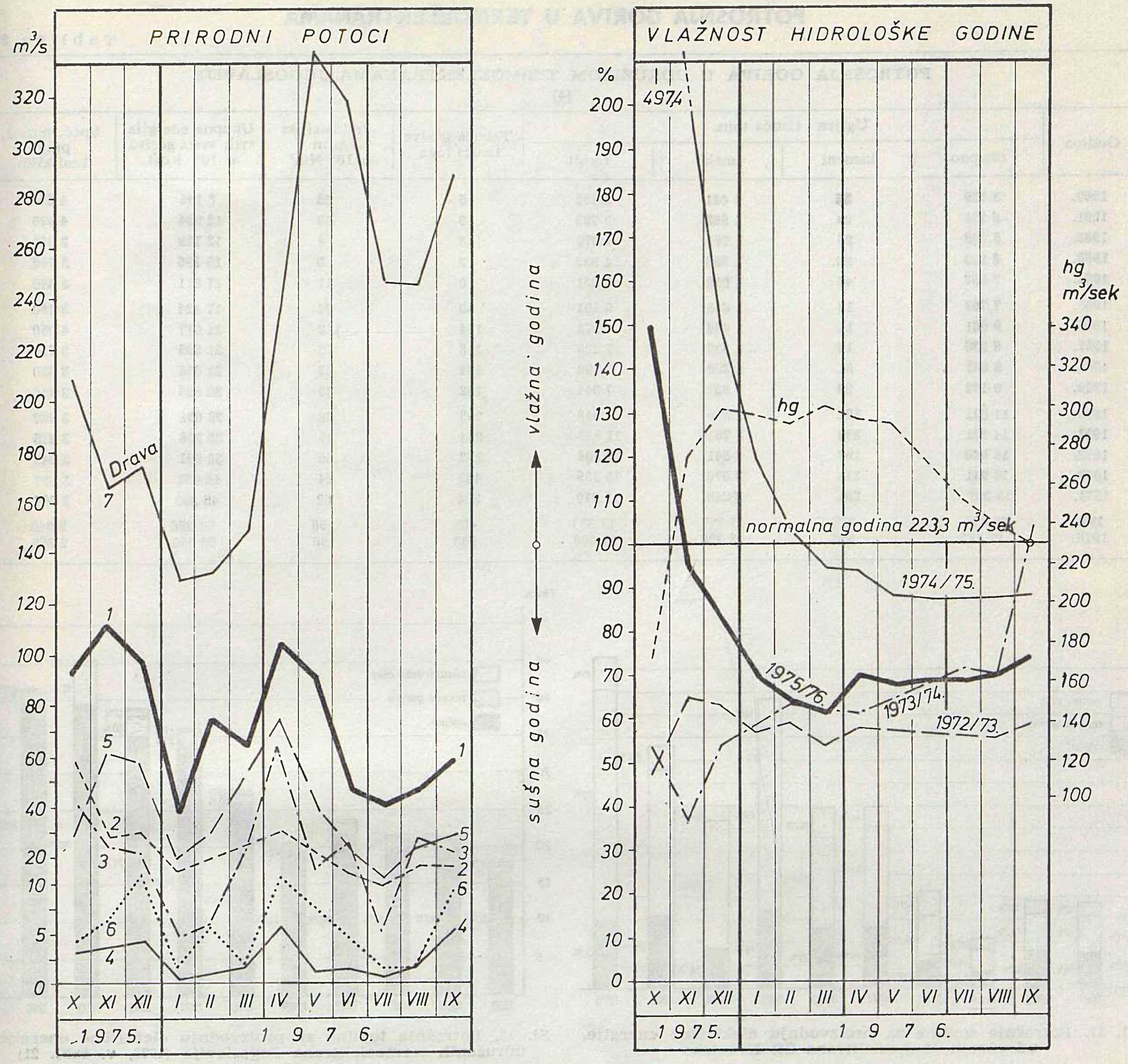
Sl. 9. Kretanje akumulacija u SRH i SFRJ

KORISNI VOLUMEN AKUMULACIJSKIH JEZERA

u GWh [1]

Akumulacija u SFRJ	Moguća korisna akumulacija
Bileća - Gran-čarevo	1 013
Mavrovo	365
Bistrica - Kokin Brod	201
Rama	420
Vlasina	178
Slano	138
Jablanica	60
Perućica - Krupac	52
Tikveš	50
Špilje	40
SFRJ - bez SRH	2 517

Akumulacija u SFRJ	Moguća korisna akumulacija
Peruća - Zakučac	352
Senj - Kruščica	140
Vinodol	44
Buško Blato	1 168
Ukupno SRH	1 326
Svega SFRJ	4 221



Sl. 10. Hidraulicitet vodotoka u hidrološkoj godini 1975/76: 1. Cetina, 2. Krka, 3. Dobra — Mrežnica, 4. Ličanka — Lokvarska — Križ, 5. Lika — Gacka, 6. Riječina, 7. Drava

Vlažnost	Hidrološke godine 1975/76			Hidrološke godine 1974/75		
Vodotok	Zimsko razdoblje %	Ljetno razdoblje %	Godišnje razdoblje %	Zimsko razdoblje %	Ljetno razdoblje %	Godišnje razdoblje %
Cetina	63,2	82,0	69,3	80,5	64,8	75,2
Krka	86,5	67,4	79,3	140,8	76,1	89,8
Dobra-Mrežnica	47,8	122,0	73,0	121,8	139,2	127,7
Ličanka-Lokvarka	36,4	62,6	44,6	68,5	104,0	80,0
Lika-Gacka	67,0	125,7	84,1	112,2	86,9	104,8
Rječina	45,7	52,2	48,8	86,8	42,6	65,5
U k u p n o	63,1	93,9	73,6	95,0	79,7	89,8

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

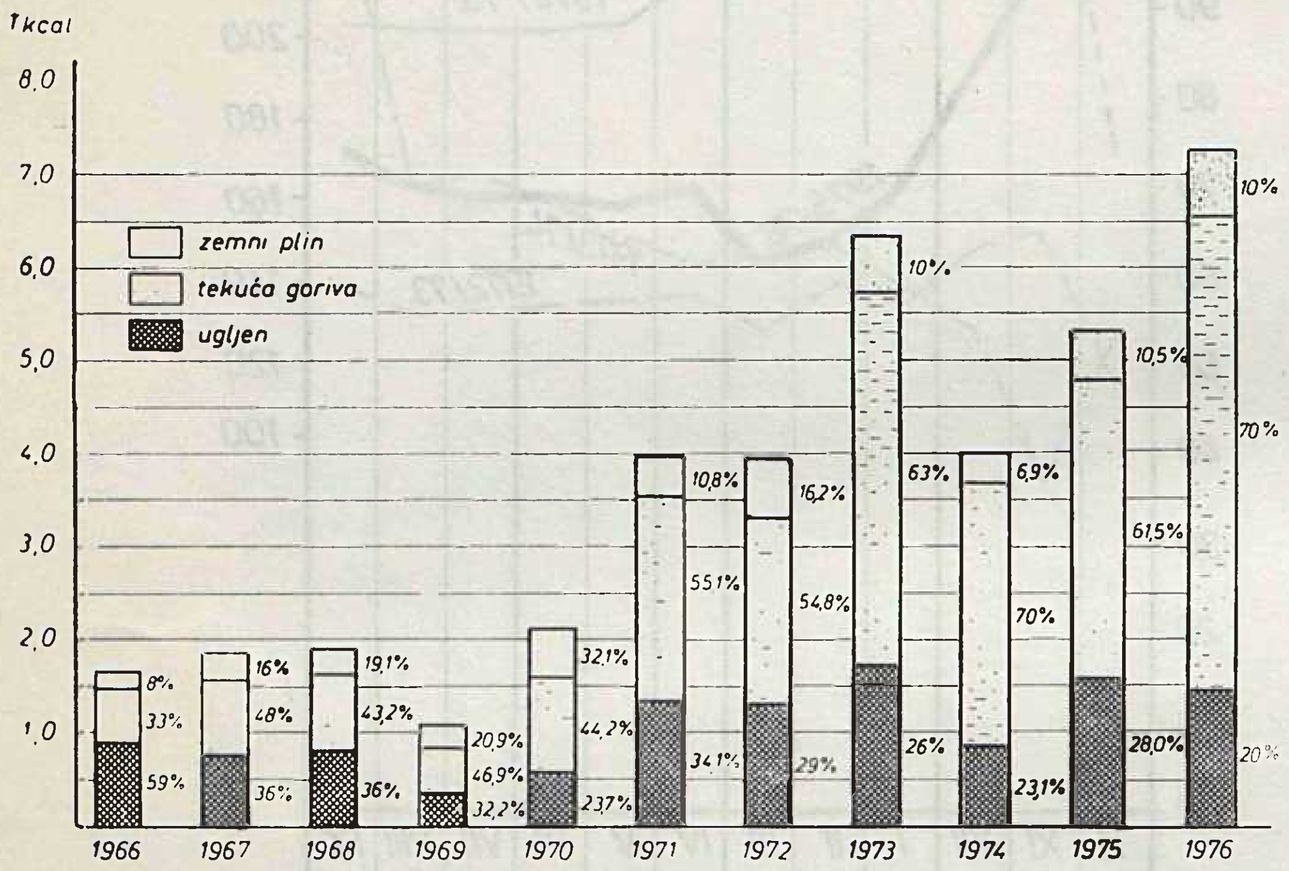
POTROŠNJA GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

Tablica 21

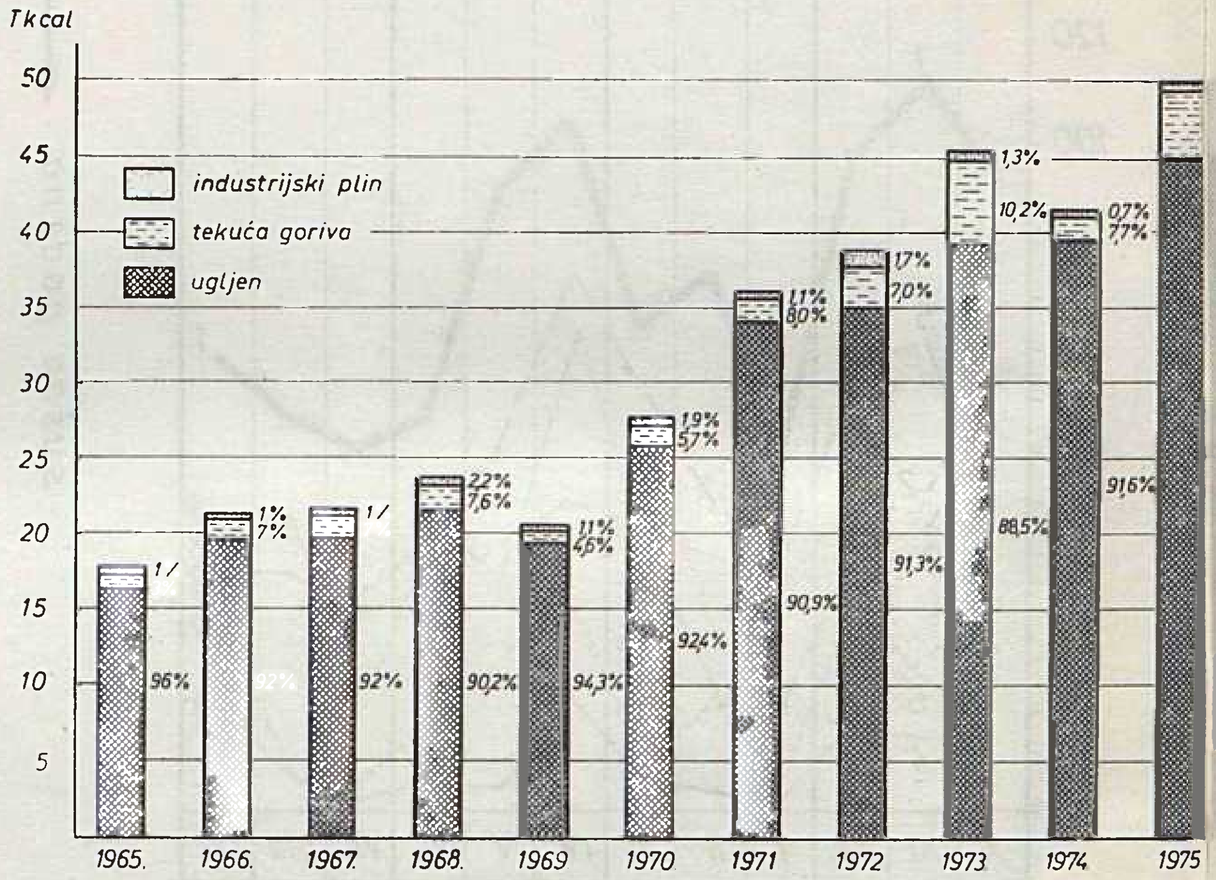
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA JUGOSLAVIJE

[4]

Godina	Ugljen - tisuća tona				Tekuća goriva tisuća tona	Industrijski plin u 10^6 Nm^3	Ukupna energija svih vrsta goriva u 10^9 k cal	Spec. potroš. prag kcal/kWh
	ukupno	kameni	mrki	lignit				
1960.	3 529	35	1 041	2 452	5	58	8 145	4 680
1961.	5 326	29	1 562	3 735	3	69	12 034	4 070
1962.	5 649	26	1 551	4 070	3	4	12 189	3 920
1963.	6 882	23	1 936	4 922	3	3	15 196	3 740
1964.	7 887	44	1 910	5 931	10	11	17 871	3 840
1965.	7 769	18	1 649	6 101	49	74	17 424	3 780
1966.	9 081	11	1 496	7 573	154	112	21 017	4 050
1967.	8 936	13	1 692	7 229	148	76	21 595	3 710
1968.	9 641	51	1 899	7 690	184	53	23 656	3 680
1969.	9 192	26	1 821	7 344	102	35	20 886	3 410
1970.	11 821	192	2 580	9 048	203	68	28 031	3 237
1971.	14 921	250	2 781	11 889	284	49	35 258	3 275
1972.	16 046	197	2 541	13 308	273	66	38 591	3 243
1973.	18 941	311	3 070	15 559	482	64	46 668	3 097
1974.	19 231	281	3 040	15 910	394	62	45 399	3 004
1975.	20 870	235	3 252	17 333	455	58	50 386	2 940
1976.	22 783	365	3 328	19 090	633	86	55 553	2 986



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



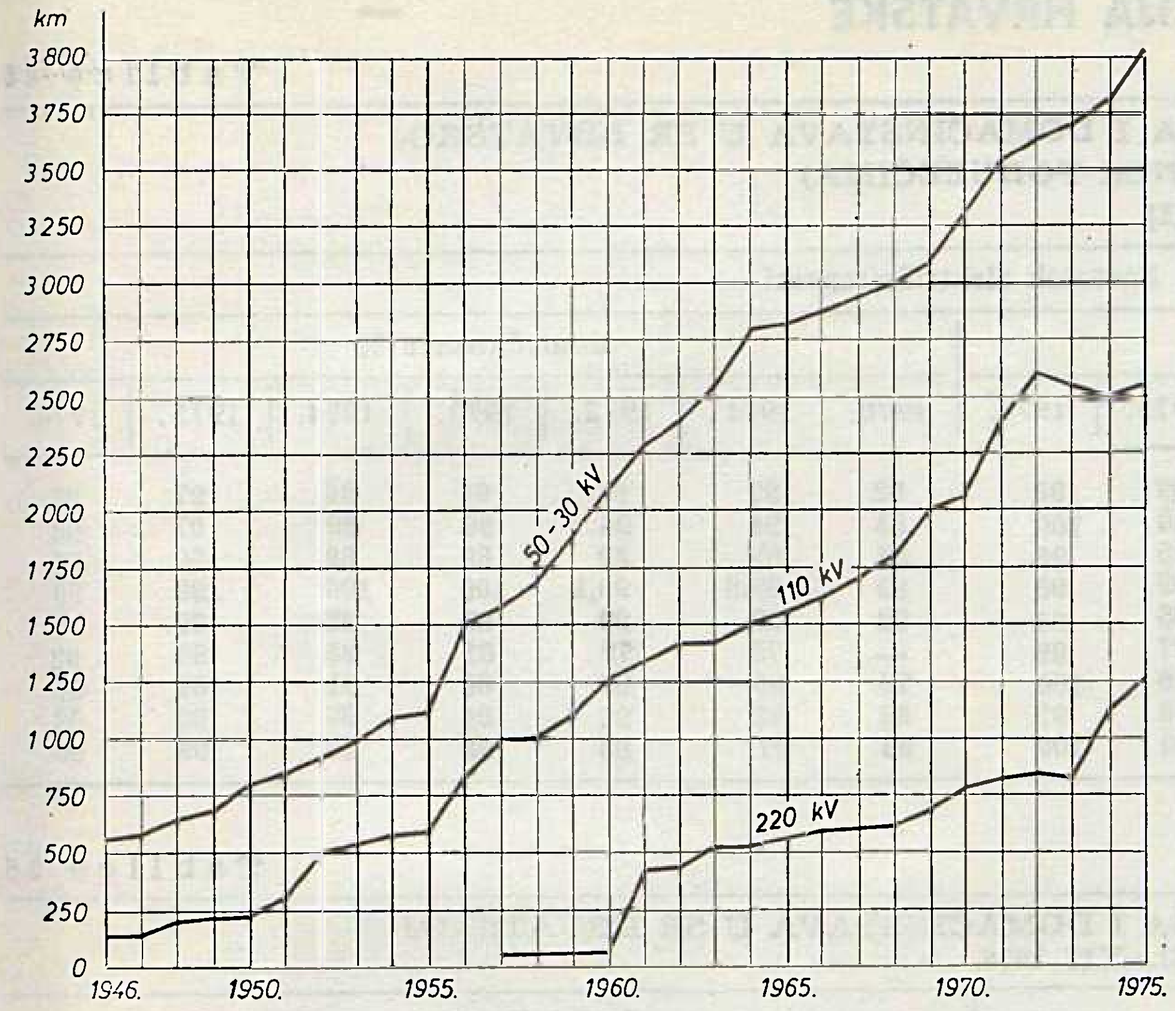
Sl. 12. Potrošnja topline za proizvodnju električne energije, udruženih termoelektrana Jugoslavije (1976, v. tabl. 21)

Tablica 22

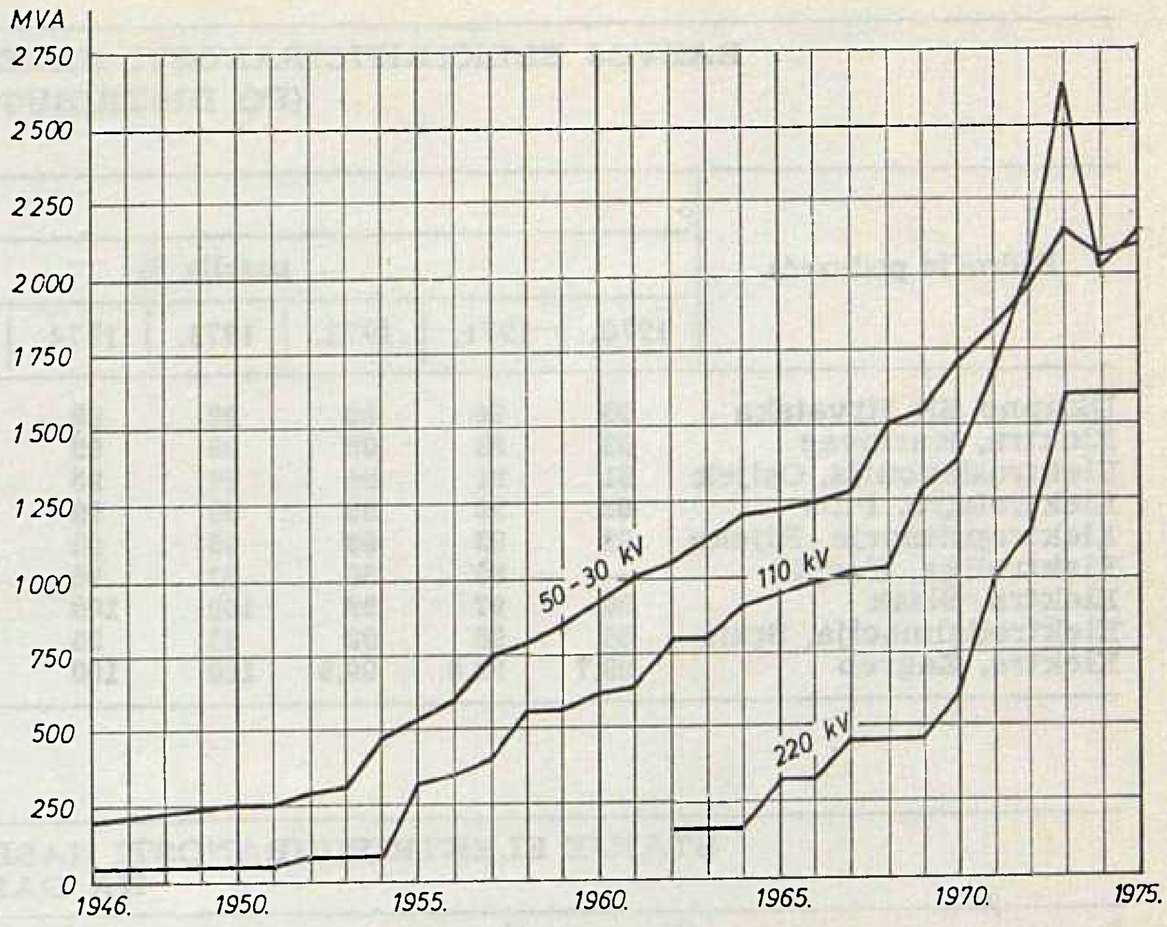
POTROŠNJA GORIVA U UDRUŽENIM TERMOELEKTRANAMA HRVATSKE

[2]

Godina	Ugljen - tisuće tona				Tekuća goriva tisuća tona	Prirodni plin u 10^6 Nm^3	Ukupna energija svih vrsta goriva u 10^9 k cal	Spec. potroš prag kcal/kWh
	ukupno	kameni	mrki	lignit				
1960.	457	34	32	391	3	—	1 066	5 290
1961.	496	29	17	450	2	—	1 063	4 870
1962.	395	17	—	378	1	—	856	4 940
1963.	915	24	8	883	2	3	2 109	4 213
1964.	800	31	—	769	8	11	2 151	4 286
1965.	689	18	8	663	47	11	2 168	3 591
1966.	423	12	—	411	55	13	1 616	3 992
1967.	301	13	3	285	91	30	1 844	4 290
1968.	270	13	—	257	82	36	1 806	4 090
1969.	149	6	—	143	52	23	1 051	4 451
1970.	167	91	—	76	97	52	2 120	3 272
1971.	280	200	—	80	221	44	3 906	2 978
1972.	246	170	—	76	221	66	3 945	2 849
1973.	358	254	—	103	407	65	6 279	2 850
1974.	178	152	—	26	396	19	4 706	2 860
1975.	258	258	—	—	385	88	6 044	2 613
1976.	269	269	—	—	510	86	7 342	2 919



Sl. 13. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Hrvatske



Sl. 14. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Hrvatske

Tablica 23

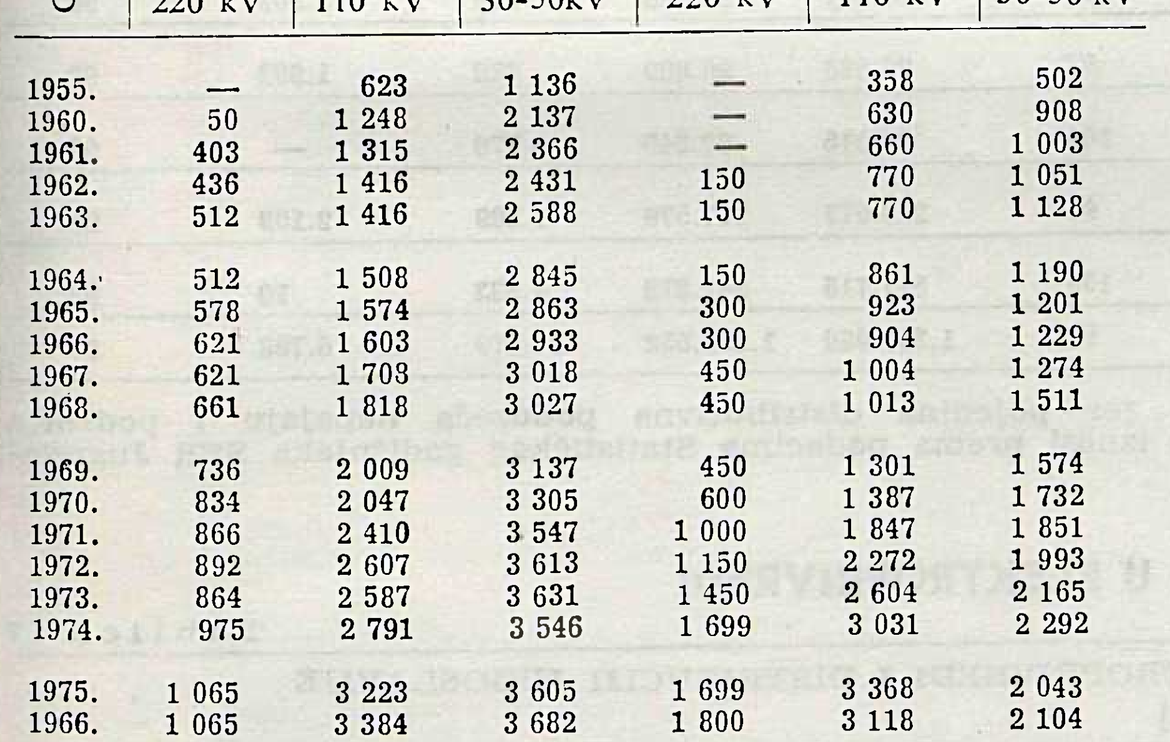
RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE HRVATSKE
[1] [2]*

Godina	Dalekovodi u km			Transformatorske stanice u MVA		
	220 kV	110 kV	30-50kV	220 kV	110 kV	30-50 kV
1955.	—	623	1 136	—	358	502
1960.	50	1 248	2 137	—	630	908
1961.	403	1 315	2 366	—	660	1 003
1962.	436	1 416	2 431	150	770	1 051
1963.	512	1 416	2 588	150	770	1 128
1964.	512	1 508	2 845	150	861	1 190
1965.	578	1 574	2 863	300	923	1 201
1966.	621	1 603	2 933	300	904	1 229
1967.	621	1 703	3 018	450	1 004	1 274
1968.	661	1 818	3 027	450	1 013	1 511
1969.	736	2 009	3 137	450	1 301	1 574
1970.	834	2 047	3 305	600	1 387	1 732
1971.	866	2 410	3 547	1 000	1 847	1 851
1972.	892	2 607	3 613	1 150	2 272	1 993
1973.	864	2 587	3 631	1 450	2 604	2 165
1974.	975	2 791	3 546	1 699	3 031	2 292
1975.	1 065	3 223	3 605	1 699	3 368	2 043
1966.	1 065	3 384	3 682	1 800	3 118	2 104

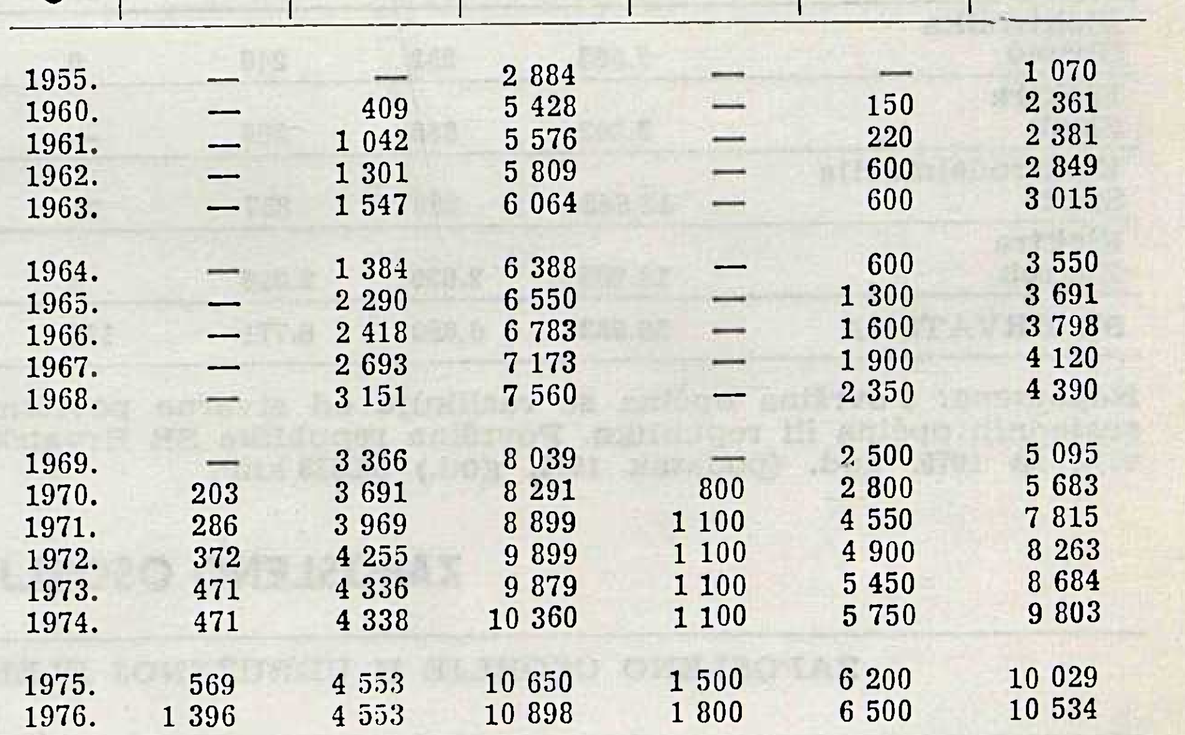
Tablica 24

RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE JUGOSLAVIJE
[4]

Godina	Dalekovodi u km			Transformatorske stanice u MVA		
	380 kV	220 kV	110 kV	380 kV	220 kV	110 kV
1955.	—	—	2 884	—	—	1 070
1960.	—	409	5 428	—	150	2 361
1961.	—	1 042	5 576	—	220	2 381
1962.	—	1 301	5 809	—	600	2 849
1963.	—	1 547	6 064	—	600	3 015
1964.	—	1 384	6 388	—	600	3 550
1965.	—	2 290	6 550	—	1 300	3 691
1966.	—	2 418	6 783	—	1 600	3 798
1967.	—	2 693	7 173	—	1 900	4 120
1968.	—	3 151	7 560	—	2 350	4 390
1969.	—	3 366	8 039	—	2 500	5 095
1970.	203	3 691	8 291	800	2 800	5 683
1971.	286	3 969	8 899	1 100	4 550	7 815
1972.	372	4 255	9 899	1 100	4 900	8 263
1973.	471	4 336	9 879	1 100	5 450	8 684
1974.	471	4 338	10 360	1 100	5 750	9 803
1975.	569	4 553	10 650	1 500	6 200	10 029
1976.	1 396	4 553	10 898	1 800	6 500	10 534



Sl. 15. Duljina električnih dalekovoda elektroprivrede Jugoslavije



Sl. 16. Instalirana snaga transformatora u elektroprivredi Jugoslavije

ELEKTRIFIKACIJA HRVATSKE

Tablica 25

RAZVOJ ELEKTRIFICIRANOSTI NASELJA I DOMAĆINSTAVA U SR HRVATSKOJ
(PO DISTRIBUTIVNIM PODUZEĆIMA)
[1]

Područje poduzeća	Postotak elektrificiranosti													
	naselja %							domaćinstava %						
	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.
Ukupno SR Hrvatska	95	96	96	98	99	99	98	92	93	94	94	96	97	97
Elektra, Karlovac	92	98	98	99	99	100	100	84	94	94	96	99	97	98
Elektroslavonija, Osijek	91	91	94	94	95	95	95	82	83	89	89	89	90	90
Elektroistra, Pula	98	98	98	99	99	99	99	99	99,5	99,5	100	100	99	99
Elektroprimorje, Rijeka	93	93	93	95	95	95	94	98	98	99	99	99	99	98
Elektrolika, Gospić	—	85	86	93	96	97	98	—	73	79	81	85	90	92
Elektra, Sisak	96	97	99	100	100	100	100	79	80	85	88	91	89	93
Elektrodalmacija, Split	88	90	92	95	95	96	97	89	92	94	96	97	98	98
Elektra, Zagreb	99,7	99,8	99,8	100	100	100	100	96	97	98	98	99	99	99

Tablica 26

STANJE ELEKTRIFICIRANOSTI NASELJA I DOMAĆINSTAVA U SR HRVATSKOJ
NA DAN 31. XII 1976.

Područje / Poduzeća	Površina km²	Naselja				Domaćinstva				
		Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano broj	Elektrificiranost %	Ukupno broj	Elektrificirano broj	Neelektrificirano: u elektrificiranim naseljima broj	Neelektrificirano: u nelektrificiranim naseljima broj	Elektrificiranost %
Elektra Karlovac	4.224	761	758	3	100	64.894	63.675	445	774	98
Elektroslavonija Osijek	10.121	742	705	37	95	231.308	207.362	23.301	645	90
Elektroistra Pula	2.820	640	635	5	99	53.153	52.993	94	66	99
Elektroprimorje Rijeka	4.305	612	576	36	94	98.447	96.726	519	1.202	98
Elektrolika Gospić	5.563	252	246	6	98	28.520	26.099	429	1.992	92
Elektra Sisak	3.302	366	366	—	100	56.015	52.245	3.770	—	93
Elektrodalmacija Split	12.043	888	857	31	97	220.977	217.579	1.289	2.109	98
Elektra Zagreb	14.205	2.629	2.628	1	100	547.715	542.873	4.832	10	99
SR HRVATSKA	56.583	6.890	6.771	119	98	1,301.029	1,259.552	34.679	6.798	97

Napomena: Površina općina se razlikuje od stvarne površine, jer pojedina distributivna poduzeća napajaju i područja susjednih općina ili republika. Površina republike SR Hrvatske iznosi prema podacima Statističkog godišnjaka SFR Jugoslavije za 1975. god. (podatak 1971. god.) 56.538 km².

ZAPOSLENO OSOBLJE U ELEKTROPRIVREDI

Tablica 27

ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI I DISTRIBUCIJI JUGOSLAVIJE
[4]

Osoblje	1966.[1]	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975[2].	1976.
Radnici	7 811	8 177	8 350	8 810	9 364	9 364	10 904	11 416	10 775	9 556	...
Tehničko osoblje	1 610	1 781	2 109	2 315	2 519	2 619	2 678	2 801	4 787	6 623	...
Ostalo stručno osoblje	1 532	1 819	1 749	1 862	1 961	2 011	1 990	2 032	—	—	...
Učenici u privredi	257	185	166	187	216	216	254	265	—	22	...
Ukupno	11 210	11 962	12 374	13 174	14 060	14 210	15 826	16 514	15 562	16 201	...

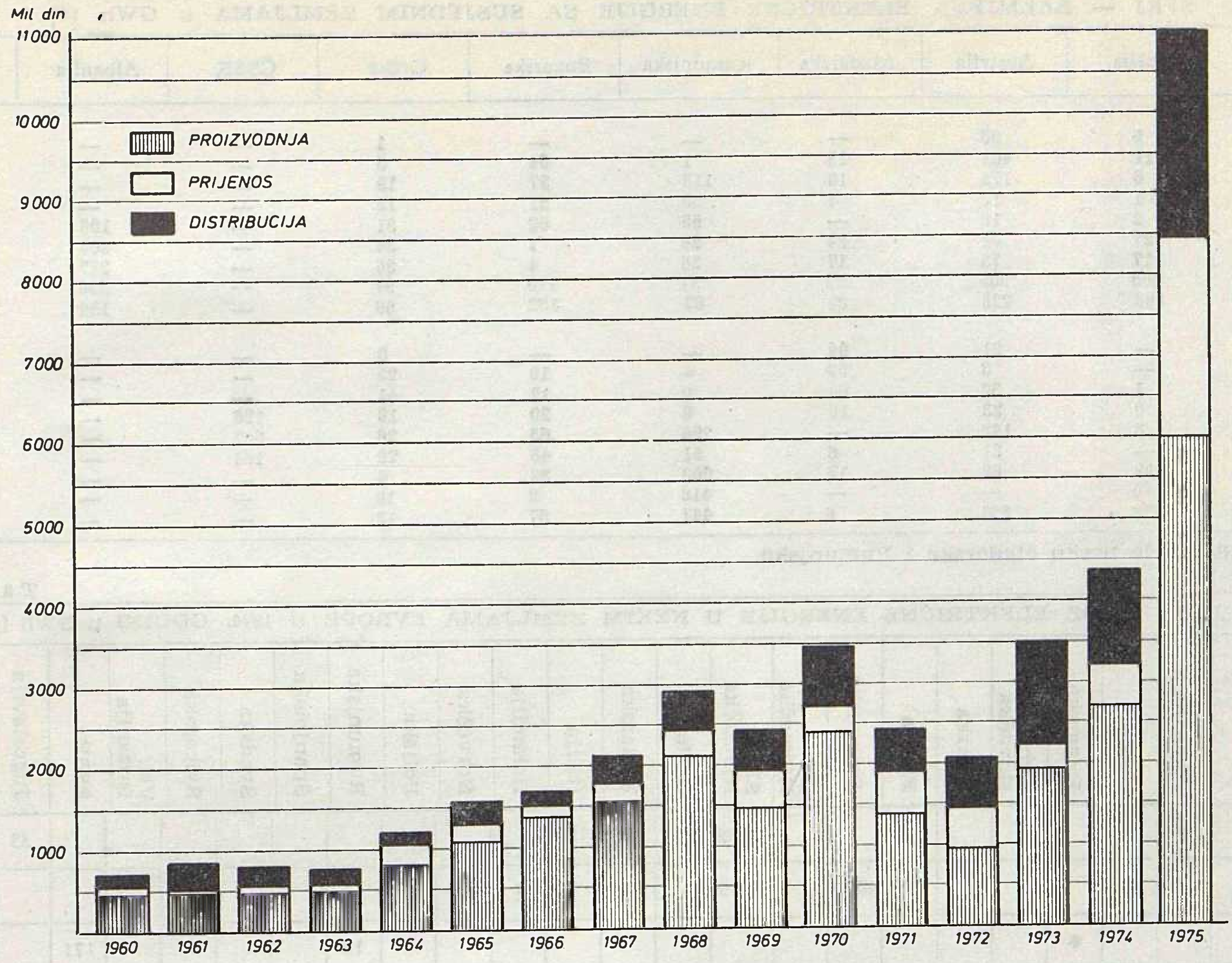
[1] Obuhvaća zaposleno osoblje udružene elektroprivrede i distribucije dok ostale godine obuhvaćaju samo udruženu elektroprivredu. [2] Prosječan broj radnika na bazi ukalkuliranih radnih sati

Tablica 28

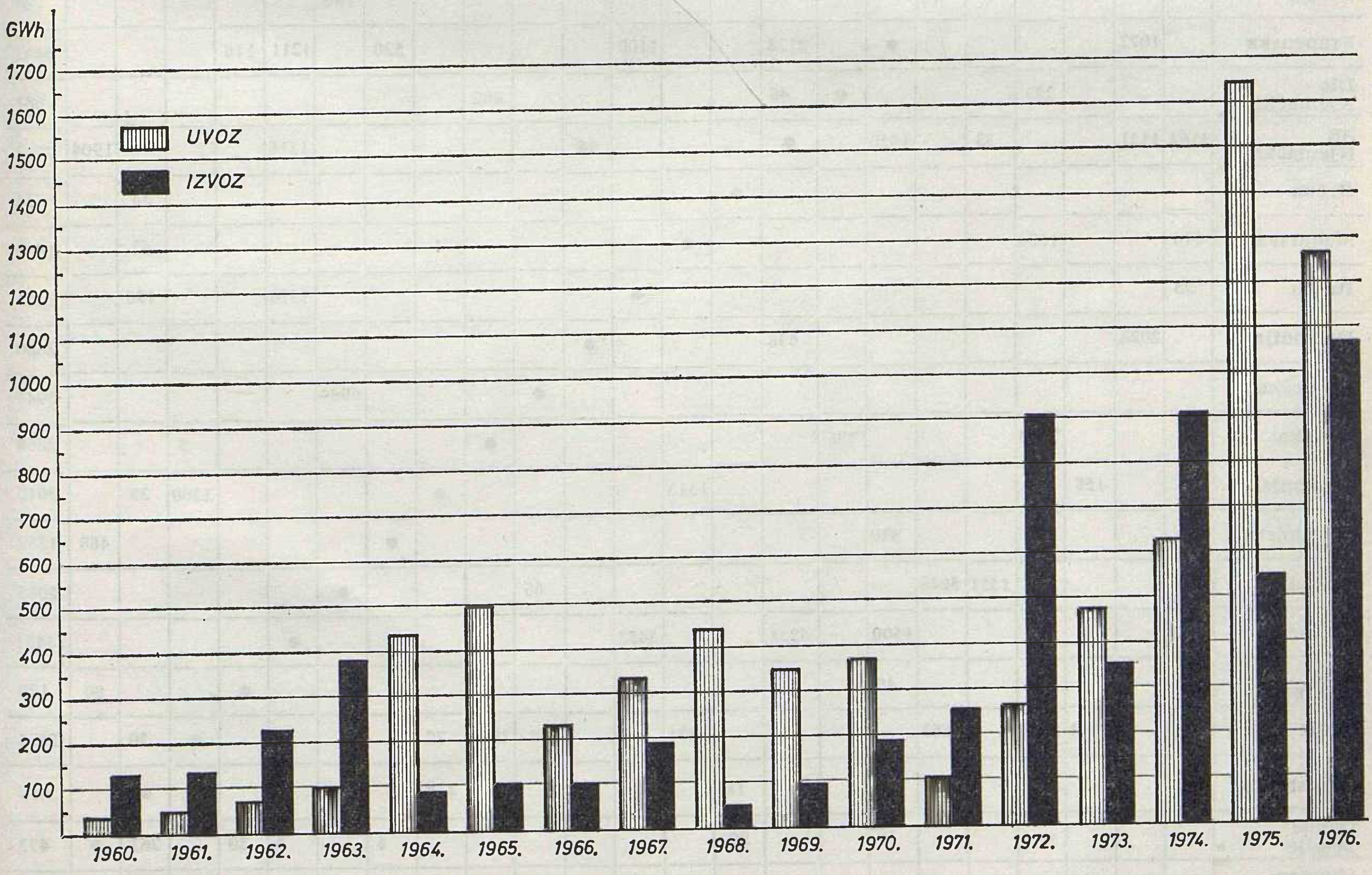
ZAPOSLENO OSOBLJE U UDRUŽENOJ ELEKTROPRIVREDI, DISTRIBUCIJI I PODUZEĆIMA U IZGRADNJI SR HRVATSKE
[2]

Osoblje	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.
Radnici, svega	5 871	6 164	6 283	6 311	6 501	6 800	7 185	7 687	7 681	7 437	7 349
Tehničko osoblje, svega	765	841	949	965	1 082	1 159	1 374	1 052	1 032	1 130	1 296
Ostalo osoblje, svega	1 888	1 713	1 836	1 934	2 037	2 156	2 238	2 415	2 162	2 942	3 826
Pomoćno osoblje, svega	374	460	308	256	254	331	216	845	830	800	773
Učenici u privredi, svega	384	369	355	360	319	309	126	204	211	—	—
Ukupno	9 273	9 547	9 731	9 826	10 193	10 755	11 139	12 203	11 906	12 309	13 244

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



Sl. 17. Investiciona ulaganja u elektroprivredu Jugoslavije
Ulaganja 1976. (za proizvodnju 9 300, prenos 3 200, distribuciju 3 500, ukupno 16 000 mln. din.)



Sl. 18. Razmjena električne energije sa susjednim zemljama

Tablica 29

SFRJ — RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE SA SUSJEDNIM ZEMLJAMA u GWh [4]

Godina	Italija	Austrija	Mađarska	Rumunjska	Bugarska	Grčka	ČSSR	Albanija	UKUPNO
Uvoz									
1960.	5	25	—	—	—	1	—	—	31
1965.	11	404	25	1	54	3	—	—	498
1970.	6	174	10	115	37	19	—	—	361
1971.	1	13	4	50	21	15	—	—	104
1972.	2	18	—	55	62	31	—	108	276
1973.	27	54	24	29	7	34	—	305	480
1974.	117	75	17	36	4	36	—	377	662
1975.	605	305	152	37	170	97	—	276	1 642
1976.	583	225	89	67	132	69	—	150	1 270
Izvoz									
1960.	—	21	94	—	—	9	—	—	124
1965.	—	3	53	4	19	25	—	—	104
1970.	1	32	61	0	17	41	—	—	152
1971.	0	23	16	0	20	10	196	—	266
1972.	3	142	—	298	65	26	367	—	901
1973.	—	31	6	51	45	79	164	—	376
1974.	189	65	17	608	32	6	—	—	917
1975.	110	—	—	418	2	19	—	—	549
1976.	320	221	6	447	57	13	—	—	1 064

Izvoz u ČSSR bio je preko Mađarske i Rumunjske.

Tablica 30

IZVOZ I UVOZ ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE U 1974. GODINI u GWh [4]

Zemlja uvoznica / Zemlja izvoznica	Austrija	Belgija	Bugarska	Čehoslovačka	Danska	Finska	Francuska	DR Njemačka	SR Njemačka	Grčka	Mađarska	Italija	Holandija	Norveška	Poljska	Rumunjska	Španjolska	Švedska	Švicarska	Vel. Britanija	SSSR	Jugoslavija	Ostale zemlje	Ukupan izvoz
Austrija	●								5629		296	527										33		6485
Belgija		●					4000		9				7										948	4964
Bugarska			●													12					171		96	279
Čehoslovačka	419			●				582			122				25						2			1150
Danska					●				489									189						678
Finska						●												180						180
Francuska		1072					●		2128			1100					520		1211	116				6147
DR Njemačka				239				●	46						402									687
SR Njemačka	1162	1121			33		1950		●				46						1516				1904	7732
Grčka										●												53		53
Mađarska	516			1006							●					1						62		1585
Italija	25						410					●							1570			196		2201
Holandija		2022							638				●											2660
Norveška														●				5944						5944
Poljska				2043				798							●						5			2864
Rumunjska			158								1513					●					1300	39		3010
Španjolska							870										●						468	1338
Švedska					1551	3648								66				●						5085
Švicarska	227						1500		8251			3453							●					13481
Vel. Britanija							40													●			80	120
SSSR			3744	2157		663					3871			13	1984	72					●	30		12534
Jugoslavija	21									18						417						●		456
Ostale zemlje				...			30			90							6		4	80		263	●	473
Ukupan uvoz	2420	4215	3902	5419	1584	4131	8800	1380	17630	108	5802	5080	53	79	2411	502	792	6313	4301	196	1478	676	3496	80768

Tablica 31

BILANCA PROIZVODNJE I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NEKIM ZEMLJAMA EVROPE I SAD

u GWh

Zemlja	Godina	Neto proizvodnja	Saldo razmjene		Ukupno raspoloživa energija za potrošnju	Od toga			Potrošnja			Spec. potrošnja kWh
			uvoz	izvoz		utrošeno za pumpanje vode	gubici prenosa i distrib.	ukupna potrošnja	industrija	promet	ostalo	stanov.
Austrija	1965.	22 241	—	3 870	18 371	555	2 182	15 634	8 824	1 162	5 648	2 155
	1970.	30 036	1 372	6 786	23 806	714	2 078	21 014	10 511	1 499	8 563	2 832
	1973.	30 306	3 261	4 803	28 759	584	2 312	25 863	12 121	1 752	11 990	3 439
	1974.	32 876	3 170	6 129	29 917	679	2 280	26 958	12 667	1 779	12 512	3 574
Belgija	1965.	20 635	—	21	20 344	—	1 207	19 13 7	13 714	703	4 720	2 022
	1970.	30 523	1 301	925	29 336	—	1 628	27 708	17 620	741	7 890	2 862
	1973.	39 121	1 650	2 405	38 366	639	1 915	35 812	22 603	817	12 392	3 669
	1974.	40 764	2 558	2 882	40 440	631	2 035	37 773	23 699	852	13 223	3 854
Bugarska	1965.	10 234	—	17	10 216	20	1 787	8 409	5 555	253	2 601	1 025
	1970.	19 513	101	210	19 404	19 404	3 578	15 826	10 733	483	461	1 864
	1973.	19 563	3 264	8	22 819	. . .	2 081	20 738	13 324	712	6 702	2 405
	1974.	20 237	4 074	8	24 303	. . .	2 205	22 098	13 710	743	7 645	2 546
Čehoslovačka	1965.	31 763	762	—	32 525	104	2 583	29 830	21 830	1 737	6 271	2 107
	1970.	45 163	4 525	1 129	44 936	96	3 384	41 456	26 478	2 376	8 677	2 865
	1973.	47 645	6 048	1 788	51 905	227	4 178	47 500	28 825	2 758	15 917	3 258
	1974.	49 995	6 322	1 860	54 457	301	4 357	49 799	30 698	2 833	16 268	3 390
Francuska	1965.	101 442	973	—	102 415	187	8 102	94 126	61 723	4 791	27 612	1 924
	1970.	146 837	4 363	4 857	140 214	179	9 904	129 980	75 797	6 975	47 208	2 563
	1973.	174 500	4 500	7 500	171 500	200	11 300	160 000	. . .	. . .	. . .	3 069
	1974.	180 700	6 400	6 600	180 100	400	11 708	168 000	. . .	. . .	. . .	3 199
Mađarska	1965.	10 069	1 290	—	11 359	—	948	10 410	7 461	424	2 526	1 026
	1970.	14 537	4 058	663	16 532	—	1 490	15 042	9 003	778	4 144	1 470
	1973.	15 867	5 732	1 070	20 529	—	1 867	18 662	10 607	1 015	7 040	1 793
	1974.	17 199	5 756	1 097	21 858	—	1 960	19 898	11 009	1 142	7 747	1 902
Grčka	1965.	4 378	22	—	4 400	—	580	3 820	2 051	41	1 728	447
	1970.	9 820	41	19	9 421	—	840	8 581	5 110	46	3 425	965
	1973.	14 009	79	34	14 054	—	1 062	13 177	7 672	47	5 295	1 451
	1974.	14 196	79	36	14 239	—	1 062	13 177	7 931	46	5 200	1 471
Italija	1965.	80 655	331	—	80 986	565	8 102	72 319	47 310	3 346	21 663	1 402
	1970.	117 423	4 672	707	116 807	9 820	105 637	67 381	67 381	4 106	32 445	1 968
	1973.	139 103	3 248	2 369	139 982	11 833	125 829	77 290	77 290	4 318	44 221	2 292
	1974.	142 266	4 214	1 921	144 559	2 231	11 366	130 962	80 298	4 526	46 138	2 366
Holandija	1965.	23 657	34	—	29 691	—	1 510	22 181	13 363	741	8 077	1 805
	1970.	40 869	27	368	38 807	—	2 075	36 732	18 139	922	15 970	2 821
	1973.	50 529	7	1 351	49 185	—	2 738	46 477	22 900	. . .	. . .	3 456
	1974.	53 222	10	1 489	51 743	. . .	2 672	49 071	24 531	. . .	. . .	3 624
Norveška	1965.	49 054	—	2 163	46 891	—	4 822	42 009	25 455	456	14 088	11 284
	1970.	57 204	807	1 641	56 370	—	5 370	51 000	31 915	543	18 497	13 236
	1973.	72 563	218	5 410	67 558	37	6 307	61 031	38 754	521	21 756	15 296
	1974.	. . .	339	5 882	71 103	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
Poljska	1965.	39 742	—	453	39 289	24	4 011	35 254	27 526	1 468	6 260	1 119
	1970.	64 530	1 500	1 506	59 925	163	5 346	54 416	34 411	2 820	10 136	1 675
	1973.	78 312	2 011	3 765	76 558	558	7 035	68 965	39 950	3 550	25 465	2 067
	1974.	85 206	1 734	4 491	82 449	474	7 650	74 325	43 523	3 833	26 969	2 206
Rumunjska	1965.	17 215	—	331	16 884	—	3 383	13 501	10 366	326	2 809	710
	1970.	35 088	28	2 413	32 703	—	6 947	25 756	19 415	580	5 761	1 272
	1973.	. . .	251	3 799	43 231	—	7 962	35 269	27 514	873	6 882	1 693
	1974.	46 115	785	3 140	43 760	—	4 249	39 271	28 548	1 002	9 721	1 867
Španjolska	1965.	30 472	—	634	29 838	—	4 594	25 244	18 320	934	5 990	799
	1970.	53 904	213	1 727	52 390	267	6 875	43 301	27 934	1 253	. . .	1 341
	1973.	73 286	315	2 168	71 433	1 501	8 582	61 228	37 743	1 240	. . .	. . .
	1974.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
Švedska	1965.	49 111	—	805	48 306	30	5 696	42 670	26 529	1 858	14 283	5 517
	1970.	60 646	6 613	2 555	64 704	78	7 989	56 637	33 257	2 079	21 301	7 086
	1973.	76 387	5 950	5 216	78 814	29	9 194	69 591	39 787	2 016	27 788	8 549
	1974.	73 426	6 681	3 744	76 363	28	6 589	69 746	40 626	2 114	27 006	8 547
Švicarska	1965.	24 462	—	1 650	22 812	499	2 265	20 048	8 346	1 671	9 875	3 372
	1970.	33 173	4 442	9 202	28 413	869	2 767	24 777	. . .	2 006	12 567	3 945
	1973.	37 155	6 793	10 291	33 657	1 724	3 159	28 389	10 945	2 027	15 417	4 408
	1974.	37 410	6 274	9 505	34 179	1 541	3 071	29 567	11 331	1 974	16 262	4 563
Turska	1965.	4 723	—	—	4 723	—	521	4 202	3 066	57	1 079	134
	1970.	8 617	—	—	8 217	—	900	7 317	4 369	210	2 322	208
	1973.	11 766	—	—	11 766	. . .	. . .	. . .	8 140	100	. . .	330
	1974.	. . .	—	—	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
SSSR	1965.	506 709	—	1 505	502 509	—	35 109	470 100	349 400	37 100	83 600	2 040
	1970.	740 726	—	5 200	735 726	. . .	58 236	667 400	488 400	. . .	134 600	2 790
	1973.	. . .	—	9 653	905 000	. . .	72 600	832 400	585 600	64 800	182 000	3 333
	1974.	. . .	10 910	—	964 854	. . .	77 300	887 600	620 700	68 600	198 300	3 521
Velika Britanija	1965.	184 230	102	—	184 332	616	15 303	168 413	77 557	2 361	88 495	3 085
	1970.	232 703	557	6	233 254	1 487	17 959	213 808	82 447	2 734	119 320	3 840
	1973.	262 896	131	22	263 005	883	19 755	242 367	91 397	2 613	148 357	4 335
	1974.	254 477	225	175	254 527	896	18 424	235 207	86 974	2 713	145 520	4 205
S A D	1965.	1 157 583	—	143	1 157 440	. . .	92 787	1 064 653	533 767	5 122	525 764	5 470
	1970.	1 638 010	5 633	3 414	1 640 229	. . .	128 920	1 511 309	685 300	4 966	822 009	7 383
	1973.	1 947 084	16 848	2 570	1 973 024	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	1974.	1 967 649	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
SR Njemačka	1965.	160 555	4 241	—	164 796	1 575	9 912	153 309	100 829	5 269	46 851	2 597
	1970.	242 606	14 075	6 324	234 670	2 119	13 975	218 576	116 707	7 928	78 866	3 600
	1973.	286 211	17 912	7 630	296 493	2 215	14 634	279 644	141 960	8 874	—	4 418
	1974.	292 607	15 900	10 150	298 357	2 250	14 900	281 200	139 300	9 000	132 900	4 533
Jugoslavija	1965.	14 880	395	—	15 275	—	2 016	13 257	8 612	178	4 466	679
	1970.	26 023	361	152	24 976	—	2 980	21 996	12 256	381	8 661	1 080
	1973.	33 316	304	353	33 267	—	3 753	29 517	15 749	717	28 797	1 408
	1974.	37 672	625	625	37 672	—	3 757	33 916	19 315	804	13 797	1 604

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Tablica 32

PROIZVODNJA UGLJENA, KOKSA, NAFTE I PLINA U SFRJ
u hilj. tona i mln* m^3 [5]

Godina	Kameni ugljen	Mrki ugljen	L.gnit	Ugljen ukupno	Koks ukupno	Zemni* plin	Sirova nafta	Benzin ukupno	Petrolej ukupno	Plinsko ulje	Loživo ulje	Ukapljeni plin ukupno	Gazolin
1960.	1 283	9 628	11 801	22 712	1 103	53	944	277	74	354	396	13	6
1961.	1 313	9 494	13 266	24 073	1 111	69	1 431	294	59	405	409	13	5
1962.	1 189	9 320	14 186	24 695	1 125	95	1 525	322	81	532	492	15	5
1963.	1 286	9 945	16 191	27 422	1 107	191	1 611	344	89	618	480	17	6
1964.	1 262	10 715	17 534	29 511	1 177	274	1 799	386	98	701	683	23	10
1965.	1 169	10 509	18 279	29 957	1 267	330	2 063	546	82	809	1 148	36	15
1966.	1 133	10 080	18 080	29 292	1 237	402	2 222	788	94	1 142	1 764	49	17
1967.	909	9 023	16 535	26 467	1 226	461	2 374	886	94	1 389	1 816	54	18
1968.	835	9 508	16 389	26 732	1 236	584	2 494	935	119	1 380	1 847	68	23
1969.	681	9 992	16 373	26 496	1 226	730	2 699	1 003	146	1 722	1 967	78	23
1970.	643	8 989	18 790	28 422	1 309	977	2 854	1 233	163	2 092	2 509	95	25
1971.	707	9 333	20 862	30 902	1 297	1 151	2 961	1 472	215	2 665	2 930	105	28
1972.	599	9 184	21 157	30 940	1 299	1 242	3 200	1 394	211	2 495	2 989	196	28
1973.	576	9 145	22 729	32 451	1 318	1 329	3 332	1 528	251	2 558	3 480	210	24
1974.	601	9 380	24 444	33 582	1 315	1 447	3 458	1 627	315	2 725	4 317	206	14
1975.	598	9 430	25 509	35 537	1 351	1 554	3 692	1 745	331	2 817	4 276	264	14
1976.	587	9 110	27 147	36 845	1 786	1 730	3 880	1 923	325	2 969	4 800	...	...

Tablica 33

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U JUGOSLAVENSKOJ INDUSTRIJI
[5]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Zemni plin
	GWh	u tisućama tona							mln m^3
1960.	5 449	131	1 341	1 607	5 682	5 706	155	189	25
1961.	5 979	136	1 350	1 624	6 280	8 032	180	195	35
1962.	6 580	128	1 337	1 821	6 098	7 783	203	225	58
1963.	7 858	134	1 334	1 514	6 746	9 409	235	255	151
1964.	8 423	132	1 344	1 953	7 288	10 855	346	376	228
1965.	9 267	146	1 342	2 006	7 055	10 868	458	594	267
1966.	10 012	142	1 336	1 906	6 562	11 379	444	898	337
1967.	10 598	139	1 317	1 830	6 455	11 226	436	1 168	404
1968.	11 613	148	1 279	1 880	6 598	11 210	486	1 443	516
1969.	12 783	165	1 274	1 951	6 746	10 627	545	1 603	660
1970.	13 815	143	1 360	2 110	7 065	12 829	555	1 952	893
1971.	15 287	132	1 454	2 200	6 496	15 253	678	2 237	1 039
1972.	17 002	161	1 681	2 130	6 346	16 661	646	2 549	1 111
1973.	18 184	179	1 718	2 258	6 935	18 711	845	3 038	1 199
1974.	20 509	179	1 858	2 152	6 726	19 244	825	3 227	1 300
1975.	21 466	176	1 793	2 224	6 697	21 240	906	3 444	1 500
Ukupno 1976.	22 381	155	1 692	2 819	7 129	22 390	867	3 766	...
Elektroenergija	2 606	—	0,0	272	5 075	20 645	162	781	...
Ugljen i koks	708	—	0,0	2 335	47	216	30	2,3	...
Nafta	387	—	9,1	—	—	—	133	171	...
Crna metalurgija	2 454	56	1 360	—	48	42	13	457	...
Obojena metalurgija	5 935	28	148	66	258	150	56	170	...
Nemetali	553	—	13	—	23	111	92	153	...
Metalna industrija	1 650	1,4	100	7,0	106	64	77	107	...
Brodogradnja	120	—	0,1	1,2	1,1	1,4	5,1	3,1	...
Elektroindustrija	355	—	0,3	2,1	13	3,3	10	32	...
Kemijska industrija	1 956	5,2	38	1,5	342	251	112	245	...
Građevinski materijal	1 215	64	2,2	100	304	177	52	792	...
Drvna industrija	651	—	—	0,3	68	18	14	79	...
Industrija papira	1 153	—	—	19	137	340	4,4	4,4	...
Tekstilna industrija	1 190	—	0,0	3,3	284	94	17	209	...
Industrija kože i obuće	128	—	—	3,0	34	27	3,3	39	...
Industrija gume	145	—	—	—	37	3,4	3,2	43	...
Prehrambena industrija	1 024	—	22	9,0	342	239	76	323	...
Grafička industrija	91	—	—	0,4	5,1	2,2	4,4	5,1	...
Industrija duhana	44	—	—	0,3	4,2	4,1	3,2	14	...
Filmska industrija	2	—	—	0,3	1,1	—	0,0	0,2	...
Raznovrsna industrija	14	—	—	—	0,3	3,0	1,1	1,3	...

Podaci su prikupljeni mesečnim izveštajem industrije (ind-1).

LITERATURA

1. Godišnjak elektroprivrede SRH 1975.
2. Statistički pregled elektroprivrede SRH 1976.
3. Statsitički godišnjak SRH 1977.
4. Statistički godišnjak ZJE, 1975.
5. Statistički godišnjak SFRJ 1975.

Tablica 34

PROIZVODNJA UGLJENA, KOKSA, NAFTE I PLINA U SR HRVATSKOJ
u hilj. tona i mln* m^3 [3]

Godina	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Ugljen ukupno	Koks plinara	Zemni* plin	Sirova nafta	Benzin ukupno	Petrolej ukupno	Plinsko ulje	Loživo ulje	Ukapljeni plin ukupno	Gazolir
1960.	802	358	1 190	2 530	9	34	770	198	67	256	261	11	1
1961.	832	522	1 068	2 422	10	52	1 125	216	54	287	271	15	1
1962.	810	535	902	2 247	10	59	1 157	225	71	355	267	15	1
1963.	852	514	757	2 124	9	82	1 158	249	79	427	285	17	1
1964.	784	424	743	1 951	10	135	1 285	310	90	535	476	15	1
1965.	751	468	738	1 957	10	156	1 414	467	73	714	805	24	3
1966.	765	403	603	1 771	8	189	1 545	681	78	1 019	1 340	51	8
1967.	611	280	411	1 302	8	232	1 702	749	76	1 176	1 399	45	10
1968.	506	283	384	1 174	2	330	1 818	755	97	1 108	1 253	54	13
1969.	381	191	344	916	—	404	1 934	667	114	1 076	703	48	13
1970.	363	81	274	718	—	476	2 057	826	122	1327	1 093	71	13
1971.	422	21	197	640	—	547	2 142	991	158	1 617	1 513	106	12
1972.	382	19	176	577	—	569	2 362	914	145	1 543	1 590	147	13
1973.	385	3	137	524	—	612	2 423	1 023	164	1 681	1 890	147	13
1974.	374	0	85	460	—	674	2 470	1 087	211	1 698	2 399	163	0
1975.	355	—	59	414	—	751	2 670	1 119	208	1 918	2 248	179	0
1976.	356	—	8	364	—	911	2 814	1 222	221	2 035	2 502	193	0

Tablica 35

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I GORIVA U INDUSTRIJSKIM PODUZEĆIMA I POGONIMA SR HRVATSKE
[3]

Godina	Elektro-energija	Antracit	Koks	Kameni ugljen	Mrki ugljen	Lignit	Tekuće gorivo	Mazut	Zemni plin
	GWh	u tisućama tona							mln m^3
1960.	1 264	57	232	171	1 028	852	79	65	34
1961.	1 385	68	238	156	999	882	91	60	50
1962.	1 456	64	232	163	977	876	97	59	56
1963.	1 680	70	243	181	1 037	1 145	109	75	72
1964.	1 716	69	241	234	1 045	1 355	195	130	124
1965.	1 888	81	226	229	916	1 191	296	189	143
1966.	2 054	76	234	179	831	854	280	311	176
1967.	2 196	74	196	130	778	645	293	416	216
1968.	2 339	87	203	108	700	627	278	490	313
1969.	2 524	89	190	91	692	513	230	538	385
1970.	2 661	81	194	157	669	396	246	634	442
1971.	2 846	74	195	255	666	371	270	783	498
1972.	3 068	66	195	218	609	328	303	844	522
1973.	3 148	65	210	302	601	324	422	1 058	532
1974.	4 230*	65	252	202	581	197	440	1 014	589
1975.	4 681	55	225	302	548	152	450	1 078	631
U k u p n o: 1976[1)]	4 708	49	234	523	490	130	314	1 234	724
Elektroindustrija	320	—	—	269	69	—	20	573	135
Ugljen i prerađevine	54	—	—	0	—	1	6	—	40
Nafta i prerađevine	265	—	9	—	—	—	112	45	126
Crna metalurgija	160	3	151	—	—	—	4	47	36
Obojena metalurgija	1 568	—	30	—	15	—	11	7	—
Nemetali	113	—	0	—	—	47	6	35	16
Metalna industrija	231	0	26	2	22	3	14	13	26
Brodogradnja	81	—	0	1	1	1	3	3	—
Elektroindustrija	62	—	—	0	0	2	3	5	2
Kemijska industrija	553	5	11	—	76	7	97	40	252
Građevni materijal	405	41	—	48	98	2	9	306	35
Drvna industrija	120	—	—	—	0	1	3	5	5
Industrija papira	162	—	—	—	44	—	0	23	4
Tekstilna industrija	257	—	—	—	49	17	3	41	20
Industrija kože i obuće	26	—	—	1	0	0	0	0	—
Industrija gume	38	—	—	—	—	—	—	3	—
Prehrambena industrija	255	—	7	2	114	47	20	80	26
Grafička industrija	27	—	—	0	2	0	2	0	1
Industrija duhana	7	—	—	—	—	—	1	2	—
Filmska industrija	1	—	—	—	—	—	—	0	0
Ostala industrija	3	—	—	—	—	2	0	0	1

[1)] Podaci za 1976. godinu nisu u potpunosti usporedivi s podacima iz ranijih godina, jer u 1976. godini nisu obuhvaćeni OUR-i neindustrijske djelatnosti.

Tablica

PROIZVODNJA I POTROŠNJA UKUPNE ENERGIJE

Količine u 000 tona uvjetnog ugljena i u kg po jednom stanovniku

Zemlja	Godina	Proizvodnja					Potrošnja					
		ukupna energija	ugljen	sirova nafta	prirodni plin	hidro i nuklearna el. energija	ukupno	čvrsta goriva	tekuća goriva	prirodni plin	hidro i nuklearna el. energ.	po stanovn
Austrija	1965.	10 805	2 784	3 714	2 296	2 010	19 082	7 722	7 534	2 299	1 527	2 63
	1970.	10 657	1 835	3 639	2 528	2 655	25 303	7 037	12 535	3 752	1 976	3 42
	1973.	10 986	1 817	3 790	3 024	2 357	30 162	6 069	16 519	5 417	2 166	4 00
	1974.	10 833	1 815	3 290	2 941	2 789	29 294	6 342	14 600	5 929	2 423	3 88
Belgija	1965.	20 040	19 786	—	105	148	46 248	27 502	18 433	73	239	4 72
	1970.	11 581	11 362	—	71	149	59 647	23 351	29 935	5 972	389	5 95
	1973.	9 075	8 842	—	147	86	61 680	16 710	32 290	12 686	7	6 33
	1974.	8 382	8 111	—	168	103	65 544	17 865	32 894	14 721	63	6 70
Bugarska	1965.	13 411	12 797	298	67	250	21 022	15 635	5 071	67	250	2 56
	1970.	16 159	14 824	434	631	269	33 423	20 236	12 297	631	259	3 93
	1973.	14 471	13 581	279	296	315	36 609	19 703	15 897	296	713	4 24
	1974.	13 127	12 306	212	240	370	36 404	18 607	16 687	240	870	4 19
Čehoslovačka	1965.	73 494	71 554	250	1 134	557	80 216	71 914	6 453	1 128	721	5 66
	1970.	79 460	77 134	264	1 604	459	91 400	76 210	10 833	3 372	984	6 31
	1973.	78 495	76 528	256	1 388	324	98 829	76 093	17 338	4 549	848	6 78
	1974.	79 475	77 395	224	1 299	557	100 245	76 262	17 262	5 616	1 106	6 82
Francuska	1965.	69 904	52 961	4 303	6 724	5 916	144 427	67 096	64 166	7 127	6 037	2 952
	1970.	59 308	39 035	3 389	9 164	7 720	193 044	55 749	115 643	13 994	7 658	3 79
	1973.	48 620	27 808	3 195	10 051	7 566	234 742	44 287	160 907	22 346	7 202	4 50
	1974.	47 164	25 348	2 952	10 160	8 704	228 174	44 835	151 276	23 382	8 681	4 34
Mađarska	1965.	21 728	17 899	2 344	1 476	9	28 541	21 782	4 845	1 742	171	2 81
	1970.	23 211	15 990	2 590	4 621	11	33 111	19 323	8 465	4 887	435	3 21
	1973.	24 400	14 834	3 135	6 419	12	36 448	17 530	11 647	6 685	586	3 49
	1974.	24 265	14 258	3 213	6 739	10	37 197	16 995	12 569	7 049	583	3 55
Grčka	1965.	1 775	1 680	—	—	95	6 621	2 087	4 437	—	98	77
	1970.	2 865	2 534	—	—	329	11 195	2 953	7 910	—	332	1 27
	1973.	4 602	4 329	—	—	273	18 523	4 993	13 252	—	278	2 0
	1974.	4 885	4 597	—	—	288	18 355	5 348	12 719	—	293	2
Italija	1965.	20 343	894	2 920	10 392	6 137	92 230	12 106	63 556	10 392	6 178	1 787
	1970.	26 391	991	1 956	17 544	5 900	144 096	12 678	107 478	17 544	6 396	2 685
	1973.	28 015	473	1 622	20 416	5 504	170 470	11 707	130 393	22 759	5 612	3 104
	1974.	27 883	423	1 613	20 344	5 503	178 673	12 296	134 751	25 841	5 785	3 22
Holandija	1965.	16 937	11 446	3 113	2 378	—	42 272	13 548	26 392	2 327	4	3 438
	1970.	48 989	4 334	2 495	42 114	46	66 188	7 155	31 781	27 249	3	5 080
	1973.	98 460	1 722	2 276	94 326	137	84 881	4 125	30 772	50 013	—29	6 31
	1974.	114 884	758	2 231	111 492	403	83 829	4 458	25 657	53 492	221	6 19
Norveška	1965.	6 533	462	—	—	6 107	13 333	1 255	6 201	—	5 837	3 58
	1970.	7 642	484	—	—	7 158	18 708	1 534	10 121	—	7 053	4 823
	1973.	11 696	412	2 318	—	8 966	19 778	1 229	10 222	—	8 327	4 993
	1974.	12 362	436	2 508	—	9 418	19 642	1 450	9 456	—	8 736	4 926
Poljska	1965.	128 042	125 619	473	1 835	114	110 481	102 057	6 031	2 336	57	3 507
	1970.	157 656	149 931	586	6 902	236	138 913	119 943	10 493	8 235	243	4 278
	1973.	177 282	168 395	638	8 028	228	153 628	128 480	14 830	10 306	12	4 605
	1974.	182 780	173 950	883	7 044	302	157 923	132 092	15 404	10 464	37	4 687
Rumunjska	1965.	43 920	6 517	16 838	20 440	126	37 196	8 060	8 879	20 173	84	1 954
	1970.	59 347	11 065	17 887	30 049	347	56 772	13 968	12 973	29 782	48	2 803
	1973.	74 632	13 006	21 682	39 016	928	74 191	17 031	17 913	38 756	492	3 562
	1974.	76 895	13 639	21 975	40 238	1 043	74 506	17 828	15 960	39 965	752	3 543
Španjolska	1965.	16 881	14 329	91	—	2 461	32 029	16 076	13 571	—	2 382	1 009
	1970.	15 973	12 166	196	—	3 610	50 143	15 704	30 928	—	3 421	1 484
	1973.	17 039	11 478	1 123	1	4 436	69 149	15 561	43 004	1 376	4 208	1 984
	1974.	19 322	11 809	2 914	1	4 598	72 673	15 629	51 258	1 316	4 470	2 063
Švedska	1965.	5 924	46	73	—	5 805	34 852	3 004	26 144	—	5 704	4 806
	1970.	5 211	12	—	—	5 199	51 003	2 585	42 711	—	5 706	6 342
	1973.	7 626	—	—	—	7 626	50 630	2 220	40 688	—	7 717	6 222
	1974.	7 299	—	—	—	7 299	47 368	2 215	37 493	—	7 660	5 804
Švicarska	1965.	3 002	—	—	—	3 002	15 857	1 675	11 390	—2	2 796	2 685
	1970.	3 973	—	—	—	3 973	21 594	719	17 501	—	3 377	3 445
	1973.	4 271	—	—	—	4 271	25 948	466	20 174	257	3 872	4 022
	1974.	4 373	—	—	—	4 373	23 370	397	18 437	550	3 986	3 616
Turska	1965.	7 675	5 411	1 992	—	271	10 887	5 417	5 199	—	271	349
	1970.	11 055	6 071	4 605	—	380	16 930	6 259	10 291	—	380	481
	1973.	11 877	6 257	5 298	—	322	23 131	6 229	16 850	—	322	619
	1974.	12 157	6 703	5 042	—	412	24 045	6 539	17 045	—	412	628
SSSR	1965.	928 885	432 900	315 754	170 051	10 179	832 795	414 496	238 778	169 529	9 992	3 612
	1970.	1 188 998	450 400	459 950	263 663	15 985	1 054 689	429 865	345 504	264 004	15 316	4 344
	1973.	1 450 417	488 976	630 684	314 786	15 971	1 262 906	470 737	456 334	320 884	14 952	5 057
	1974.	1 533 035	494 101	674 654	347 057	17 224	1 323 715	474 077	489 507	344 153	15 978	5 252
Velika Britanija	1965.	193 418	190 499	109	252	2 558	282 616	185 426	93 117	1 108	2 565	5 173
	1970.	163 653	144 564	203	15 000	3 887	299 362	152 255	127 040	16 101	3 966	5 362
	1973.	174 483	131 468	599	38 412	4 004	312 913	130 406	139 114	39 382	4 011	5 582
	1974.	161 689	109 907	662	46 395	4 725	306 436	116 717	137 838	47 199	4 731	5 464
S A D	1965.	1 633 260	476 195	526 696	604 992	25 104	1 790 302	425 203	723 245	616 765	25 088	9 200
	1970.	2 062 532	552 173	649 429	826 803	34 128	2 278 786	470 712	933 555	840 110	34 409	11 123
	1973.	2 162 355	534 403	763 939	819 656	44 358	2 504 036	501 825	1 117 044	839 052	46 114	11 901
	1974.	2 105 807	543 777	729 221	781 259	51 549	2 433 476	500 145	1 068 822	811 398	53 111	11 485
Zapadna Njemačka	1965.	183 681	167 198	10 260	4 288	1 935	250 180	147 215	96 287	4 212	2 465	4 237
	1970.	174 333	144 222	9 807	17 331	2 974	317 795	131 448	160 275	22 129	3 942	5 163
	1973.	172 425	133 196	9 768	26 106	3 354	371 912	121 430	198 858	47 003	4 620	6 002
	1974.	172 938	133 039	9 122	27 085	3 692	353 490	114 498	177 531	57 043	4 419	5 698
Jugoslavija	1965.	19 827	15 563	2 701	440	1 123	23 240	17 727	3 901	44	1 192	1 191
	1970.	21 417	14 532	3 741	1 301	1 843	29 337	16 430	9 737	1 301	1 869	1 440
	1973.	25 238	16 513	4 938	1 770	2 016	36 496	18 631	14 085	1 770	2 010	1 742
	1974.	26 667	17 092	5 106	1 927	2 541	39 825	19 366	15 990	1 927	2 541	1 883