UDK 621.31 ENJAAC 43 (1 - 6)1 - 407 ISSN 0013 - 7448

energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

SADRŽAJ ENERGIJE U 1994. GODINI

	str.	br.
Nikolovski S. - Fischer D.: Efikasan algoritam za proračun strukturnih pokazatelja pouzdanosti opskrbe električnom energijom (Izvorni znanstveni članak)	5	1/94
Škanata D: Kriteriji prihvatljivosti tehnoloških rizika (Prethodno priopćenje)	13	1/94
Deželić R.: Ušteda električne energije pri taljenju čelika	23	1/94
Abramović B.: Nove tehnologije izgaranja ugljena	29	1/94
Šimunić J.: Analiza događaja EES-a uz pomoć modularne strukture informacija	39	1/94
Radmilović B.: Elektroenergetski sustav Hrvatske - znamo kako dalje	65	2/94
Magdić M.: Društvenoekonomska opravdanost izgradnje elektroenergetskih objekata	73	2/94
Puharić M.: - Žutobradić S.: Suvremene tendencije u razvoju prenaponske zaštite distribucijskih postrojenja	79	2/94
Šimatović I.: Mogućnost točnijeg određivanja simetričnih komponenti i pokazatelja nesimetričnosti napona i struja trofaznog sustava	87	2/94
Abramović B.: Hidraulički transport ugljene pulpe	93	2/94
Vujević D.: Iskazivanje nesigurnosti u mjerenju	105	2/94
Kelemen T.: Tercijar transformatora, što i kako s njim?	111	2/94
Sutlović E.: Baza podataka za projektiranje elektroenergetskih postrojenja	131	3/94
Rajić F.: Automatika i kultura vođenja energetskih postrojenja i procesa	137	3/94
Tonković Z.: Novi vodiči u prijenosnoj mreži	143	3/94
Žutobradić S. - Ravlić V. - Radošević Ž.: Neka rješenja pojednostavljenih TS 110/10(20) kV	151	3/94
Cvetković Z.: Prilog prenaponskoj zaštiti distribucijskih postrojenja srednjeg napona	159	3/94
Nikolovski S.: Proračun parametara višestrukih nadzemnih vodova osobnim računalom	163	3/94
tanić D. - Kunaj H.: Analiza naprezanja u spoju cijevi i cijevne stijene generatora pare u nuklearnim elektranama	175	3/94
Blecha K. - Votlucka I. - Svarc L. - Konecny G. - Griger V. - Kapas M. - Csehek M. - Dobroczek A. - Zielinski Z. - Kranhold M. - Gudat R.: Pokusni autonomni paralelni pogon elektroenergetskih sustava VEAG-a i CENTREL-a	205	4/94
Lučić G.: Posljedice rata na elektroenergetskom sustavu Hrvatske	217	4/94
Topić J.: Osnovna načela Tarifnog sustava za prodaju električne energije u Republici Hrvatskoj	225	4/94
Škopac D.: Upravlajnje kakvoćom	231	4/94
Stopfer Š.: Rješenje zaštite veznih filtara sustava MTV od prekomjernog zagrijavanja, primijenjeno u trafostanici 110(20)10 kV Elektre Zagreb	241	4/94
Blecha K. - Votlucka I. - Svarc L. - Konecny G. - Grieger V. - Csehek M. - Kapas M. - Dobroczek A. - Zielinski Z. - Kranhold M. - Gudat R.: Ispitivanje sposobnosti regulacijskog odgovora u izoliranom sistemu CENTREL-a i VEAG-a u dinamičkim i statičkim pogonskim uvjetima	265	5/94
Nevečerel D.: Rješavanje problematikenesimetričnog opterećenja EES-a planiranom izmjeničnom elektrovučom na potezu Zagreb - Moravice - Rijeka	271	5/94
Plačko I.: Istraživanja utjecaja električnog i magnetskog polja na žive organizme	283	5/94
Cvetković Z.: Istočno-zapadna europska interkonekcija	291	5/94
Krulc Z.: Mogu li se izbjeći katastrofalne posljedice udara munje	299	5/94
Protić R.: Tendencije potrošnje prirodnog plina kao goriva u termoelektranama	303	5/94
Tonković Z.: Značenje "Otočne veze 110 kV" Melina/Senj...Zadar	327	6/94
Tomasović I. - Šaina B. - Čerina P.: Izbor podmorskih i kopnenih energetskih kabela "Otočne veze 110 kV"	335	6/94
Perak I. - Bobanović A.: Podmorski optički kabel za Otočnu vezu	345	6/94
Savičević J.: Podmorski i podzemni energetski kabeli 110 kV u	349	6/94

projektu Otočna veza		
Đurđević D.: Projektiranje dalekovoda "Otočne veze 110 kV"	359	6/94
Čerina P. - Mijić M. - Živković B.: Transport i polaganje podmorskih kabela "Otočne veze 110 kV"	373	6/94
Čerina P. - Despot I. - Krnić F.: Polaganje kopnenog kabela 110 kV Bili Brig - TS Zadar 1	379	6/94
Rumora I. - Saša S.: Telekomunikacijski sustav za vođenje objekata "Otočne veze 110 kV" iz CDU Bilice	383	6/94
Čerina P. - Šaina B.: Utjecaj načina polaganja podmorskih jednožilnih kabela na elektrokoroziju metalnog plašta	389	6/94
Čerina P. - Senjanović P.: Snimanje položenih podmorskih kabela "Otočne veze 110 kV"	393	6/94
Tollerz O.: ABB - visokonaponski kabeli	397	6/94
Čerina P. - Delavia N. - Šaina B.: Oprema za popravak i polaganje podmorskih kabela	403	6/94

UDK 621.31

ENJAAC 43 (1) — (1994) 1 — 62

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 43 (1994) Zagreb 1994 Br. 1

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

SADRŽAJ

Riječ glavnog urednika 3

Nikolovski S. — Fischer D.: Efikasan algoritam za proračun strukturnih pokazatelja pouzdanosti opskrbe električnom energijom (Izvorni znanstveni članak) 5

Škanata D.: Kriteriji prihvatljivosti tehnoloških rizika (Prethodno priopćenje) 13

Deželić R.: Ušteda električne energije pri taljenju čelika (Pregledni članak) 23

Abramović B.: Nove tehnologije izgaranja ugljena (Pregledni članak) 29

Šimunić J.: Analiza događaja EES-a uz pomoć modularne strukture informacija (Stručni članak) 39

Vijesti iz elektroprivrede 53

Iz strane stručne literature 54

Slika na omotnoj strani **Đ. Ružić**

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro *Stanković,* dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zdenka *Jelić,* prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Slavica *Barta,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb — Anđelko *Dujmović,* dipl. inž., Direkcija za distribuciju, Osijek — Bruno *Šaina,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Prijenosno područje Opatija — Marijan *Kovač,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, PP Primorskog sliva, Tribalj — mr. Damir *Subašić,* dipl. inž., Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko *Cvetković,* dipl. inž.
Urednik - Editor: Zdenka *Jelić,* prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. Goran *Granić,* dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl,* dipl. inž. — »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić,* dipl. inž. — »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković,* dipl. inž. — »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić,* dipl. inž. i Dasenko *Baldasari,* dipl. inž. — »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović,* dipl. ecc., Mladen *Mandić,* dipl. ecc. i Marijan *Magdić,* dipl. ecc. — »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša,* dipl. inž. — »Informatika«, Nikola *Lastrić,* dipl. inž. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko *Mališ* — Lektor — Lingvistic Adviser: Vladimir *Strojny,* prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko,* dipl. inž.

Redakcija završena 1993 — 12 — 28

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Avenija Vukovar 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 625-328 i 625-111/328, telefax: 041/530-604

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 40 DEM, a za poduzeća i ustanove 80 DEM (za studente 20 DEM). Cijena pojedinog broja u prodaji 8 DEM.

Pretplata je iskazana u DEM, a uplaćuje se u dinarskoj protuvrijednosti na dan uplate.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su: Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

RIJEČ GLAVNOG UREDNIKA

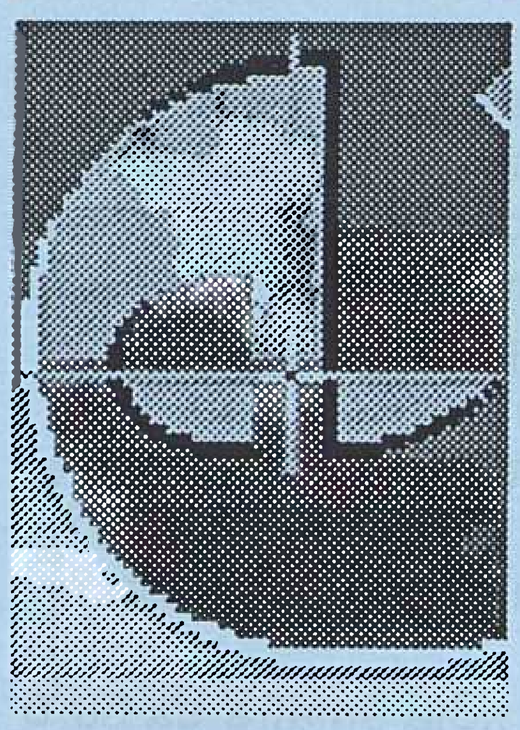
Administrativni savjet CIGRE još je 1989. godine formirao posebnu Grupu CIGRE 2000 koja je trebala razmotriti položaj CIGRE, što znači i položaj elektroprivrede u uvjetima naglih tehnoloških, političkih i socioekonomskih promjena u sljedećem desetljeću. Naročit problem u radu te Grupe jest utjecaj vanjskih faktora kao što su zaštita okoliša, pravna regulativa i općenito utjecaj javnosti, čime se CIGRE u svom dosadašnjem radu i nije mnogo bavila. Da bi se to područje podrobnije upoznalo, CIGRE je formirala posebnu savjetodavnu grupu za javne poslove AGPA (Advisory Group on Public Affairs).
Prvo izvješće te grupe Administrativni savjet CIGRE je razmotrio u listopadu 1993. godine. Bit tog izvještaja svodi se na opisivanje pritisaka koje javno mijenje u svijetu vrši danas na elektroprivredu i ulogu CIGRE da informira i pripremi inženjere da budu sposobniji braniti tehničke stavove koji ne nalaze lagano društveno prihvaćanje.
Od niza faktora (ukupno ih je navedeno 16) AGPA je izdvojila tri za koje smatra da su u ovom trenutku najkritičniji i da ih treba sustavno obraditi. To su sljedeći faktori:

— restrukturiranje elektroprivrede, utjecaj privatizacije i posljedice koje iz toga slijede na razvoj i pogon elektroenergetskog sistema
— rastuća opozicija javnosti prema nadzemnim vodovima i njezine posljedice
— pritisak na povećano korištenje postojeće prijenosne mreže.

Bez obzira na trenutne prioritete koji su u nas posljedica rata i ratnih razaranja, ovo upozorenje AGPA treba ozbiljno shvatiti, jer se odnose i na nas i jer svaki zahvat na tom polju ima dugoročne posljedice i u pozitivnom i u negativnom smislu. Upravo obnova je prilika da se EES osuvremeni.
Energija stoga poziva stručnjake da daju svoj doprinos u obradi navedene problematike. Ne zaboravimo da i klasične zemlje slobodnog tržišta nailaze na znatne poteškoće u restrukturiranju elektroprivrede, ponajviše zbog tehnoloških specifičnosti tih velikih sistema. Ne zaboravimo također da s obzirom na naš geopolitički položaj i energetske mogućnosti mnogo očekujemo od prijenosne mreže.
Treba također naglasiti da AGPA kao jednu od primarnih aktualnosti navodi potencijalni manjak elektroinženjera energetskog usmjerenja. A zar nije to i naš problem?

Glavni urednik

RC



KOM

INSTITUT
ZA ENERGETIKU
I
ZAŠTITU
OKOLIŠA

EFIKASAN ALGORITAM ZA PRORAČUN STRUKTURNIH POKAZATELJA POUZDANOSTI OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Mr. Srete Nikolovski — mr. Darko Fischer, Osijek

UDK 621.31:681.3
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Prikazan je efikasan algoritam za određivanje pokazatelja pouzdanosti opskrbe električnom energijom. Matematički model zasniva se na Markovljevu modelu prostora stanja i pretraživanju strukture funkcionalnoga grafa razdjelne mreže. Efikasnom rekurzivnom procedurom određuju se svi putovi od izvornih do potrošačkih čvorova korištenjem matrice incidencije. Program formira matricu minimalnih putova i Booleovom algebrom pronalazi minimalne presjeke funkcionalnog grafa. U modelu su obuhvaćeni neovisni kvarovi, kvarovi zbog zajedničkog uzroka i višestruki kvarovi u postrojenjima razdjelne mreže. Model obuhvaća i promjenu topologije mreže zbog različitih uklopnih stanja mreže.

Ključne riječi: pouzdanost, Markovljev model, minimalni putovi / presjeci, neovisni kvarovi, višestruki kvarovi.

1. UVOD

Pouzdanost elektroenergetskog sustava (EES) uvijek je bila predmet interesa inženjera i znanstvenika u svijetu i u nas. Posebno se proširila u zadnjih desetak godina, ali sporo prodire iz znanstvenih krugova u širi krug inženjera u praksi iako pouzdanost zadire u sve oblasti elektrotehnike.

Temeljni zadatak EES je proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije do krajnjih potrošača pouzdano i sigurno uz prihvatljive troškove i zadovoljavajući stupanj kvalitete napona i frekvencije. Da bi taj uvjet EES ispunio, svi njegovi dijelovi i komponente moraju raditi pouzdano, ali zbog stohastičke prirode procesa EES je izložen poremećajima i slučajnim kvarovima.

Velika složenost EES iziskuje da se metode analize pouzdanosti posebno koriste u proizvodnom podsustavu, prijenosnom podsustavu i distributivnom podsustavu, jer je nemoguće bez značajnijih pojednostavnjenja obuhvatiti EES u cjelini.

Često se analiza pouzdanosti i raspoloživosti rade zajedno za proizvodno-prijenosni sustav i programi za takve proračune razvijeni su u svijetu, a dio programa postoji i u nas. Takvi matematički modeli prihvaćaju vjerojatnosni karakter hidroloških prilika, modeliraju slučajne kvarove generatora, vodova i proračunavaju tokove snaga u složenoj prijenosnoj mreži. Distributivni sustav, a posebice industrijske mreže kao jedan njegov dio, nisu bile predmetom većih istraživanja u nas. U svijetu se pridaje znatna pažnja distributivnim mrežama jer su neka istraživanja pokazala da više od 90% svih kvarova koji utječu na prekid napajanja potrošača električnom energijom nastaje u distributivnoj mreži [4].

Svrha je ovog rada izradba programa za proračun pokazatelja strukturne pouzdanosti opskrbe potrošača električnom energijom uz prihvaćanje što realnijeg prikaza mreže. Potrebno je modelirati komponentu u što je moguće više njezinih stvarnih stanja (rad, kvar, remont, isključenje) i to obuhvatiti matematičkim modelom te polazeći od pouzdanosti komponente i strukture sustava odrediti pokazatelje pouzdanosti potrošačkih čvorova u elektroenergetskoj mreži.

2. MARKOVLJEV MODEL PROSTORA STANJA

Temeljna je zadaća vjerojatnosnih metoda za proračun pouzdanosti da ne osnovi poznatih podataka o pouzdanosti i raspoloživosti komponente izračunamo pokazatelje pouzdanosti sustava u cjelini ili pojedinih njegovih dijelova. Pristup proračunima je dvojak, kao što je rečeno u uvodnom izlaganju, te postoje dvije velike analitičke i simulacijske (Monte-Carlo) metode.

Neke od analitičkih metoda koriste se logičkim dijagramima, analizom prostora stanja ili analizom stabla događaja (kvara). Zajedničko je za njih da se koriste prostorom stanja sustava (ili komponente). Pri takvom predstavljaju komponenata (ili sustav) se opisuju svojim stanjima koja se mijenjaju tijekom vremena. Komponente mogu biti u stanju kvara, popravka, planskog remonta, isključenom stanju radi manipulacije u postrojenju ili pod utjecajem promjenljive okoline i opterećenja u EES.

Ponašanje komponenata i sustava u cjelini može se vrlo dobro opisati Markovljevim modelom. Markovljev model je stohastički proces koji se dâ opisati s dvije slučajne veličine: stanjem sustava (komponente) i vremenom promatranja. Kako obje veličine mogu biti ili diskretne ili kontinuirane, to postoje četiri mogućnosti promatranja. Diskretna stanja sustava i

diskretno vrijeme promatranja naziva se Markovljevim lancem, a diskretna stanja sustava i kontinuirano vrijeme promatranja naziva se Markovljevim procesom. Ostali tipovi modela nisu bitni za proračun pouzdanosti EES. U općem slučaju vjerojatnost nalaženja sustava u jednom ili drugom stanju u danom trenutku ovisi o prethodnoj povijesti boravka sustava u prošlim stanjima.

Kod Markovljeva modela vjerojatnost boravka sustava X u stanju »j« u trenutku $t + \Delta t$ ovisi samo o stanju »i« koje je sustav imao u trenutku t a ne i o prošlim stanjima. Vjerojatnost prijalaza komponente (ili sustava) iz stanja »i« u stanje »j« označavamo sa $p_{ij}(\Delta t)$ u intervalu Δt iznosi

$$p_{ij}(\Delta t) = P[X(t + \Delta t) = j/X(t) = i] = \lambda_{ij}(t)\,\Delta t. \quad (1)$$

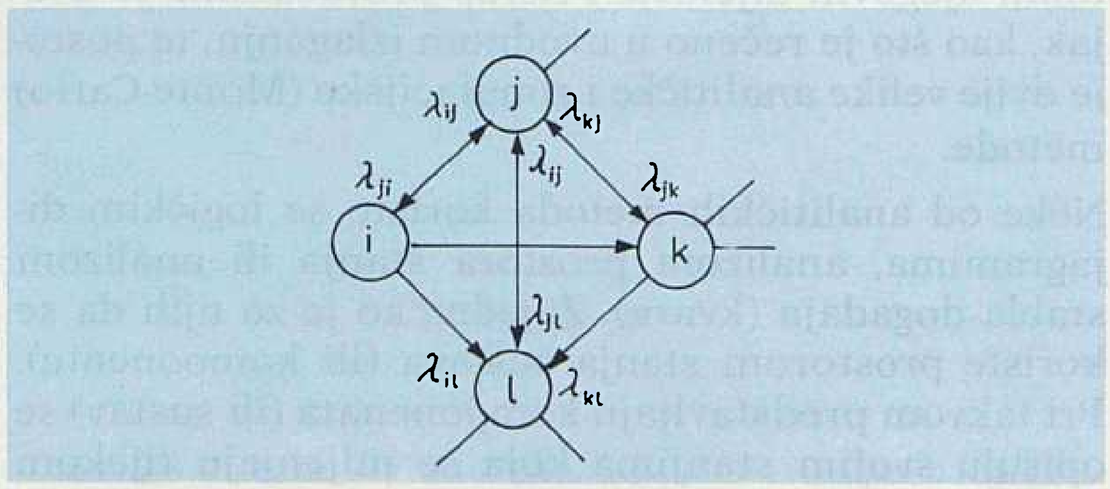
Kod homogenih Markovljevih procesa vjerojatnost prijelaza ovisi samo o dužini vremenskog intervala i o intenzitetu prijelaza između stanja »i« i »j« koji je konstantan $\lambda_{ij}(t) = \lambda_{ij}$. To je slučaj s komponentama EES i njihovim promjenama stanja.

Druga pretpostavka je da je vjerojatnost dvaju ili više prijelaza u intervalu Δt jednaka nuli, što znači da je vjerojatnost pojave dva ili više kvarova u vremenu Δt jednaka nuli:

$$\lambda(t)\,\Delta t\,\lambda(t)\,\Delta t = \lambda^2(t)\,\Delta t^2. \quad (2)$$

Matematički to predstavlja infinitezimalnu veličinu drugog reda koju možemo zanemariti. To ne znači da se ne može zbiti događaj (kvar) koji za posljedicu ima isključenje dvaju ili više elemenata u sustavu.

Ako je intenzitet kvara konstantan, tada vrijeme boravka u ispravnom stanju podliježe eksponencijalnoj razdiobi, što vrijedi i za uvjet ako je intenzitet popravka μ konstantan, tada i vrijeme boravka u stanju popravka podliježe eksponencijalnoj razdiobi. Neka komponenta (ili sustav) mijenja svoja stanja u vremenu t (prelazi iz stanja rada u kvar, remont, isključenje i dr.), to se može prikazati dijagramom prostora stanja na slici 1.



Slika 1. Dijagram komponente u prostoru stanja

Promjena vjerojatnosti zbog prijelaza komponente iz stanja u stanje može se prikazati matricom intenziteta prijelaza i vjerojatnosti boravka u određenom stanju:

$$[\dot{P}(t)] = [A] \cdot [P(t)], \quad (3)$$

gdje je $[\dot{P}(t)]$ vektor stupac promjena (derivacija) vjerojatnosti stanja

$$[\dot{P}(t)] = [\dot{P}_1(t), \dot{P}_2(t) \ldots \dot{P}_n(t)]^T.$$

Matrica $[A]$ je matrica intenziteta prijelaza sustava u stanjima od 1 do n.

$$[A] = \begin{bmatrix} -\sum_{j=2}^{n} \lambda_{1j} & \lambda_{21} & \ldots & \lambda_{n1} \\ \lambda_{1n} & -\sum_{\substack{j=1 \\ j=2}}^{n} \lambda_{2j} & \ldots & \lambda_{n2} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \lambda_{1n} & \lambda_{2n} & \ldots & -\sum_{j=1}^{n-1} \lambda_{jn} \end{bmatrix}$$

Da bismo odredili stacionarne (ustaljene) vjerojatnosti boravka komponente (sustava) u stanjima od 1 do n, potrebno je vektor derivacija vjerojatnosti izjednačiti s nulom:

$$[A]_{nxn^*}[P(t)] = 0. \quad (4)$$

Matrična jednadžba 4 osnovna je jednadžba za proračun vjerojatnosti stanja komponente koja prelazi u različita stanja tijekom svog vijeka eksploatacije i predstavlja sustav linearnih algebarskih jednadžbi. Uz tu jednadžbu ide i jednadžba da je ukupna suma vjerojatnosti boravka u određenim stanjima jednaka 1, jer se komponenta ili sustav mora naći u nekom od stanja što je istinit događaj:

$$\sum_{i=1}^{n} P_i(t) = 1. \quad (5)$$

Ako prikažemo i-ti redak sustava algebarskih jednadžbi 4

$$\lambda_{1i} P_1 + \lambda_{2i} P_2 + \ldots + \lambda_{i-1}, \text{ i } P_{i-1} - \sum_{\substack{j=1 \\ j=i}}^{n}$$

$$\lambda_{ij} P_i + \lambda_{i+1,} \text{ i } P_{i+1} + \ldots + \lambda_{ni} P_n = 0, \quad (6)$$

on nam pokazuje da je suma učestalosti prijelaza jednaka nuli:

$$f_{1i} + f_{2i} + \ldots - f_{ii} + \ldots + f_{ni} = 0 \quad \sum_{j=1}^{n} f_{ij} = 0 \quad (7)$$

Veličinu f_{ij} nazivamo učestalošću prijelaza iz stanja »i« u stanje »j«. To je očekivani broj prijelaza u jedinici vremena u stacionarnom stanju:

$$f_{ij} = \lambda_{ij} P_i, \quad (8)$$

Veličinu f_{ii} nazivamo ukupnom učestalošću napuštanja stanja »i«. On je jednaka sumi učestalosti prijelaza iz svih ostalih stanja u i – to stanje. Znak (–) je zbog toga što se stanje napušta (izlazak iz stanja »i«).

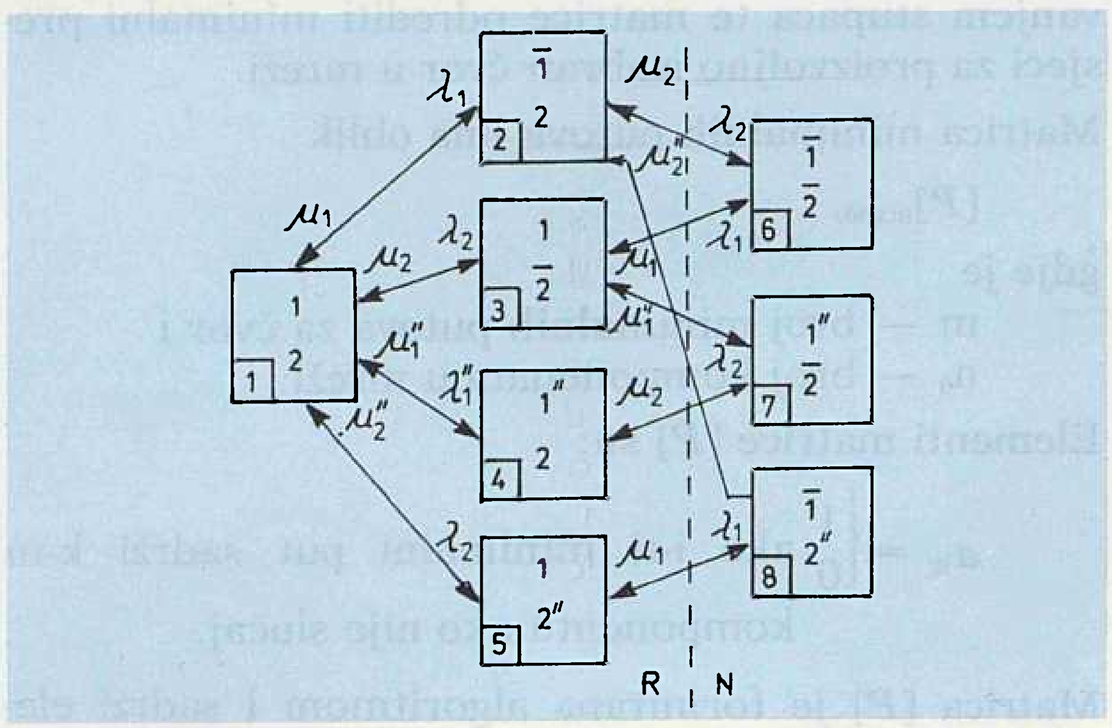
$$f_{ii} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \lambda_{ij} P_i = f_i \quad (9)$$

Srednje vrijeme boravka u stanju i može se izračunati iz izraza za $f_i T_i = P_i$. Srednje vrijeme boravka u »i«-tom stanju jednako je recipročnoj vrijednosti sume intenziteta napuštanja stanja i.

$$T_i = \frac{P_i}{f_i} = \frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \lambda_{ij}}. \quad (10)$$

3. MODEL KOINCIDENCIJE KVARA I REMONTA

Poseban slučaj paralelnog spoja dviju komponenata jest onda kada se jedna od njih nalazi u planskom remontu. Planski remont komponente je determinirana veličina sa svojim trajanjem i učestalošću koje ovisi o vrsti komponente, njezinu mjestu i načinu ugradnje, uvježbanošću osoblja koje obavlja remont, organiziranosti i opskrbi rezervnim dijelovima te mnogim drugim veličinama. Dijagram prostora stanja za dvije komponente u paralelnom radu, od kojih svaka može biti u planskom remontu, ali ne i obje istovremeno, prikazan je slikom 2.



1. obje komponente u radu
2,3. jedna komponenta u kvaru
4,5. jedna komponenta u kvaru, druga u planskom remontu
6. obje komponente u kvaru
7,8. jedna komponenta u kvaru, druga u planskom remontu

Slika 2. Markovljev model komponente s popravkom i planskim remontom

Budući da jedna komponenta ima tri stanja; rad, kvar i remont a imamo dvije komponente, ukupan broj stanja je $3^2 = 9$. Stanje obje komponente u remontu se izbjegava, te imamo ukupno 8 stanja.
Stanje 6 je stanje kada su obje komponente u kvaru.
Stanja 7 i 8 jesu stanja neraspoloživosti zbog koincidencije kvara na remont. Ukupna neraspoloživost zbog remonta jest

$$N_k'' = N_7'' + N_8 = N_{12}'' + N_{12}'' = \lambda_{12}'' r_{12}'' + \lambda_{12}'' r_{12}''$$

$$N_k'' = \lambda_1 N_2'' \frac{r_1 r_2''}{r_1 + r_2''} + \lambda N_1'' \frac{r_1'' r_2}{r_1'' + r_2}$$

$$N_k'' = N_1 N_2'' \frac{r_2''}{r_1 + r_2''} + N_2 N_1'' \frac{r_1''}{r_1'' + r_2}. \qquad (11)$$

Učestalost koincidencije kvara na remont jest

$$f_k'' = f_{12}'' + f_{21}'' = f_1 N_2'' + f_2 N_1''. \qquad (12)$$

Srednje vrijeme trajanja koincidencije jest

$$r_k'' = \frac{N_k''}{f_k''}, \qquad (13)$$

4. MODELIRANJE POUZDANOSTI ELEKTROENERGETSKE MREŽE

4.1. Pokazatelji pouzdanosti opskrbe potrošača električnom energijom

Već je napomenuto da je mjera pouzdanosti i raspoloživosti EES matematička vjerojatnost. Pokazatelji pouzdanosti su kvantitativne veličine koje pokazuju karakteristike EES s aspekta pouzdanosti, a dijelimo ih u nekoliko kategorija.

— Prva kategorija su vjerojatnosti (vjerojatnost kvara komponente, raspoloživost, neraspoloživost, vjerojatnost deficita snage i dr.).
— Druga kategorija su učestalosti događaja (učestalost kvara, učestalost prekapčanja, učestalost remonta, učestalost deficita snage i dr.).
— Treća kategorija su srednja vremena (srednje vrijeme do prvog kvara — MTTF, srednje vrijeme srednje vrijeme opravke — MTTR, srednje vrijeme između kvarova — MTBF i dr.).
— Četvrta kategorija su matematička očekivanja (očekivani broj dana u godini kada je deficit snage, očekivana neisporučena el. energija zbog deficita snage).

Pokazatelji pouzdanosti u analizama uvijek se definiraju u odnosu prema kriteriju kvara i štetnog događaja koji se proučava. U EES postoji vrlo mnogo kriterija koji mogu predstavljati kvar u sustavu. Štetan događaj je i ako je nedovoljna snaga generatora u EES da postigne vršno opterećenje u sustavu zbog kvara generatora ili porasta opterećenja potrošača, preopterećenje komponenata u EES (vodova, transformatora) zbog otkaza pojedinih komponenata u EES, naponi sabirnica su ispod ili iznad dopuštenih granica, prekid opskrbe pojedinih potrošača ili potpuni prekid opskrbe cijelog sustava. Pojedini štetni događaji mogu se izbjeći korekcijskim aktivnostima dispečera automatski ili ručno u EES, ali ostaje problem potpunog prekida opskrbe koji se ne može jednostavno izostaviti.
Zato za prekid opskrbe potrošača električnom energijom posebno u distributivnim mrežama definiramo sljedeće osnovne pokazatelje pouzdanosti opskrbe potrošačkog čvora:

— frekvencija prekida opskrbe tijekom jedne godine f[1/god.]
— vjerojatnost prekida opskrbe (neraspoloživost) N
— srednje vrijeme trajanja prekida r [h].

Dodatni pokazatelji pouzdanosti koji bliže karakteriziraju težinu nastalog prekida opskrbe jesu:

— srednja vrijednost isključene snage ΔL [kW/god.]
— srednja vrijednost neisporučene električne energije ΔW [kWh/god.]

Pokazatelji pouzdanosti imaju veliko značenje za distributivnu organizaciju. Financijske štete koje distribucija ima zbog prekida opskrbe jer ne isporučuje i ne prodaje električnu energiju potrošačima mogu se procijeniti samo ako se poznaju pokazatelji pouzdanosti. S druge strane, industrija i kućanstva imaju iz-

ravne štete zbog prekida opskrbe električnom energijom.

Kako jedan čvor u distributivnoj mreži može biti izložen većem broju štetnih događaja (prekida) tijekom godine, to se za srednju vrijednost neisporučene snage čvora k ima:

$$\Delta L = \sum_{j=1}^{n} L_{kj} f_j \quad [\text{MW/god.}], \qquad (14)$$

gdje je

f_j — učestalost prekida opskrbe el. energije

L_{kj} — srednja vrijednost snage u čvoru k pri prekidu j.

Očekivana neisporučena električna energija u čvoru k zbog prekida opskrbe iznosi

$$\Delta W = \sum_{j=1}^{n} L_{kj} r_{kj} f_j \quad [\text{MWh/god.}], \qquad (15)$$

gdje je

r_{kj} — srednje vrijeme trajanja prekida opskrbe pri štetnom događaju j u čvoru k.

Godišnje srednje vrijeme trajanja prekida opskrbe u čvoru k jest

$$N = N_k\, 8\,760 = f_k\, r_k\, 8\,760 \quad [\text{h/god.}] \qquad (16)$$

Osim osnovnih i dodatnih pokazatelja pouzdanosti za pojedini potrošački čvor, u distributivnoj mreži postoje i drugi pokazatelji reducirani na jedan poremećaj (po jednom prekidu). Srednja neisporučena snaga po prekidu jest

$$\Delta \bar{L} = \frac{\sum_j L_{kj} f_j}{\sum_j f_j} \quad [\text{MW/prekid}]. \qquad (17)$$

Srednja neisporučena energija po prekidu jest

$$\Delta \bar{W} = \frac{\sum_j L_{kj} r_{kj} f_j}{\sum_j f_j} \quad [\text{MWh/prekid}]. \qquad (18)$$

4.2. Metoda minimalnih presjeka

Minimalni presjek predstavlja skup komponenata električne mreže koje pogođene štetnim događajem prekidaju vezu između izvora i potrošačkog čvora u mreži. Ako u minimalnom presjeku postoji samo jedna komponenta, to se njezinim slučajnim kvarom prekida opskrba potrošačkog čvora. Za takav presjek kažemo da je minimalni presjek prvog reda.

Ako u minimalnom presjeku postoje dvije komponente i koincidencijom se kvarova ili kvara i remonta prekine napajanja, za takav presjek, kažemo da je minimalni presjek drugog reda.

Ako u minimalnom presjeku postoje tri komponente i budu pogođene štetnim događajem (koincidencija tri kvara ili kvara dvije i remonta treće i dr.) tako da se prekine opskrba, takav minimalni presjek nazivamo presjekom trećeg reda. I tako dalje.

Koincidencije veće od trećeg reda vrlo su malo vjerojatne, a i one se mogu također zanemariti iako su u radu dani izrazi za proračun pokazatelja pouzdanosti za takve slučajeve. Po metodi minimalnog presjeka najprije se formira funkcionalni graf (graf po pouzdanosti) na osnovi jednopolne sheme električne mreže.

Funkcionalni graf sadrži:

— grane grafa
— nesigurne čvorove
— ostale (sigurne) čvorove.

Prekid grane grafa ekvivalentan je ispadu odgovarajuće komponente ili grupe komponenata u staroj mreži.

Ispad nesigurnog čvora ekvivalentan je ispadu grupe komponenata u stvarnoj mreži koje se sustječu u tom čvoru.

Na osnovi funkcionalnog grafa formira se posebnim algoritmom koji će biti objašnjen u poglavlju (5) matrica minimalnih putova, iz koje se mogu pretraživanjem stupaca te matrice odrediti minimalni presjeci za proizvoljno izabran čvor u mreži.

Matrica minimalnih putova ima oblik

$$[P]_{mxn0},$$

gdje je

m — broj minimalnih putova za čvor i

n_0 — broj komponenata u mreži.

Elementi matrice $[P]$ su:

$$a_{ik} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \text{ ako i-ti minimalni put sadrži k-tu komponentu ako nije slučaj.}$$

Matrica $[P]$ je formirana algoritmom i sadrži elemente 1 i 0. Na temelju matrice minimalnih putova može se formirati matrica minimalnih presjeka pretraživanjem stupca matrice $[P]$, Booleanovom logičkom operacijom zbrajanja »ili« jer se radi o događajima, a ne o običnim brojevima.

Ako se u matrici $[P]$ u jednom stupcu, primjerice j-tom stupcu, pojave jedinice na svim mjestima, to znači da kvar tog elementa prekida sve putove od izvornog čvora do potrošačkog čvora te on predstavlja minimalni presjek prvog reda. Učestalost kvara, neraspoloživost trajanje kvara tog j-tog elementa predstavljat će pokazatelje pouzdanosti prekida opskrbe izabranoga potrošačkog čvora.

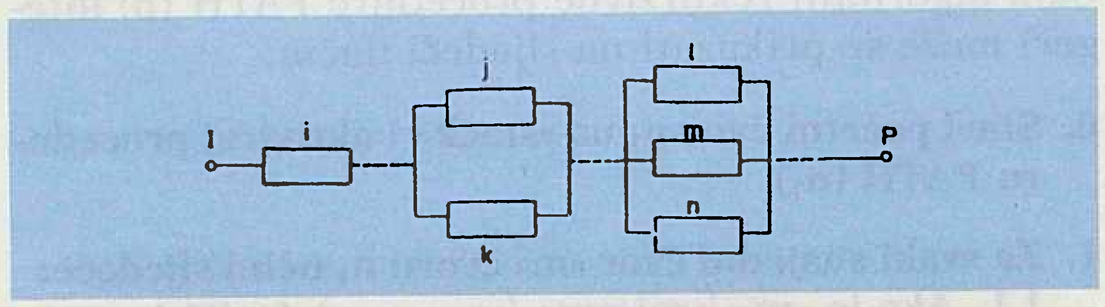
Ako se u matrici $[P]$ izvrši logičko zbrajanje elemenata prvog stupca sa drugim, trećim do n_0-tog, a zatim drugog stupca sa trećim, četvrtim do n_0-tog i tako redom te izvrši provjera dobiva li se nekim zbrojem stupaca jedinica u svim elementima, što znači da koincidencija kvarova ta dva elementa (primjerice j-tog i k-tog) dovodi do prekida opskrbe potrošačkog čvora. Komponente j i k čine minimalni presjek drugog reda.

Ako se u matrici $[P]$ provede logično zbrajanje prvog i drugog stupca s trećim, četvrtim do n_0-tog, zatim drugog i trećeg s četvrtim, petim do n_0-tog te obavi analiza dobiju li se nekim zbrojem jedinice u svim elementima tako dobivenog zbroja (primjerice l, m, uz n), tada koincidencija tih triju kvarova dovodi do prekida opskrbe potrošačkog čvora, a elementi l, m, n čine minimalni presjek trećeg reda.

Presjeci reda većeg od trećega zanemaruju se kao malo vjerojatni, pa se i sam presjek trećeg reda u nekim analizama može zanemariti.

Ovako formirana matrica minimalnih putova može se proširiti matricom višestrukih kvarova i kvarova zbog zajedničkog uzroka kvara.

Jednom određene minimalne presjeke možemo iskoristiti za proračun pokazatelja pouzdanosti opskrbe potrošačkog čvora električnom energijom. Serijskim spojem minimalnih presjeka dobit ćemo izraze za ukupnu učestalost, neraspoloživost i trajanje prekida opskrbe pojedinog čvora.



Slika 3. Serijski spoj minimalnih presjeka I, II i III reda

Ukupna učestalost prekida opskrbe električnom energijom potrošačkog čvora mreže u kojoj je nađeno n-minimalnih presjeka prvog reda, m-minimalnih presjeka drugog reda i l-minimalnih presjeka trećeg reda dana je izrazom

$$f_p = \sum_{i=1}^{n} f_i + \sum_{l,k=1}^{m} f_{j,k} + \sum_{r,s,t=1}^{l} f_{r,s,t} \,. \tag{19}$$

Učestalost prekida ima sljedeću strukturu s obzirom na vrstu minimalnog presjeka:

$$f_p = f_k + f_k'' + f_{an} + f_{ak}'', \tag{20}$$

gdje je

f_k — učestalost prekida zbog kvarova

$$f_k = \begin{cases} f_i & (1) \\ f_j\, N_k + f_k\, N_j & (2) \\ f_l\, N_m\, N_n + f_m\, N_l\, N_n + f_n\, N_l\, N_m & (3) \end{cases} \tag{21}$$

uz

(1) — učestalost kvara i-te komponente u presjeku prvog reda

(2) — učestalost koincidencije kvara j-te komponente na kvar k-te komponente i obrnuto, koje se nalaze u presjeku drugog reda

(3) — učestalost trostruke koincidencije komponenti l, m, n u presjeku trećeg reda

f_k'' — učestalost prekida zbog koincidencije kvara na remont

$$f_k'' = \begin{cases} f_j\, N_k'' + f_k\, N_j'' & (1) \\ N_l'' \left(f_m\, N_n \dfrac{r_l''}{r_l'' + r_n} + f_n\, N_m \dfrac{r_l''}{r_l'' + r_m} \right) + & \\ N_m'' \left(f_l\, N_n \dfrac{r_m''}{r_m'' + r_n} + f_n\, N_l \dfrac{r_m''}{r_m'' + r_l} \right) + & \\ N_n'' \left(f_l\, N_m \dfrac{r_n''}{r_n'' + r_m} + f_m\, N_l \dfrac{r_n''}{r_n'' + r_l} \right) & (2) \end{cases} \tag{22}$$

uz

(1) — učestalost koincidencije kvara j-te komponente na remont n-te komponente i obrnuto

(2) — učestalost trostruke koincidencije kvara dvije komponente na remont treće komponente

f_{ak} — učestalost prekida zbog koincidencije aktivnog kvara na kvar

$$f_{ak} = f_{aj}\, N_k + f_k\, N_{akj} \tag{23}$$

f_{ak}'' — učestalost prekida zbog koincidencije aktivnog kvara na remont

$$f_{ak}'' = f_{aj}\, N_k'' \,. \tag{24}$$

Ukupna neraspoloživost (vjerojatnost) zbog prekida opskrbe potrošačkog čvora mreže koja ima n-presjeka prvog reda, m-presjeka drugog reda i l-presjeka trećeg reda dana je izrazom

$$N_p = \sum_{i=1}^{n} N_i + \sum_{j,k=1}^{m} N_{j,k} + \sum_{r,s,t=1}^{l} N_{r,s,t} \,. \tag{25}$$

Ukupna neraspoloživost sastoji se od sljedećih komponenti:

$$N = N_k + N_k'' + N_{ak} + N_{ak}'', \tag{26}$$

gdje je

N_k — neraspoloživost uslijed kvarova

$$N_k = \begin{cases} N_i & (1) \\ N_j\, N_k & (2) \\ N_l\, N_m\, N_n & (3) \end{cases} \tag{27}$$

uz

(1) neraspoloživost i-te komponente u minimalnom presjeku prvog reda

(2) neraspoloživost zbog koincidencije kvarova i-te i j-te komponente u presjeku drugog reda

(3) neraspoloživost zbog koincidencije kvarova u presjeku trećeg reda

N_k'' — neraspoloživost zbog koincidencije kvara i remonta

$$N_k'' = \begin{cases} N_j\, N_k'' \dfrac{r_k''}{r_j'' + r_k''} + N_k\, N_j'' \dfrac{r_j''}{r_k'' + r_j''} & (1) \\ N_l'' \, \overline{\ \ }_{mn} + N_l \, \overline{\ \ }_{mn}'' + N_l'' \, \overline{\ \ }_{mn}'' & (2) \end{cases} \tag{28}$$

uz

(1) za dvostruku koincidenciju

(2) za trostruku koincidenciju

N_{ak} — neraspoloživost zbog koincidencije aktivnog kvara na kvar

$$N_{ak} = N_{aj}\, N_k \tag{29}$$

N_{ak}'' — neraspoloživost zbog koincidencije aktivnog kvara na remont

$$N_{ak}'' = N_{aj}\, N_k'' \frac{r_k''}{r_{aj} + r_k''} + N_{ak}\, N_j'' \frac{r_j''}{r_{ak} + r_j''}, \tag{30}$$

Ukupno trajanje prekida opskrbe možemo izračunati na temelju izraza

$$r_p = \frac{N_p}{f_p}, \tag{31}$$

Izrazi za učestalost i vjerojatnost prekida opskrbe potrošačkog čvora električnom energijom koristit će se pri izradi algoritma za računalo MICRO VAX 3100 i PC IBM.

5. PROGRAM ZA RAČUNALO

5.1. Programski algoritam

U ovom poglavlju prikazan je efikasan algoritam za proračun pokazatelja pouzdanosti opskrbe potrošačkih čvorova elektroenergetske mreže proizvoljne konfiguracije. Mreža može imati proizvoljan broj ulaznih (izvornih) i izlaznih (potrošačkih) čvorova. Minimalni presjeci izračunavaju se za svaki od izlaznih čvorova iz samo jednog opisa topologije mreže. Svaka grana mreže se može prikazati parom čvorova kao istosmjerna (i,j) i kao dvosmjerna (i,j) i (j,i) glede smjera električne energije.

Čvorovi u mreži mogu biti potpuno pouzdani, ali se mogu prikazati i kao nepouzdani čvorovi sa svojim pokazateljima pouzdanosti i raspoloživosti.

Svaka grana mreže ima određeni broj serijski spojenih komponenti. Komponenta se definira sa svojim rednim brojem, početnim i krajnjim čvorovima grane u kojoj se nalazi, intenzitetom kvara, srednjim vremenom trajanja popravka, intenzitetom remonta i srednjim vremenom trajanja remonta.

Ulazna datoteka sadrži:

- broj grana funkcionalnog grafa »NBRANCH« = n_g
- matricu »GRAPH« = $[i,j]_{ng*2}$ kojom definiramo topologiju funkcionalnog grafa
- broj izlaznih čvorova funkcionalnog grafa »OUTNODES« = n_i
- listu izlaznih čvorova i = 1...n_i
- broj ulaznih čvorova funkcionalnog grafa »INNODES« = n_u
- listu ulaznih čvorova i = 1...n_u
- ukupan broj elemenata u funkcionalnom grafu »NDEV«
- za svaki element zadaje se njegovo mjesto između čvorova u grafu i četiri podatka za intenzitet kvarova, srednje vrijeme popravka, intenzitet remonta i srednje vrijeme trajanja remonta
- broj ovisnih kvarova »NFAIL«
- ako postoji ograničenje u popravku, stavlja se broj 1, a ako ne postoji, stavlja se broj 0
- trajanje početnog uklopnog stanja
- za svaki ovisni kvar zadaje se njegov intenzitet, srednje vrijeme trajanja, lista elemenata koji se isključuju
- broj uklopnih stanja mreže »NSWITCH«
- za svako uklopno stanje zadaje se lista elemenata koji se isključuju (prekidači ili rastavljači) i trajanje uklopnog stanja.

Program je napisan u programskom jeziku Turbo Pascal i instaliran na računalu MICRO VAX 3100 gdje može obaviti izračunavanje i za velike mreže do nekoliko stotina grana i elemenata mreže.

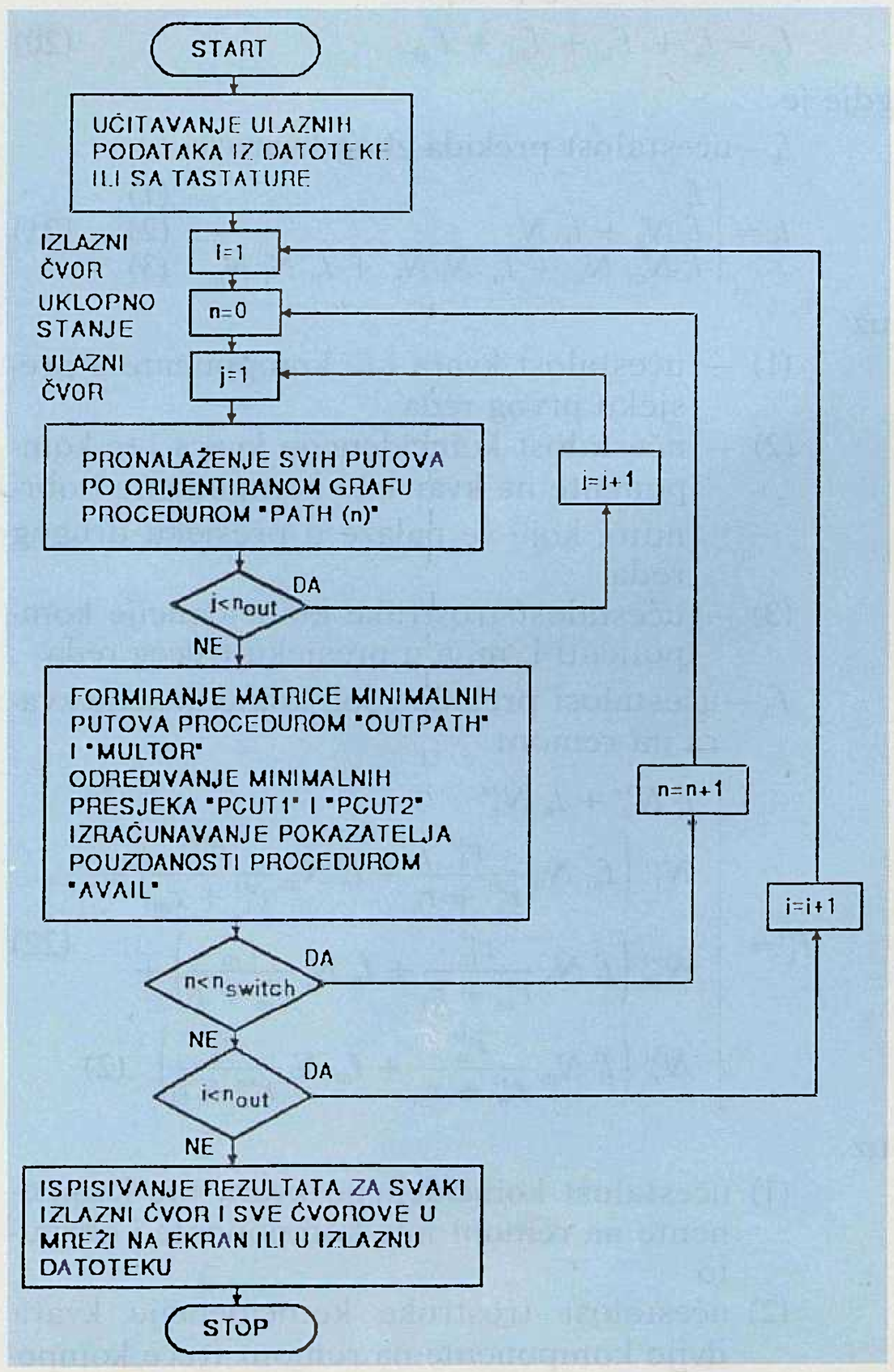
Temelj na kojem se razvio cijeli program je procedura PATH (n: integer). Procedura je rekurzivna i njome se određuju svi putovi iz ulaznog čvora n_1 do izlaznog čvora n_2. Algoritam je vrlo brz i jednostavan i pokazuje svu prednost rekurzija. Počinje od ulaznog čvora i nalazi njegove susjedne čvorove. Pod susjednim čvorom razumijevamo onaj čvor do kojeg se dolazi jednom granom. Taj se proces ponavlja u svakom susjednom čvoru. Ne uzimaju se u obzir čvorovi koji su već na putu i time elimininiraju petlje. Put do izlaznog čvora n_{out} je nađen kada se dođe do čvora kojem je n_{out} susjed. Tada program poziva proceduru OUTPATH koja bilježi taj put u matricu minimalnih putova. Na kraju se procedurom MULTOR unose podaci o ovisnim kvarovima u istu matricu.
Sam algoritam rekurzivne procedure PATH (n: integer) može se prikazati na sljedeći način:

0. Stavi početni čvor n_1 na »stack« i aktiviraj proceduru PATH (n_1)

1. Za svaki susjedni čvor »m« čvoru n_1 učini sljedeće:
- **1.1. Ako je »m« kraj puta (m = n_{out}), ispiši čvorove na putu i te čvorove stavi na stack**
- **1.2. Ako »m« nije kraj puta i ako »m« nije na stacku, učini sljedeće**
  - **1.2.1. Stavi čvor »m« na stack**
  - **1.2.2. Aktiviraj rekurzivnu proceduru PATH (m)**
- **1.3. Skini čvor »m« sa stacka.**

2. Vrati se u pozivajuću proceduru

Tijekom rekurzivne procedure traženja minimalnih putova koristi se funkcija OPENSWITCH (n;

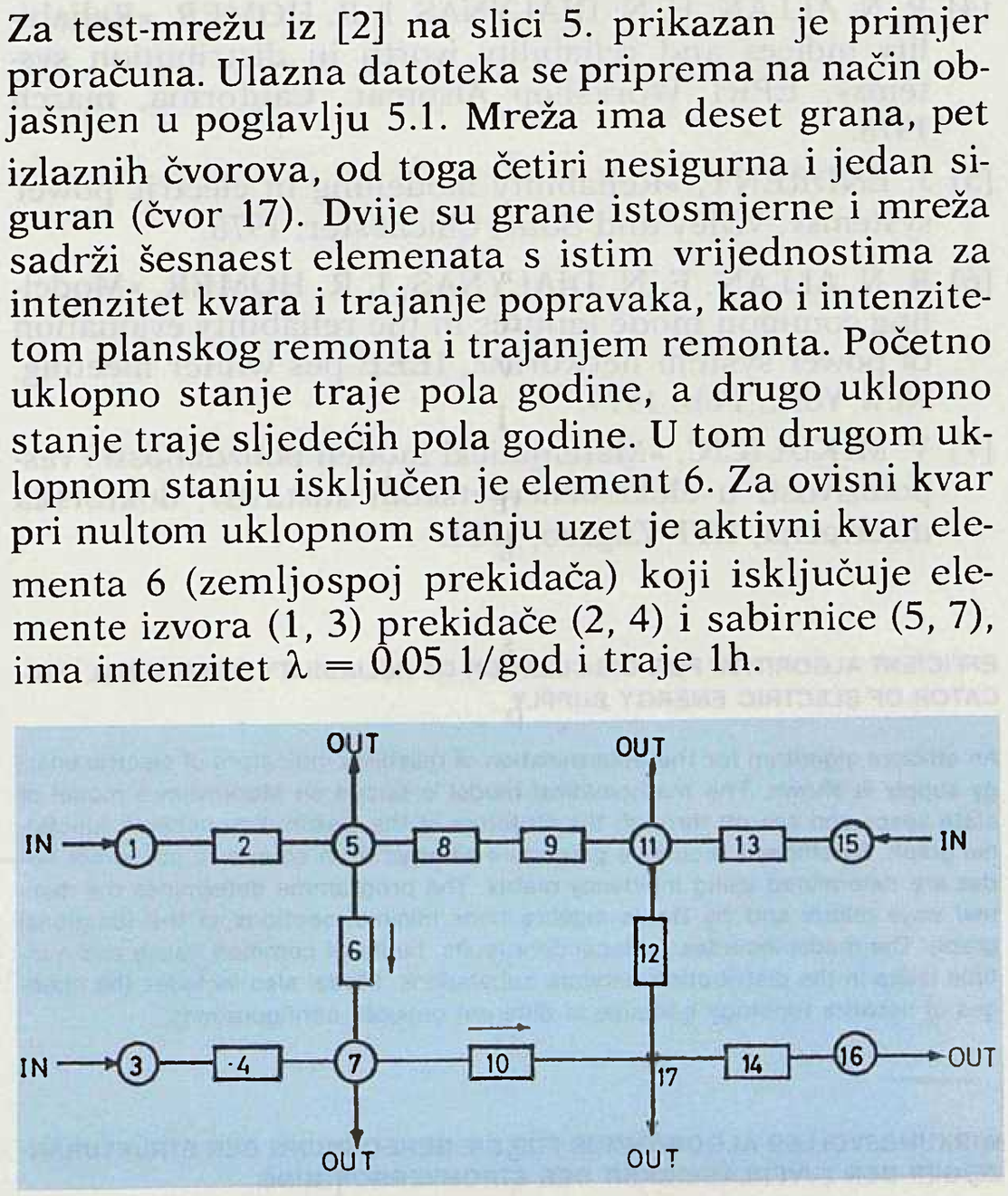


Slika 4. Dijagram toka programa »MINCUT«

j) koja dopušta nastavak procedure samo ako u nađenoj grani koja izlazi iz čvora n i ulazi u čvor j ne postoji otvoreni prekidač. Ako je u grani otvoreni element (prekidač, rastavljač), grana se ne uzima u obzir. Na slici 4. prikazan je blok-dijagram tijeka programa »MINCUT«.

5.2. Primjer proračuna za test-mrežu

Za test-mrežu iz [2] na slici 5. prikazan je primjer proračuna. Ulazna datoteka se priprema na način objašnjen u poglavlju 5.1. Mreža ima deset grana, pet izlaznih čvorova, od toga četiri nesigurna i jedan siguran (čvor 17). Dvije su grane istosmjerne i mreža sadrži šesnaest elemenata s istim vrijednostima za intenzitet kvara i trajanje popravaka, kao i intenzitetom planskog remonta i trajanjem remonta. Početno uklopno stanje traje pola godine, a drugo uklopno stanje traje sljedećih pola godine. U tom drugom uklopnom stanju isključen je element 6. Za ovisni kvar pri nultom uklopnom stanju uzet je aktivni kvar elementa 6 (zemljospoj prekidača) koji isključuje elemente izvora (1, 3) prekidače (2, 4) i sabirnice (5, 7), ima intenzitet $\lambda = 0.05$ 1/god i traje 1h.



Slika 5. Shema test-mreže

Izlazna datoteka prikazuje nam osnovne podatke o mreži i daje listu čvorova kroz koje prolaze putovi od izvornih do potrošačkih čvorova. Može nam prikazati i matricu minimalnih putova za manje mreže. Rezultati nam daju listu elemenata u presjeku prvog reda i listu svih koincidencija kvarova elemenata u presjeku drugog reda uključujući i ovisne kvarove (Ak6). Za svaki izlazni čvor izračunata je frekvencija prekida, vjerojatnost prekida, srednje vrijeme trajanja jednog prekida i godišnje trajanje prekida za sva uklopna stanja, kao i za mrežu u cijelosti.

Ulazna datoteka ALLAN.DAT ima oblik:

```
10 grana
1 5
5 7
3 7
5 11
11 5
7 17
17 11
11 17
15 11
17 16
5 izlaznih čvorova
5
7
11
16
17
3 ulazna čvora
1
3
15
16 elemenata
1 1 0 0.1 8 1 4
2 15 0.1 8 1 4
3 3 0 0.1 8 1 4
4 3 7 0.1 8 1 4
5 5 0 0.1 8 1 4
6 5 7 0.05 8 1 4
7 7 0 0.1 8 1 4
8 5 11 0.1 8 1 4
9 5 11 0.1 8 1 4
10 7 17 0.1 8 1 4
11 11 0 0.1 8 1 4
12 11 17 0.1 8 1 4
13 11 15 0.1 8 1 4
14 16 17 0.1 8 1 4
15 15 0 0.1 8 1 4
16 16 0 0.1 8 1 4
1 1 4380 Ovisni kvar, ograničenja u popravcima ima trajanje
tau(0) = 4380
ak6 0.05 1 6 2 3 4 5 7 0
1
6 0 4380 Uklopno stanje 1: Otvoren prekidač 6 i traje 4 380
sati
```

Izlazna datoteka ALLAN.REZ ima oblik:

```
Broj grana: 10
Broj izlaznih čvorova: 5 Čvorovi: 5 7 11 16 17
Broj ulaznih čvorova: 3 Čvorovi: 1 3 15

REZULTATI PRORAČUNA ZA IZLAZNI ČVOR 5
UKLOPNO STANJE 0
Put 1 ide kroz čvorove:
1 5
Put 2 ide kroz čvorove:
3 7 17 11 5
Put 3 ide kroz čvorove:
15 11 5
Broj putova od ulaznih čvorova 1 3 15 do izlaznog čvora 5 je
3
Elementi (2) u rezu 1 su:
5,ak6
Elementi (6) u rezu 2 su:
(1, 8) (1, 9) (1, 11) (2, 8) (2, 9) (2, 11)

Frekvencija prekida:        0.150 6575 1/god.
Vjerojatnost prekida:       0.000 0486
Srednje trajanje prekida:   2.828 7264 h
Godišnje trajanje prekida:  0.426 1689 h/god.

REZULTATI PRORAČUNA ZA IZLAZNI ČVOR 5
UKLOPNO STANJE 1
Put 1 ide kroz čvorove:
1 5
Put 2 ide kroz čvorove:
3 7 17 11 5
Put 3 ide kroz čvorove:
15 11 5
Broj putova od ulaznih čvorova 1 3 15 do izlaznog čvora 5 je
3
Elementi (1) u rezu 1 su:
5
Elementi (6) u rezu 2 su:
(1, 8) (1, 9) (1, 11) (2, 8) (2, 9) (2, 11)
```

Frekvencija prekida:	0.100 6575 1/god.
Vjerojatnost prekida:	0.000 0458
Srednje trajanje prekida:	3.985 4836 h
Godišnje trajanje prekida:	0.401 1689 h/god.

ZAKLJUČAK

Analiza pouzdanosti elektroenergetskog sustava predstavlja vrlo složen i težak zadatak i u cijelosti se malokad može obaviti za cijeli sustav. Stoga se EES dijeli u podsustave čiju je pouzdanost i raspoloživost lakše odrediti.

U ovom radu je pozornost pridana razdjelnoj (distributivnoj) mreži koja je uzrok preko 90% kvarova koji dovode do prekida opskrbe električnom energijom.

Matematički modeli pouzdanosti komponente prikazani su u radu korištenjem Markovljevih procesa, uzimajući realno moguća stanja svake komponente (kvar, popravak, planski remont, isključenje).

Polazeći od pokazatelja pouzdanosti komponente i poznate strukture razdjelne mreže, model određuje pokazatelje pouzdanosti pojedinih potrošačkih čvorova i mreže u cjelini. Modelom je razvijena procedura za pronalaženje minimalnih putova i presjeka funkcionalnog grafa razdjelne mreže, efikasnim rekurzivnim algoritmom.

Algoritam je proširen modelom ovisnih kvarova koji obuhvaćaju grupu kvarova sa zajedničkim uzrokom i višestruke kvarove u postrojenju koje uzrokuju otkazi prekidača (zemljospoj prekidača, kvar štićene komponente i otkaz pri djelovanju prekidača, te različite koincidencije tih događaja s planiranim remontom drugih elemenata u postrojenju).

Model se koristi teorijom grafova, Booleanovom algebrom događaja, a potrebno je poznavati teoriju vjerojatnosti matematičku statistiku glede proračuna ulaznih pokazatelja pouzdanosti za svaku komponentu.

Za veće mreže, od nekoliko stotina grana, koristi se program na računalu Micro VAX 3100 napisan u Turbo Pascalu.

Modelom je obuhvaćena promjena topologije mreže koja se zadaje listom isključenih elemenata (prekidača, rastavljača) za svako uklopno stanje i trajanje toga stanja. Time je omogućen realan prikaz same distributivne mreže.

LITERATURA

[1] M. S. GROVER, »A computerized approach to substation and switching station reliability evaluation«, IEEE pes winter meeting, New York, Jan. 1974.

[2] R. N. ALLAN, R. BILLINTON, M. F. DE OLIVIERA, »An efficient algorithm for deducing the minimal cuts and reliability indices of a general network configuration«, IEEE Trans. on reliability, vol. R-25, no. 4, October 1976.

[3] R. N. ALLAN, E. N. DIALYNAS, I. R. HOMER, »Partial loss of continuity and transfer capacity in the reliability evaluation of power system networks«, PSCC G. Seeheim, West Germany, 1978.

[4] R. N. ALLAN, E. N. DIALYNAS, I. R. HOMER, »Reliability indices and reliability worth in distribution systems«, EPRI Workshop Alsomar, California, march 1978.

[5] J. ENDRENY, »Reliability modelling in electric power systems«, Wiley and Sons, Chichester, 1978.

[6] R. N. ALLAN, E. N. DIALYNAS, I. R. HOMER, »Modelling common mode failures in the reliability evaluation of power system networks«, IEEE pes winter meeting, New York, Feb. 1979.

[7] V. MIKULIČIĆ, »Matematički modeli pouzdanosti i raspoloživosti u elektroenergetskom sustavu«, doktorska disertacija, ETF Zagreb, 1981.

EFFICIENT ALGORITHM FOR CALCULATION OF RELIABILITY STRUCTURAL INDICATOR OF ELECTRIC ENERGY SUPPLY

An efficient algorithm for the determination of reliability indicators of electric energy supply is shown. The mathematical model is based on Markovljev's model of state space and search through the structure of the distribution network functional graph. By efficient recursive procedure all ways from source to consumer nodes are determined using incidency matrix. The programme determines the minimal ways matrix and by Boole algebra finds minimal sections of the functional graph. The model includes: independent faults, faults of common cause and multiple faults in the distribution network substations. Model also includes the changes of network topology because of different network configurations.

WIRKUNGSVOLLER ALGORITHMUS FÜR DIE BERECHNUNG DER STRUKTURANZEIGER DER ZUVERLÄSSIGKEIT DER STROMVERSORGUNG

Hier wird ein wirkungsvoller Algorithmus für die Bestimmung der Anzeiger für die Zuverlässigkeit und Stromversorgung geschildert. Das mathematische Modell gründet auf dem Modell von Markovljev — Modell des Raumes und Zustandes und der Untersuchung der Struktur des funktionellen Graphs des Verteilungsnetzes. Durch eine wirkungsvolle rekursive Prozedur werden alle Wege von dem Quellen und Verbraucherknoten durch die Nutzung der Indizienmatriz bestimmt. Das Programm formiert die Matrize der minimalen Wege und die Algebra von Boole findet minimale Durchschnitte des funktionalen Graphs. Im Modell werden unabhängige Schäden umfasst, Schäden wegen gemeinsamer Ursachen und vielfältigere Schäden in den Verteilungsnetzanlagen. Das Modell umfasst auch die Veränderung der Netztopologie wegen verschiedener Einschaltungszustände des Netzes.

Naslov pisaca:

Mr. Srete Nikolovski, dipl. ing.
Mr. Darko Fischer, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet Osijek,
54000 Osijek, Istarska 3,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993 – 08 – 05.

KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI TEHNOLOŠKIH RIZIKA

Mr. Dejan Škanata, Zagreb

UDK 577.4:620.9
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Naglašeno je značenje kategorije tehnološkog rizika i njegova uloga u području zaštite zdravlja ljudi i zaštite okoliša. Načinjena je općenita kategorizacija ekoloških rizika, a zatim i karakterizacija tehnoloških rizika, i to s obzirom na pet međusobno ovisnih varijabli. Analizirani su kvantitativni kriteriji prihvatljivosti tehnoloških rizika koji se primjenjuju u nekim razvijenim europskim državama. U zaključku je dan prijedlog tih kriterija razvijenih u okviru aktivnosti koje se provode na realizaciji projekta »Procjena rizika i mogućnosti smanjenja opasnosti za ljudsko zdravlje i okoliš od energetskih i drugih kompleksnih gospodarskih sustava na području grada Zagreba« (Case Study Zagreb Project), za koje se pretpostavlja da odgovaraju strukturi i relativnoj starosti industrijskih postrojenja koja su izgrađena u gradu Zagrebu.

Ključne riječi: rizik, tehnološki rizik, kriterij prihvatljivosti rizika.

1. UVOD

Suvremeno industrijsko društvo naučilo je da se tehnološka korist, odnosno razvoj civilizacije mora platiti. I to ne samo novcem. Svjedoci smo tehnološkog razvitka koji nam umnogome olakšava život, ali nas također izlaže i novim strahovima, nepovjerenju u mogućnost kontrole tih kompleksnih tehnologija i permanentnom pristajanju, dobrovoljnom ili nedobrovoljnom, na sve veći broj opasnosti. S jedne strane javlja se, dakle, tehnološki prosperitet, ekonomska dobit i utrka za profitom, a s druge aktivnosti i pokreti javnosti koji sve češće i sve glasnije upozoravaju kako se plaća suviše visoka cijena, a to je zagađenje okoliša. Briga društva za zaštitom zdravlja ljudi i zaštitom okoliša postaje sve izraženija. Ona se, između ostaloga, ogleda i u postojanju sve većeg broja kako vladinih tako i nevladinih, kao i međunarodnih organizacija i institucija koje, svaka na svoj način, u prvome redu pokušavaju afirmirati koncept održivog razvoja.

Ilustracije radi u tablici 1. prikazane su srednje vrijednosti samo za neke rizike kojima se stanovnik Zapadne Europe dobrovoljno izlaže. Rizici su izraženi kao broj smrtnih slučajeva godišnje, tj. broj smrtnih slučajeva na milijun stanovnika i odnosi se na dio populacije koji se svojom voljom izlaže takvim rizicima. U tablici 2. prikazane su srednje vrijednosti za neke rizike kojima se populacija Zapadne Europe izlaže neovisno o njihovoj volji (nedobrovoljno pristajanje na rizik). Prezentirane srednje vrijednosti odnose se na pojedinca iz ukupne populacije Zapadne Europe. Podaci prezentirani u ovim tablicama preuzeti su iz [3].

Vožnja automobilom, let avionom, život pored potencijalno rizične situacije, pa konačno i samosvjesni izbor »ulaska u rizik« odlike su vremena u kojem živimo. Kao takav, rizik postaje referentni, sveprisutni okvir svakidašnjice. Život u okvirima rizika postaje nešto što je samorazumljivo, neupitno i neproblematično. Međutim, neke situacije rizičnije su od drugih, neke se mogu izbjeći s više ili manje uspješnosti, a u neke se svjesno ne mora ulaziti. Rizične situacije koje su inherentne suvremenim tehnologijama, kao i negativan publicitet koji one dobivaju u sredstavima javnog priopćavanja, stavili su u središte istraživač-

Tablica 1. Srednje vrijednosti za neke dobrovoljne rizike pučanstva Zapadne Europe

Vrsta opasnosti	Rizik [Br. smrtnih sluč./god.]	Rizik [Br. smrtnih sluč. na milijun stanovnika]
pušenje 20 cigareta dnevno (svi efekti)	5×10^{-3}	5 000
vožnja motorom	1×10^{-3}	1 000
uživanje alkohola	4×10^{-4}	400
vožnja automobilom	$1{,}5 \times 10^{-4}$	150
vožnja vlakom	3×10^{-5}	30
let avionom	1×10^{-5}	10

Tablica 2. Srednje vrijednosti za neke nedobrovoljne razlike pučanstva Zapadne Europe

Vrsta opasnosti	Rizik [Br. smrtnih sluč./god.]	Rizik [Br. smrtnih sluč. na milijun stanovnika]
rak (svi izvori)	2×10^{-3}	2 000
nezgode u stanu (kući)	1×10^{-4}	100
izlazak u šetnju	3×10^{-5}	30
vremenske nepogode (uključivo poplave)	2×10^{-7}	0,2
udar groma	1×10^{-7}	0,1

kog interesa pitanje »Koliko sigurno je dovoljno sigurno?« a time i prihvatljivije. Pokušaji da se odgovori na postavljeno pitanje stvorili su novu disciplinu — procjenu rizika (Risk Assessment) — koja nastoji objediniti gospodarske, psihosocijalne i druge implikacije razvitka tehnologije, kao i njihovu ekonomsku dobit i troškove.

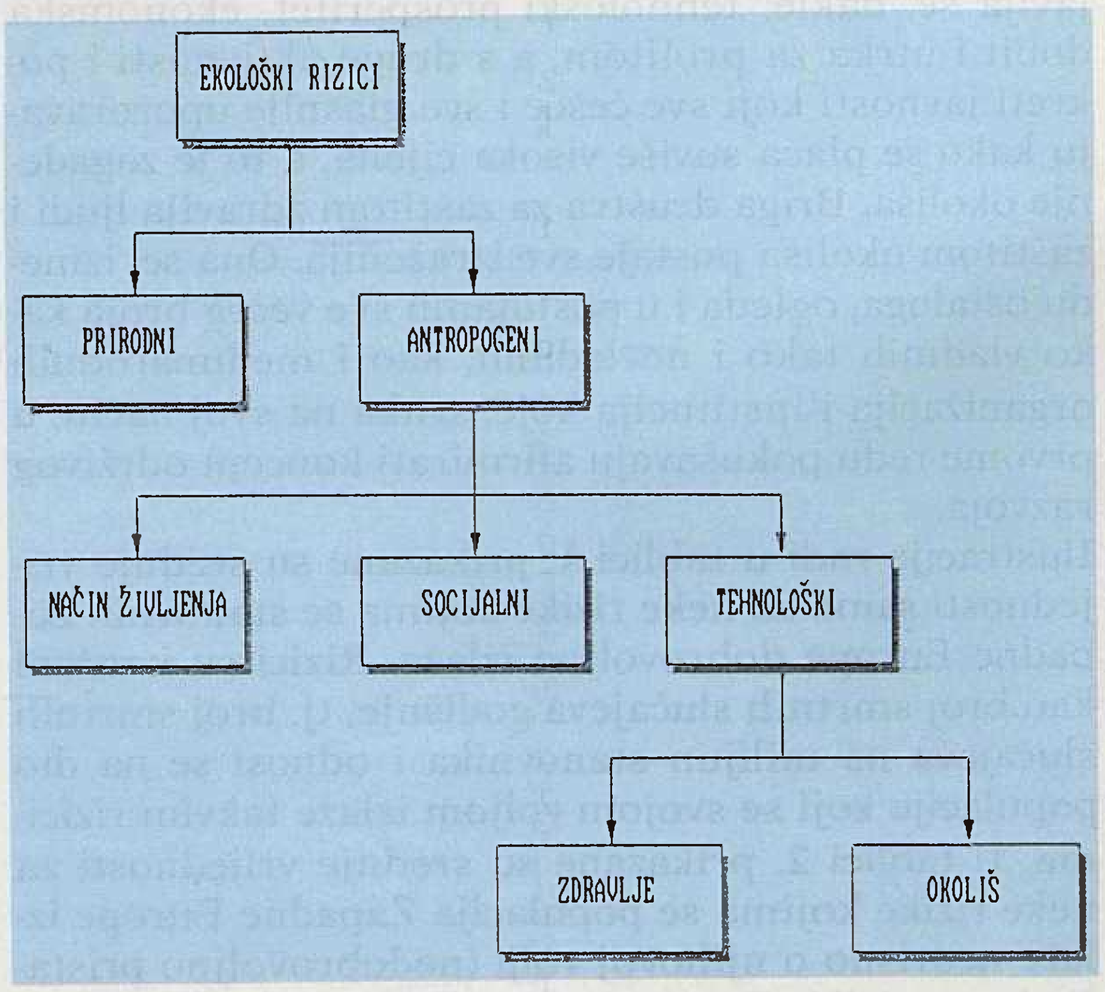
Koji stupanj rizika je određeno društvo spremno prihvatiti? Koji stupanj ono treba prihvatiti? Pitanja su to što se danas nalaze u žarištu interesa ne samo stručnjaka koji se bave zaštitom zdravlja ljudi i zaštitom okoliša. Istraživanjima u tom području došlo se do relativno jednostavnog odnosa: što su kriteriji za utvrđivanje prihvatljivog stupnja rizika viši (time se osigurava viša kvaliteta življenja i viša kvaliteta okoliša), to je potrebnije uložiti veću svotu financijskih sredstava. Dakako, odnos se može postaviti i u obrnutom smislu: što su kriteriji niži (ukupni rizik je viši), utoliko su i troškovi koje je potrebno snositi da bi se zadovoljili niži kriteriji kvalitete življenja i okoliša niži. Budući da je kategorija apsolutne sigurnosti sama po sebi nedostižna, očito je kako je potrebno razmotriti i usvojiti koncepte za određivanje odnosa između rizika i troškova njihove redukcije, odnosno koncepte za njihovo minimiziranje. Važno bi stoga, prije svega, bilo izdvojiti i sistematizirati barem glavne izvore ekoloških rizika inherentnih vremena u kojem živimo i na temelju toga načiniti njihovu klasifikaciju, definirati vrste tehnoloških rizika koji se pri tome javljaju i okarakterizirati ih.

2. KLASIFIKACIJA EKOLOŠKIH RIZIKA

U različitim analizama i istraživanjima opasnosti za ljudsko zdravlje i okoliš postoji poprilična teminološka nedosljednost. Tako se pojmovi kao što su opasnost, hazard, rizik i katastrofa ponekad pojavljuju kao sinonimi, a ponekad su istraživači skloni među njima nalaziti veću ili manju razliku. U skladu s time postoji srazmjerno veliki broj definicija termina rizik[1]. Međutim, svim definicijama je zajedničko to da povezuju vjerojatnost neželjenog događaja i moguće posljedice za zdravlje ljudi i okoliš koje neželjeni događaj, ako se pojavi, može izazvati. Sve ostalo u tim definicijama proizvod je subjektivizma u lingvističkoj formulaciji termina. Za razmatranja primjerena razini koja će se primijeniti u ovom radu, prihvatit će se jedna od najopćenitijih definicija prema kojoj rizik predstavlja kompozitnu mjeru vjerojatnosti pojave nekog neželjenog događaja i intenziteta nepoželjnih posljedica koje takav događaj može uzrokovati. U matematičkim postupcima za analizu, proračun i procjenu rizika ta kompozitnost, tj. relacija između vjerojatnosti i posljedica, najčešće se interpretira kao matematički produkt.

U ovisnosti o vrsti izvora koji ih generiraju, ekološki se rizici mogu podijeliti na rizike uzrokovane prirodnim nepogodama (potres, poplava, erupcija vulkana, oluja, pad meteorita) i rizike generirane čovjekovim djelovanjem, tj. rizike antropogenog porijekla. Ne ulazeći dublje u analizu rizika uzrokovanih prirodnim nepogodama, tj. prirodne rizike, može se konstatirati kako su prirodne nepogodne kao takve, odnosno učestalost njihove pojave, u potpunosti izvan čovjekove kontrole. Međutim, sposobnost predviđanja prirodnih nepogoda kao i sposobnost preventivnog i palijativnog djelovanja omogućuju čovjeku provedbu takvih akcija kojima se mogu bitno ublažiti neželjene posljedice (evakuacija pučanstva, izgradnja nasipa za zaštitu od poplava, antiseizmička gradnja i sl.), a time i smanjenje stupnja prirodnih rizika.

Rizici koji su rezultat čovjekovih aktivnosti općenito se, s obzirom na izvore koji ih generiraju, mogu podijeliti na rizike koji imaju odraza na fizičko stanje čovjekova organizma i koji su uglavnom uzrokovani mjestom stanovanja, te načinom i kulturom življenja (različite bolesti, bolesti u starijoj dobi, genetske mutacije i bolesti uzrokovane prirodnim ionizirajućim zračenjem, slaba prehrana, trovanja, nezgode u mjestu stanovanja i dr.), rizike uzrokovane socijalnim nemirima (rat, terorizam, kriminal) i rizike uzrokovane razinom gospodarskog razvitka nekog područja (industrijalizacija, promet, urbanizacija i dr.). Ti posljednji nazivaju se tehnološkim rizicima i predmet su razmatranja u ovom radu. Na slici 1. upravo je dan shematski prikaz na ovaj način provedene klasifikacije rizika.



Slika 1. Klasifikacija ekoloških rizika

3. KARAKTERIZACIJA TEHNOLOŠKIH RIZIKA

Svojom djelatnošću čovjek mijenja i prilagođava okoliš svojim potrebama. Industrijalizacijom, urbanizacijom, izgradnjom infrastrukture, razvojem agrara, zapravo svekolikim gospodarskim razvitkom

[1] Na ovom mjestu navode se samo neke od definicija termina rizik koje se mogu susresti u referencama navedenim u poglavlju 6.:1) Rizik je skup mogućih negativnih posljedica neke aktivnosti i vjerojatnosti njihove pojave. 2) Rizik je kombinacija vjerojatnosti pojave nekog nepovoljnog dogadaja i njegovih mogućih posljedica. 3) Rizik predstavlja moguće neželjene posljedice naših aktivnosti povezane s vjerojatnosti da će se zaista i dogoditi. 4) Rizik se definira kao relacija izmedu neželjenih posljedica koje rezultiraju iz pojedinačnih aktivnosti i vjerojatnosti da će se one zaista i dogoditi.

čovjek stvara bolje uvjete za svoju dobrobit i blagostanje, ali istovremeno nepovratno utječe na promjenu okoliša. Zaštita okoliša stoga postaje imperativom današnjice. Zato je sasvim razumljivo što je jedan od osnovnih zahtjeva koje postavljaju legislative iz područja zaštite okoliša u razvijenim zemljama taj da je prije izgradnje bilo kakvog tehnološkog objekta potrebno detaljno analizirati njegov utjecaj na lokalni okoliš. Takve se analize sve više temelje na procjeni i analizi dviju vrsta rizika koje takav objekt može generirati: rizik za zdravlje profesionalnog osoblja i okolnog pučanstva i rizik za okoliš (ekosustav).[2] Ne samo to. Stratezi i planeri gospodarskog razvitka nekog područja sve više svoje odluke donose na bazi integralne (cjelovite) procjene tehnoloških rizika koje sa sobom nosi gospodarski razvitak. Minimiziranje tih i takvih rizika zajedno s evaluacijom ekonomske koristi i cijene, tj. troškova koje ti rizici potencijalno nose, postaju osnovne strateške smjernice gospodarskog razvitka područja o kome se radi.

Ovako naglašeno značenje koje kategorija rizika ima u zaštiti okoliša stvorilo je potrebu da bi se izdvojili i sistematizirali barem glavni izvori tehnoloških rizika današnjice, definirale i sustavno okarakterizirale vrste relevantnih tehnoloških rizika. Tako postoje različiti koncepti i pristupi karakterizaciji tehnoloških rizika. Oni se međusobno razlikuju od istraživača do istraživača i ovise svakako o njihovu subjektivnom poimanju problema i značenju koje pridaju pojedinim značajkama i vrstama rizika. Koncept karakterizacije koji se elaborira u nastavku upravo je jedan takav pokušaj.

Oba rizika, rizik za zdravlje ljudi i rizik za okoliš, mogu se kvalificirati s obzirom na pet međusobno ovisnih varijabli. To su: izvor rizika, prostorna varijabla, struktura, tj. broj ljudi za koji se rizik procjenjuje, zatim vremenska varijabla, te vrsta nepoželjnih posljedica, tj. učinak, u prvom redu na zdravlje ljudi.

Tablica 3. Karakterizacija tehnoloških rizika

Karakteristike	Vrste rizika
1. Izvor	1. Normalni (rutinski) pogon; nezgode
2. Prostorna varijabla	1. Lokalni; regionalni; fluvijalni, kontinentalni; globalni
3. Struktura pučanstva (broj ljudi)	1. radno osoblje; okolno pučanstvo 2. individualni rizik; grupni rizik
4. Vremenska varijabla	1. kratkotrajni; srednjotrajni; dugotrajni
5. Vrsta posljedica	1. fatalni; nefatalni 2. neposredno (akutno); s vremenskim kašnjenjem (kronično)

[2] Pojam okoliš (ekosustav) u ovom se kontekstu definira kao ukupnost materijalnoga i živoga svijeta kojega je čovjek sastavni dio. Rizik za okoliš predstavlja godišnju vjerojatnost da će ekosustav određenog područja pretrpjeti stanovita pogoršanja zbog izloženosti nepovoljnom utjecaju određenog agensa.

Koncept karakterizacije koji se temelji na ovakvoj podjeli i koji kao takav predstavlja zaokruženu cjelinu predočen je u tablici 3.

Kada se govori o izvorima opasnosti, mnogi istraživači dijele tehnološke rizike na rizike štetnoga djelovanja zbog određenih čovjekovih aktivnosti (npr. promet, rizik od ozljede na radu i sl.), rizik otrovnosti (štetno djelovanje otrovnih tvari) i radijacijski rizik. Međutim, promatrano s aspekta tehnološkog objekta, čiji se utjecaj na zdravlje ljudi i okoliš želi analizirati, kao generatora opasnosti, razmatraju se rizici vezani za normalni (rutinski) pogon i rizici nezgoda (akcidentalne situacije). Rizici normalnog (rutinskog) pogona karakteriziraju se procjenom individualnog rizika, vremenski su prisutni kao dugotrajni (vežu se za životni vijek tehnološkog objekta o kojemu je riječ, Lifetime Risk), a iskazuju se kao fatalni kada se govori o riziku da će pojedinac smrtno stradati, ili pak nefatalni ako se pokušava procijeniti rizik za određenu bolest. Opasnosti normalnog pogona tehnološkog objekta očekivane su, ali su njihovi učinci više ili manje stohastičke naravi. Rizici vezani za takve opasnosti izuzetno su mali za pojedinca, ali budući je broj izloženih razmjerno velik i s obzirom na dugotrajnu izloženost, ukupni rizici koji slijede iz normalnog pogona mogu biti značajni. Opasnosti koje se pojavljuju u slučaju ozbiljnih nezgoda procjenjuju se proračunom grupnog rizika. Posljedice takvih događaja obično su ograničene na uže (lokalno) područje, makar nije malo primjera u kojima su nezgode na različitim tehnološkim objektima izazvale ozbiljne posljedice na zdravlje ljudi i okoliš na regionalnoj ili pak kontinentalnoj razini, ali su za izloženu grupu ili sam okoliš višestruko veće. Ti su rizici vremenski prisutni uglavnom kao kratkotrajni, iskazuju se kao fatalni (broj smrtnih slučajeva) i akutni. Naime, iako je potpuno jasno da ozbiljnije nezgode na tehnološkim postrojenjima ostavljaju dugotrajne posljedice na zdravlje okolnog pučanstva (i okoliš), ipak se procjena grupnog rizika vremenski odnosi najčešće na nekoliko tjedana nakon same nezgode. Prostorna je varijabla karakteristika koja se odnosi na rizike vezane za okoliš (ekosustav) određenog područja. S obzirom na prostornu varijablu karakterizacija rizika načinjena je prema tzv. 5-razinskom modelu ekoloških problema. [15] Problemi s odlaganjem komunalnog, tehnološkog i radioaktivnog otpada, toplinska polucija površinskih vodotoka i zraka, dehidracija zemljišta kao posljedica intenzivnog korištenja podzemnih i površinskih voda za potrebe domaćinstava, industrije i poljoprivrede, promjena mikroklime, smog i sl. imaju dimenziju lokalnoga, ali često i regionalnoga značenja. Fluvijalno značenje imaju rizici koji su posljedica eutrofikacije. Kisele oborine, »fall-out« i fotooksidacija s jedne, i oštećenje ozonskog omotača, globalno zagrijavanje i efekt staklenika s druge strane utjecaji su koji u sebi nose rizike kontinentalne odnosno globalne razine.

Bilo da je riječ o normalnom pogonu tehnološkog objekta ili potencijalnim nezgodama, kada se govori o rizicima za zdravlje ljudi, oni se procjenjuju za radno (profesionalno) osoblje i za okolno pučanstvo. Po-

treba za kvantifikacijom i objektivizacijom opasnosti[3] uvodi pojmove rizika za pojedince (individualni rizik) i rizika za grupu ljudi (grupni rizik). Rizik za pojedinca definira se kao vjerojatnost da će neka osoba, zbog izloženosti nekom neželjenom utjecaju, pretrpjeti određene, za njezino zdravlje škodljive posljedice. Individualni rizici računaju se uglavnom za normalne uvjete rada tehnološkog objekta čiji se utjecaj na zdravlje ljudi i okoliš procjenjuje. Pri tome se najčešće, konzervativnosti radi, individualni rizik procjenjuje za tzv. najizloženijeg pojedinca.[4] Grupni rizik se definira kao godišnja vjerojatnost da će određena grupa ljudi na određenom području stradati zbog negativnih utjecaja na njihovo zdravlje od potencijalne nezgode koja se može dogoditi unutar tehnološkog objekta. Grupni rizik ne predstavlja prosti zbroj individualnih rizika. Njegov smisao je određenje vrste opasnih posljedica i broja ljudi koji bi mogli od tih posljedica stradati. Dimenzionalno, ti se rizici mogu prikazati na različite načine. Kao produkt vjerojatnosti (učestalosti, frekvencije) događaja i posljedica (konzekvenci) koje taj događaj može prouzročiti, rizici se iskazuju kao odnos određene vrste posljedica (konzekvenci, učinaka) u određenom vremenskom razdoblju. Posljedice koje se analiziraju najčešće se izražavaju preko određene doze izloženosti negativnim utjecajima[5], preko određene vrste bolesti, preko broja smrtnih slučajeva[6] ili pak preko gubitaka koji se izražavaju u novčanoj protuvrijednosti. Drugim riječima, s obzirom na vrstu posljedica, bilo da se radi o individualnim ili grupnim rizicima, oni se mogu iskazati kao fatalni (smrtni slučajevi) ili nefatalni (bolest, gubitak novca zbog broja bolovanja i izgubljenih radnih sati, zbog onečišćenja, tj. oštećenja okoliša ili pak zbog gubitka proizvodnog procesa u tehnološkom postrojenju).

Vrijeme trajanja izloženosti nekoj opasnosti, tj. riziku, može se, dakako na relativnoj vremenskoj skali, iskazati kao kratkotrajno, srednjotrajno i dugotrajno. Vremenska varijabla uglavnom se veže uz životni vijek tehnološkog objekta o kojemu se radi. U svakom slučaju, promatrano s ovog aspekta sve varijante i kombinacije rizika su moguće, makar je uz procjene strednjotrajnih i dugotrajnih rizika nerijetko vezana visoka neodređenost.

[3] Jedna od definicija termina rizik upozorava kako je rizik zapravo kvantifikacija pojma opasnost koji je u osnovi kvalitativan pojam.

[4] Tako npr. u procjeni radijacijskog rizika kojem je tijekom jedne godine izloženo pučanstvo u okolini NE Krško, pod najizloženijim pojedincem podrazumijeva se osoba koja bi tijekom godine dana popila 730 litara vode iz rijeke Save, pojela 16 kilograma ribe ulovljene u toj rijeci i udahnula 8 000 prostornih metara zraka iz okolice NE Krško.

[5] U Pravilniku o uvjetima za lokaciju, izgradnju, pokusni rad, puštanje u rad i upotrebu nuklearnih objekata iz 1988. godine koji se primjenjuje u Republici Hrvatskoj (preuzet Zakonom o preuzimanju saveznih zakona iz oblasti zdravstava koji se u Republici Hrvatskoj primjenjuju kao republički zakoni, NN-53/1991) radijacijski rizik definira u člancima 2. i 3. kao vjerojatnost nastupanja nuklearne nesreće, pomnožena posljedicom koja je mjerena u efektivnim ekvivalentnim dozama najizloženijeg pojedinca. U slučaju nuklearne nesreće radijacijski rizik mora biti manji od 10 mikro Sv godišnje za pojedinca izvan lokacije nuklearnog objekta. Ovaj se uvjet ne odnosi na projektni događaj čija je vjerojatnost pojave manje od 10^{-7} godišnje.

[6] Tako npr. u dokumentu Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Helsinki, 13—17 May 1991, Chapter 4—Health Effects of Diferent Energy Systems for Electricity Generation, rizici od različitih elektroenergetskih objekata iskazuju se kao broj smrtnih slučajeva godišnje po GW instalirane električne snage.

Vrste posljedica koje neželjeni događaji mogu prouzročiti uvjetovane su odnosom između vremena izloženosti nekoj opasnosti koja se najčešće iskazuje preko doze i negativnim učincima te i takve izloženosti (Dose-Effect Relationship). Same za sebe, vrste su posljedica koje tehnološki objekt svojim normalnim, tj. rutinskim pogonom ili potencijalnom nezgodom, može izazvati na zdravlje ljudi i okoliš predmetom posebnih analiza, tzv. analiza opasnosti (Hazard Analysis), koje opet predstavljaju dvokomponentnu ekspertizu, odnosa između vremena izloženosti nekoj opasnosti (Exposure Assessment) i negativnim učincima te izloženosti (Effects Assessment). Kao što je prethodno naznačeno, vrste posljedica uglavnom se iskazuju kao fatalne ili nefatalne, odnosno s vremenskog aspekta kao akutne ili kronične.

4. ANALIZA KRITERIJA PRIHVATLJIVOSTI RIZIKA

Još je 1980. godine Komisija Europske ekonomske zajednice[7] za procjenu rizika iz nuklearnih i nenuklearnih objekata inicirala izradbu studije o komparativnoj analizi različitih rizika kako bi se kvantitativno procijenile, a zatim i etablirale vrijednosti za maksimalno prihvatljive rizike. Na slici 2. dan je prikaz dobivenih rezultata i analize postojećeg stanja u svezi s razinom prihvatljivosti individualnog rizika za različite opasnosti. Komisija je tom prilikom, s aspekta strukovne percepcije identificirala 5 kategorija prihvatljivosti individualnog rizika[8].

I. Već prihvaćen rizik[9]
II. Prihvatljiv i već prihvaćen rizik
III. Neprihvatljiv ali prihvaćen rizik
IV. Prihvatljiv ali još uvijek neprihvaćen rizik
V. Neprihvatljiv i neprihvaćen rizik.

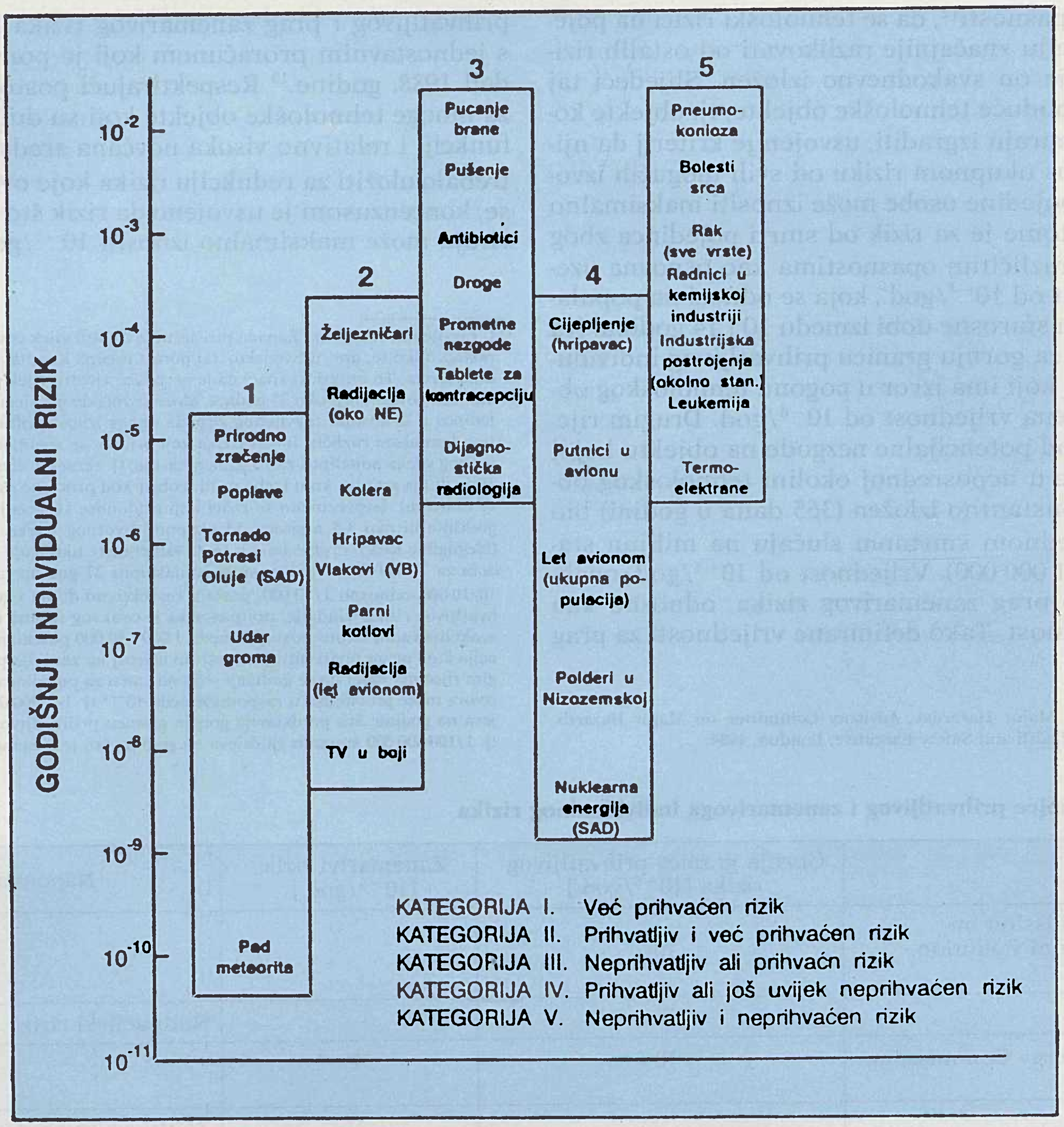
Na temelju rezultata provedenih analiza Komisija je predložila okvirnu metodologiju za utvrđivanje kriterija prihvatljivosti individualnih i grupnih rizika koji imaju svoj izvor u pogonu tehnoloških objekata. Na slici 3. prikazan je histogram godišnjeg individualnog rizika koji ocrtava osnovnu ideju te metodologije. Isti pristup vrijedi i za procjenu grupnog rizika. Histogram je podijeljen na tri područja: (a) područje neprihvatljivog rizika, (b) područje redukcije rizika, tj. primjene ALARA odnosno ALARP[10] koncepta koji u potpunosti oslikava ideju o mogućnostima upravljanja rizicima (Risk Management) i (c) područje prihvatljivog rizika. Ta tri područja podijeljena su s obzirom na dva kriterija: donju i gornju granicu, tj. prag prihvatljivog rizika od tehnoloških objekta. Do-

[7] Commission of the European Communities, Nuclear and Non-Nuclear Risk — An Exercise in Comparability, EUR-6417, Brussels, Belgium, 1980.

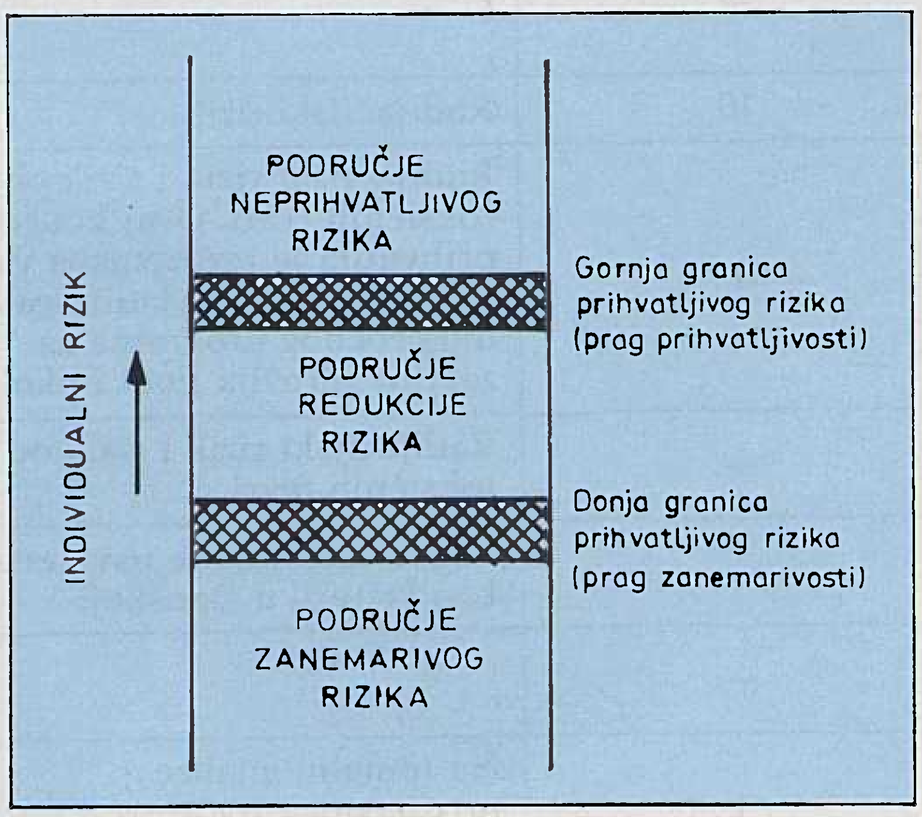
[8] Dijagram na slici 2. preuzet je iz Ref.4

[9] Kao što je na slici 2. prikazano ovdje se zapravo radi o prirodnim rizicima.

[10] ALARA — As Low As Reasonably Achievable; ALARP — As Low As Reasonably Practicable. Razlika je samo u terminološkoj formulaciji između američke i engleske definicije koncepta. Najopćenitije, radi se o konceptu koji postavlja zahtjeve za analizom koristi i troškova (Cost-Benefit Analysis) što omogućava racionalnu prosudbu o tome da li je potrebno i ako jest, koji je najpogodniji način za redukciju odredenog rizika, te koji su troškovi a koje koristi te i takve redukcije.



Slika 2. Konceptualni dijagram prihvatljivosti individualnih rizika



Slika 3. Histogram godišnjega individualnog rizika

nja granica prihvatljivog rizika, tj. prag zanemarivog rizika postavljena je kao ciljna vrijednost dok je gornja granica (prag prihvatljivog rizika, maksimalno prihvatljiv rizik) etablirana u nekim regulativama zapadnih država kao zakonsko ograničenje.[11]

Pošto je analizirano postojeće stanje s raspodjelom različitih izvora rizika za zdravlje ljudi i okoliš te izgrađena globalna koncepcija za određivanje prihvatljivosti pojedinih rizika, u idućem razdoblju u razvijenim su zapadnim zemljama slijedila istraživanja i aktivnosti kojima se željelo utvrditi vrijednosti za prethodno definirana dva kriterija. Pitanje koje se našlo u središtu interesa bilo je: Koliko sigurno je i dovoljno sigurno?

U analizama i prosudbi prihvatljivog rizika, u najvećem broju zapadnih država, pošlo se od konstatacije koju je postavio Savjetodavni komitet EZ-a za anali-

[11] Termini koji se najčešće susreću u stranoj terminologiji za opis gornje tj. donje granice rizika su: De Minimis Limit, Threshold Limit, Limit Below Regulatory Concern, Risk of Little Concern, Lower Limit of Risk of Concern i Negligible Risk za donju, te Regulatory Limit, Maximum Acceptable Risk, Upper Level of Acceptable Risk i Maximum Permissible Risk za gornji prag.

zu velikih opasnosti[12], da se tehnološki rizici na pojedinca ne smiju značajnije razlikovati od ostalih rizika kojima je on svakodnevno izložen. Slijedeći taj pristup, za buduće tehnološke objekte, tj. objekte koji se tek planiraju izgraditi, usvojen je kriterij da njihov doprinos ukupnom riziku od svih mogućih izvora za smrt pojedine osobe može iznositi maksimalno do 1%. Pri tome je za rizik od smrti pojedinca zbog izloženosti različitim opasnostima kao osnovna uzeta vrijednost od 10^{-4}/god., koja se odnosi na populacijsku grupu starosne dobi između 10 i 14 godina. Na taj je način za gornju granicu prihvatljivog individualnog rizika koji ima izvor u pogonu tehnološkog objekta određena vrijednost od 10^{-6}/god. Drugim riječima, rizik od potencijalne nezgode na objektu kojoj bi pojedinac u neposrednoj okolini tehnološkog objekta bio konstantno izložen (365 dana u godini) bio bi jednak jednom smrtnom slučaju na milijun stanovnika (1/1 000 000). Vrijednost od 10^{-8}/god. odabrana je kao prag zanemarivog rizika, odnosno kao ciljna vrijednost. Tako definirane vrijednosti za prag prihvatljivog i prag zanemarivog rizika koincidiraju s jednostavnim proračunom koji je ponudio B. Lindell 1988. godine.[13] Respektirajući postojeću starost za mnoge tehnološke objekte koji su dulje vrijeme u funkciji i relativno visoka novčana sredstava koja bi trebalo uložiti za redukciju rizika koje ovi objekti nose, koncenzusom je usvojeno da rizik što ga oni generiraju može maksimalno iznositi 10^{-5}/god. U tablici

[12] The Control of Major Hazards«, Advisory Committee on Major Hazards, Third Report, Health and Safety Executive, London, 1984.

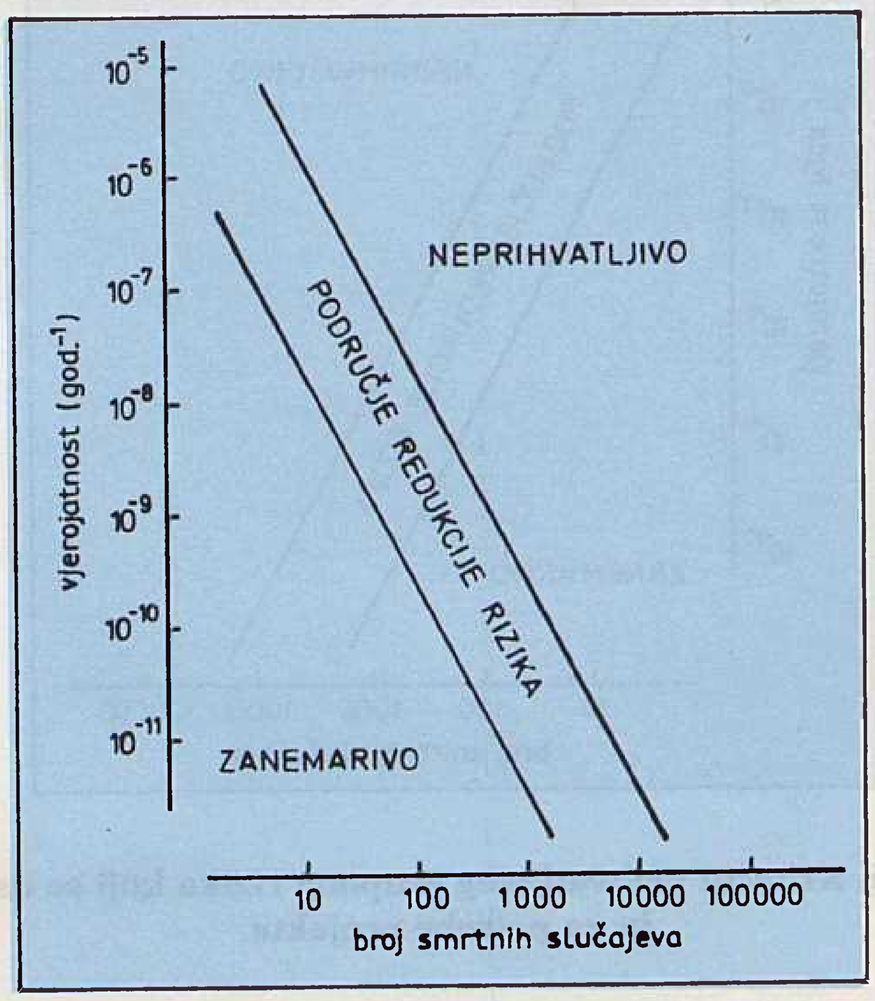
[13] U razvijenim zemljama Zapada prosječni je životni vijek čovjeka značajno porastao. Tako se, npr. u Švedskoj, taj porast računa kao 100 dana za svaku godinu života. To praktički znači da je prosječni životni vijek pojedinca u državama razvijenog Zapada danas iznosi približno 75 godina. U tom kontekstu različiti izvori rizika koji pridonose smanjenju prosječnog životnog vijeka pojedinca za 10 dana godišnje, tj. skraćuju život za 3 godine, postaju donja granica koju treba uzeti u obzir kod procjene rizika (Lower Limit of Concern). Istovremeno se rizici koji pridonose skraćenju života za 1 dan godišnje ili oko 3,5 mjeseca od ukupnog životnog vijeka mogu zanemariti (Negligible Risk). Pretpostavi li se da »smrtnost« uključuje skraćenje životne dobi za 10 000 dana (dakle, smrt će nastupiti 27 godina ranije), vrijednosti 10/10 000, odnosno 1/10 000, postaju respektivno donja i gornja granica prihvatljivog rizika. Nadalje, pretpostavka je ovakvog načina razmišljanja da u svakodnevnom životu postoji između 1 000 i 10 000 potencijalno rizičnih situacija koje mogu imati bitniji negativan utjecaj na zdravlje pojedinca. To drugim riječima znači da se godišnji rizik od smrti za pojedinca od svih mogućih izvora može procijeniti u rasponu između 10^{-6} tj. 1/1 000 000 smrtnih slučajeva na godinu, što predstavlja gornju granicu prihvatljivosti rizika, i 10^{-8}, tj. 1/100 000 000 smrtnih slučajeva na godinu, što je zanemariv rizik.

Tablica 4. Granice prihvatljivog i zanemarivoga individualnog rizika

Reference	Gornja granica prihvatljivog rizika [10^{-6}/god.]	Zanemarivi rizik [10^{-8}/god.]	Napomena
Royal Commission on Environmental Pollution, 1976.	10		
ICRP, 1977.	1	—	Radijacijski rizik.
Swedish Energy Commission, 1978.	10	1	
HSE Canvey Study, 1981.	20–400	—	Zahtijeva se obustava daljnjega pogona tehnološkog objekta.
Rayal Society, 1983.	1	10	
Federal Register, 1985.	1	—	Radijacijski rizik i rizik od toksičnih tvari.
Health and Safety Executive, 1987.	1	—	
Swedish Environmental Protection Board, 1987.	1	—	
IAEA, 1988	—	10	Radijacijski rizik.
C. J. van Kuijen, 1988	1	1	Radijacijski rizik i rizik od toksičnih tvari. Ovaj koncept prihvatila je nizozemska vlada i sastavni je dio vladinoga dugoročnog programa za zaštitu zdravlja ljudi i okoliša.
C. C. Travis i drugi, 1988	1	—	Radijacijski rizik i rizik od toksičnih tvari.
Miljostyrelsen, 1989	1	—	Vrijednost koja je usvojena kao kriterij u Danskoj.
Department of Planning, NSW, Australia, 1990.	1	—	
Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, 1991.	1	1	Na temelju analize prosječnoga životnog vijeka pojedinca.

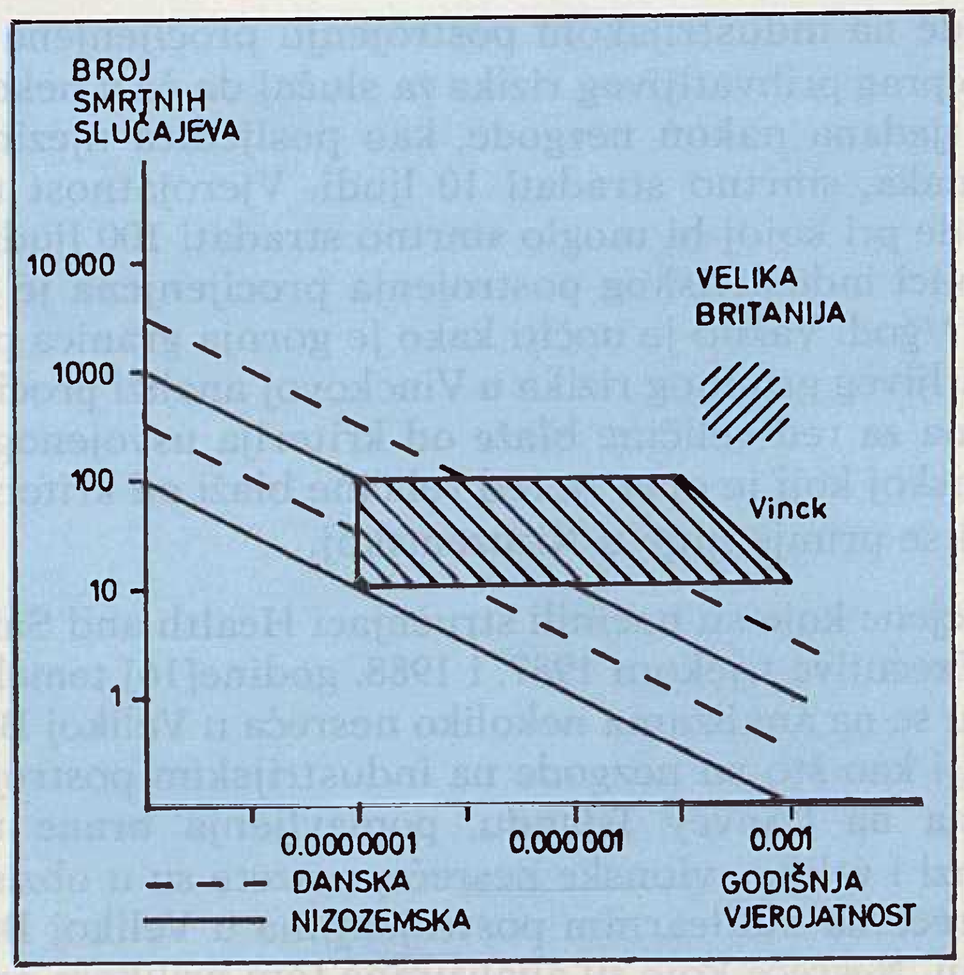
4. dan je literaturni pregled rezultata nekih istraživanja koja su provedena u području procjene vrijednosti prihvatljivog i zanemarivog individualnog rizika u zadnjih 20-ak godina u svijetu. Podaci su preuzeti iz [3] i [9].

Grupni rizik definira se kao kombinacija između broja ljudi koji bi mogli smrtno stradati zbog utjecaja nezgode na tehnološkom objektu i vjerojatnosti takve nezgode da bi taj broj smrtnih slučajeva mogao biti i veći. Na slici 4. prikazan je tzv. F-N graf gdje je F-kumulativna učestalost, tj. vjerojatnost da će određeni broj ljudi smrtno stradati zbog utjecaja potencijalne nezgode na tehnološkom objektu, a N-broj smrtnih slučajeva po nezgodi. Graf zorno oslikava koncept koji je usvojen od strane nizozemske vlade u okviru Nizozemskog nacionalnog plana za zaštitu zdravlja ljudi i okoliša.[6] U tom programu prag prihvatljivosti za grupni rizik procijenjen je na 10^{-5}/god. uz maksimalan broj od 10 smrtnih slučajeva koji se mogu dogoditi u vremenskom rasponu od nekoliko tjedana pošto se nezgoda dogodila. Vrijednost za zanemarivi grupni rizik procijenjena je pak na 10^{-7}/god. za isti broj smrtnih slučajeva u istim uvjetima. Za ostale vrijednosti primjenjuje se pravilo da ako broj smrtnih slučajeva poraste za n puta rizik mora biti umanjen za n^2 puta. To znači da vjerojatnost nezgode u kojoj bi smrtno stradala grupa od 100 ljudi u neposrednoj okolici opasnog tehnološkog objekta u vremenu od nekoliko tjedana nakon nezgode može maksimalno poprimiti vrijednost od 10^{-7}/god.



Slika 4. Kriteriji prihvatljivoga grupnog rizika koji se primjenjuje u Nizozemskoj

Na slici 5 prikazani su N-F grafovi koji predočavaju koncepte za definiranje donje i gornje granice prihvatljivoga grupnog rizika koji se primjenjuju u različitim državama Zapadne Europe. Usporedno su predočeni koncepti koji se primjenjuju u Nizozemskoj (van Kuijen 1988), Danskoj (Miljostyrelsen, 1989), Velikoj Britaniji (Health and Safety Executive,



Slika 5. Kriteriji prihvatljivosti grupnog rizika u nekim zapadnim zemljama

1987), kao i rezultati neovisne studije koju je, analizirajući podatke o različitim tehnologijama za nekoliko europskih zemalja, izradio W.F. Vinck 1988. godine. Na slici je jasno uočljivo da su nizozemski i danski pristup koji je također usvojila danska vlada i koji je kao takav ugrađen u dansku zakonsku regulativu o zaštiti zdravlja ljudi i okoliša, cjelovitiji od koncepta koji se primjenjuje u Velikoj Britaniji ili pak od Vinckove analize. Stanovita neodređenost ova dva pristupa prisutna je u području malo vjerojatnih nezgoda (Low Probability Evants). Međutim, kako bi se doskočilo ovom problemu, usvojena je premisa prema kojoj su značajnije posljedice prihvatljive samo u uvjetima vrlo male vjerojatnosti da će se nezgoda na tehnološkom postrojenju, koja bi mogla prouzročiti takve posljedice, zaista i dogoditi. Određeni problem također predstavlja i uspostavljanje korelacije između vrijednosti za prag zanemarivoga grupnog rizika i broja ljudi, tj. populacije koja je izložena negativnim učincima potencijalne nezgode. Još je 1986. godine P. Milvy[14] konstatirao da je prag zanemarivoga grupnog rizika obrnuto razmjeran kvadratnom korijenu populacije. Procijenjeno je da ako se za prag zanemarivog grupnog rizika usvoji vrijednost od 10^{-5} smrtnih slučajeva godišnje za populaciju od 1 000 000 ljudi, onda ta vrijednost za populaciju od 100 000 000 ljudi treba iznositi 10^{-6} smrtnih slučajeva na godinu.

W. F. Vinck se u svojoj analizi nije bavio malo vjerojatnim nezgodama i s tim u svezi sa značajnim posljedicama. Područje posljedica koje su u analizi bile od interesa nalazi se u rasponu od 10 do 100 smrtnih slučajeva po jednoj nezgodi na industrijskom postrojenju.[15] Vrijednost od 10^{-3}/god. za vjerojatnost ne-

[14] P. Milvy, A. General Guideline for Management of Risk from Carcinogens, Risk Analysis 6, 69–79.

[15] U svojoj analizi Vincek je koristio i podatke koji se odnose na rafinerije nafte u Francuskoj. Pokazalo se da gornja granica prihvatljivog rizika koji se odnosi na nezgode katastrofalnih razmjera iznosi 10^{-4}/god.

zgode na industrijskom postrojenju procijenjena je kao prag prihvatljivog rizika za slučaj da će u nekoliko tjedana nakon nezgode, kao posljedica njezinih učinaka, smrtno stradati 10 ljudi. Vjerojatnost nezgode pri kojoj bi moglo smrtno stradati 100 ljudi u okolici industrijskog postrojenja procijenjena je na 10^{-4}/god. Važno je uočiti kako je gornja granica prihvatljivog grupnog rizika u Vinckovoj analizi procijenjena za red veličine blaže od kriterija usvojenog u Danskoj koji je opet za red veličine blaži od kriterija koji se primjenjuje u Nizozemskoj.

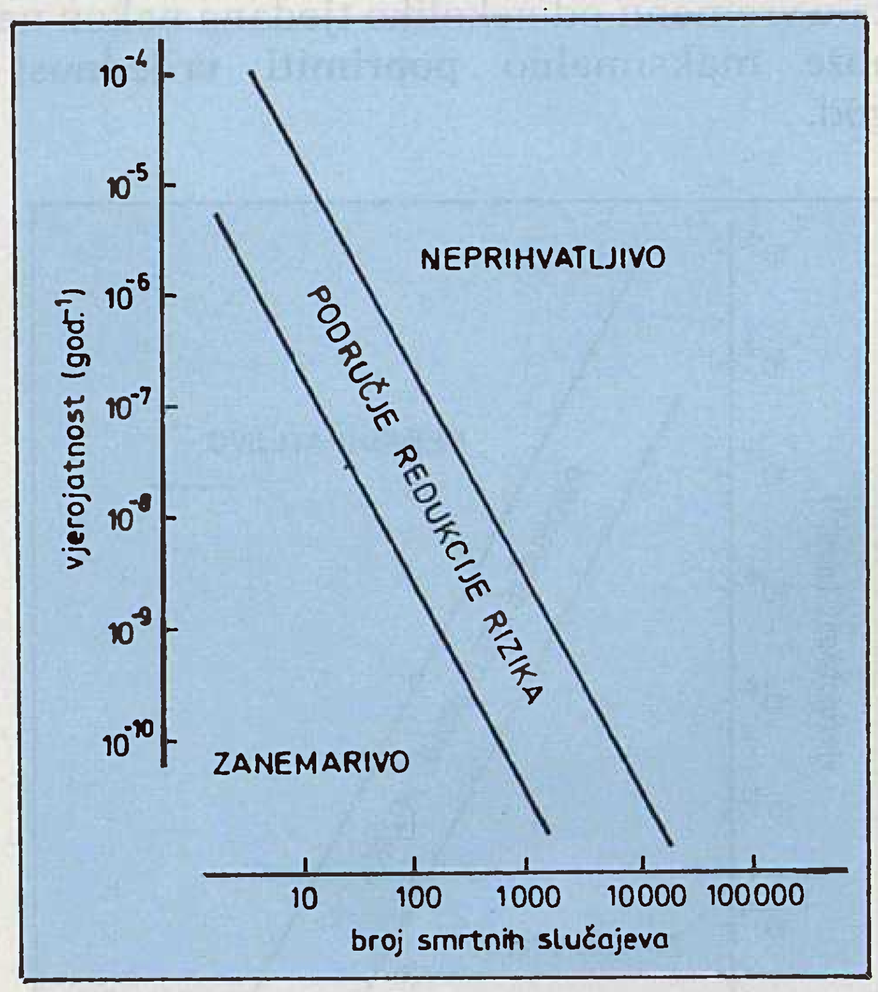
Procjene koje su načinili stručnjaci Health and Safety Executive tijekom 1987. i 1988. godine[16] temeljile su se na analizama nekoliko nesreća u Velikoj Britaniji kao što su nezgode na industrijskim postrojenjima na Canvey Islandu, poplavljenja brane na Temzi i velike avionske nesreće, a uzete su u obzir i nesreće na nuklearnim postrojenjima u Velikoj Britaniji. Nesreće koje su analizirane tom prilikom prouzročile su oko 1 000 smrtnih slučajeva ili opasnih zdravstvenih tegoba za okolno pučanstvo. Za gornju granicu prihvatljivog grupnog rizika procijenjena je vrijednost od 10^{-3}/god. Međutim, preferira se vrijednost od 2×10^{-4}/god. Što se tiče nuklearnih postrojenja u Velikoj Britaniji, procijenilo se da vrijednost od 10^{-4}/god. kao gronja granica prihvatljivog rizika zadovoljava sigurnosne standarde, ali da ipak i dalje treba nastojati i utjecati na primjeni programa kojima se rizici od nuklearnih postrojenja smanjuju. Rezultati najnovijih istraživanja u Velikoj Britaniji koja se odnose na izloženost rizicima od različitih izvora prezentirana su u tablici 5. Podaci su preuzeti iz [7] i predstavljaju prosječne i aproksimativne vrijednosti.

Tablica 5. Razina fatalnih rizika u Velikoj Britaniji

Vrsta rizika	Vrijednost rizika [Broj smrtnih slučajeva godišnje]
rizik za visokorizične grupe radnika koji su zaposleni u relativno nesigurnim industrijskim postrojenjima kao što su rudnici uglja	1/1.000
ukupni rizik u prometu	1/10.000
rizik od nezgoda na radu u vrlo sigurnim industrijama	1/100.000
ukupan rizik od požara i eksplozija plinskih instalacija u mjestu stanovanja	1/1.000 000

5. ZAKLJUČAK

Jedan od osnovnih ciljeva koji se nastoji postići izradbom projekta »Procjena rizika i mogućnosti smanjenja opasnosti za ljudsko zdravlje i okoliš od energetskih i drugih kompleksnih gospodarskih sustava na području grada Zagreba« (Case Study Zagreb Project) sastoji se u formuliranju konzistentne i cjelovite strategije zaštite zdravlja ljudi i zaštite okoliša i s time u svezi određivanju optimalne raspodjele u osnovi ograničenih financijskih sredstava namijenjenih u tu svrhu. Taj cilj može se ostvariti tek primjenom koncepta upravljanja rizicima (Risk Management) koji u osnovi uključuje tri sastavna elementa: identifikaciju opasnosti, procjenu, pa zatim i kontrolu rizika. Smisao cijelog postupka sastoji se u procjeni individualnih i grupnih rizika od različitih izvora a zatim i u njihovoj međusobnoj usporedbi. Na kraju se postavlja zahtjev da se cjelovitim (integralnim, holističkim) pristupom izgradi plan i program prioritetnih akcija koje je potrebno poduzeti u smislu redukcije rizika. Ostvarenje spomenutog cilja postaje i realno mogućim samo u situaciji kada postoje izgrađeni kriteriji prihvatljivog rizika. Kako postojeća hrvatska regulativa u području zaštite okoliša (izuzetak čini regulativa iz područja primjene nuklearne tehnologije) prepoznaje kategoriju tehnološkog rizika samo u kvalitativnom smislu, to se pokazuje potrebnim usvojiti i kvantitativne kriterije. Na temelju prikaza i analize kriterija prihvatljivosti individualnog i grupnog rizika predočenih u prethodnom poglavlju, koji se primjenjuju u nekim europskim zemljama, za potrebe spomenutog projekta usvojeni su kriteriji elaborirani u tablici 6. Na slici 6. predočen je F-N graf koji prikazuje na ovaj način usvojene kriterije prihvatljivosti grupnog rizika.



Slika 6. Kriteriji prihvatljivog grupnog rizika koji se usvajaju za potrebe projekta

LITERATURA

[1] O. ČALDAROVIĆ, »Energija i društvo (sociologijske rasprave o upotrebi energije u društvu)« CIP, Zagreb, 1991.

[2] D. ČOROKALO, »Psihologijski aspekti istraživanja okolinskih opasnosti«, Socijalna ekologija, Časopis za ekološku misao i sociologijska istraživanja okoline, Vol. 1, No. 1, Zagreb, siječanj – veljača 1992.

Tablica 6. Kriteriji prihvatljivosti rizika koji se usvajaju za potrebe projekta »Procjena rizika i mogućnosti smanjenja opasnosti za ljudsko zdravlje i okoliš od energetskih i drugih kompleksnih gospodarskih sustava na području grada Zagreb« (Case Study Zagreb Project)

Vrsta rizika	Kriteriji prihvatljivosti
Individualni rizik	1. Za gornju granicu prihvatljivog individualnog rizika (prag prihvatljivog rizika) od novoizgrađenih kao i od budućih tehnoloških postrojenja usvaja se vrijednost od 10^{-6}/god. 2. Za gornju granicu prihvatljivog individualnog rizika (prag prihvatljivog rizika) od starijih tehnoloških postrojenja usvaja se vrijednost od 10^{-5}/god. 3. Za donju granicu prihvatljivog individualnog rizika (prag zanemarivog rizika) usvaja se vrijednost od 10^{-8}/god.
Grupni rizik	1. Usvajaju se kriteriji koji se primjenjuju u Danskoj. Nekoliko je argumenata koji idu u prilog ovakvome izboru: (a) koncept je to što je usvojila danska vlada i kao takav je ugrađen u dansku zakonsku regulativu o zaštiti zdravlja ljudi i okoliša; (b) vrijednost za gornju granicu prihvatljivoga grupnog rizika nalazi se između vrijednosti koja se prakticira u Nizozemskoj i vrijednosti koja se procjenjuje u analizi W. F. Vincka; (c) s obzirom na vrstu i relativnu starost tehnologija koje su ugrađene u industriji grada Zagreba, nešto blaži kriteriji prihvatljivosti nego je to u nizozemskom konceptu, procjenjuju se primjerenijima; (d) procjene koje su načinjene za Veliku Britaniju determinirane su u prvom redu analizama nesreća u postrojenjima na Canvey Islandu (kompleks kemijskih i petrokemijskih postrojenja) i kao takve nisu izravno primjenjive u analizama rizika za ljudsko zdravlje i okoliš na području grada Zagreba. Drugim riječima, za prag prihvatljivosti grupnog rizika za maksimalno 10 smrtnih slučajeva po nesreći usvaja se vrijednost od 10^{-4}/god., dok za se za prag zanemarivog grupnog rizika u istim uvjetima usvaja vrijednost od 10^{-6}/god. Za ostale vrijednosti grupnog rizika primjenjuje se pravilo $n - n^2$. 2. Neodređenost prisutna u području malo vjerojatnih nezgoda premošćuje se premisom prema kojoj su značajnije posljedice prihvatljive samo u uvjetima vrlo male vjerojatnosti da će se nezgoda na tehnološkom objektu, koja bi mogla prouzročiti takve posljedice, zaista i dogoditi. 3. Budući da u području grada Zagreba živi oko 1 000 000 stanovnika, što se u relativnom odnosu može smatrati srednjom populacijom, to se eliminira potreba za elaboracijom problema koji se javlja u procjeni grupnih rizika za velike populacije.

[3] Procedural Guide for Integrated Health and Environmental Risk Assessment and Safety Management in Large Industrial Areas-Draft Report, UNEP-WHOIA-EA-UNIDO. Tel Aviv, November 1991.

[4] J. J. COHEN, C. F. SMITH, »Determination of De Minimis Dose Levels Based Upon Risk Acceptability, Reprint from Radiation Protection in Nuclear Energy, IAEA, Vienna, 1988.

[5] B. J. M. ALE, »Risk Analysis and Risk Policy in the Netherlands and the EEC«, Presented at »Problem Clouds« Symposium, 14 June 1990., Chester, UK

[6] Permises for Risk Management, Risk Limits in the Context of Environmental Policy, Dutch National Environmental Policy Plan (to Choose or to Lose), Second Chamber of the States General, 1988 – 89 session 21137, nos. 1 – 2

[7] Guidelines on Risk Issues, The Engineering Council, Annex to Code of Professional Practice, Consultative Document, July 1992.

[8] Principles for Decisions Involving Environmental and Health Risks, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, NKA, December 1989 – 1991.

[9] Risk Analysis and Safety Rationale, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, NKA, December 1989 – 1991.

[10] Radiation Protection and Risk Management, Dutch Policy on the Protection of the Public and Workers Against Ionizing Radiation, Ministry of Housing Physical Planning and Environment, Ministry of Social Affairs and Employment, February 1989.

[11] E. MORRIS, Assessment of PSA, »Studies for Fuel Cycle and Waste Storage Facilities in the United Kingdom«, HM Nuclear Installations Inspectorate, Health and Safety Executive, Bootle, UK, 1993.

[12] Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Key Issues Papers, Helsinki, Finland, 13 – 17 May 1991.

[13] L. C. B. HUTTEN MANSFELD, »Workbook on Putting and Environmental Plan Into Action: Implementation Programming«, The Regional Environmental Center for Central and Easten Europe, Budapest 1991.

[14] Use of Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Installations with Large Inventory of Radioactive Material, Draft Report of a Technical Committee Meeting held in Viena, 7 – 11 September 1992.

[15] National Environment Policy Plan (To Choose or to Lose), Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, Second Chamber of the States General, Session 1988 – 1989, Niderlands

[16] The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations, Health and Safety Executive, London, 1988.

[17] Risk Criteria for Land-use Planning in the Vicinity of Major Industrial Hazards, Health and Safety Executive, London, 1989.

[18] Quantified Risk Assessment: Its Input to Decision Making, Health and Safety Executive, London, 1989.

ACCEPTABILITY CRITERIA OF TECHNOLOGICAL RISKS

This work stresses the importance of the technological risk category and its role in the field of human health protection as well as environmental protection is stressed in this work. Global categorization of ecological risks is done and then also the categorization of technological risks used in some developed European countries. In the conclusion, there is a suggestion of those criteria developed in the field of activities that are realised within the project »Risk evaluation and possibilities of danger decrease for human health and environment from energy and other complex economic systems in the area of the town of Zagreb« (Case Study Zagreb Project), that are supposed to suit to the structure and relative age of industry plants built in the town of Zagreb.

KRITERIEN FÜR ANNAHME VON TECHNOLOGISCHEN RISIKEN

In der Arbeit wird die Bedeutung der Kategorie des technologischen Risikos und seine Rolle auf dem Gebiet des menschlichen Gesundheitsschutzes sowie des Umweltschutzes betont. Hier wurde eine allgemeine Kategorisierung der ökologischen Risiken und auch die Karakterisierung der technologischen Risiken bezüglich der fünf gegenseitig abhängiger Variablen ausgearbeitet. Es wurden quantitative Kriterien für die Annahme der technologischen Risiken die in einigen entwickelten europäischen Ländern angewendet werden analysiert. In der Zusammenfassung gibt man den Vorschlag dieser Kriterien die im Rahmen der Aktivitäten die bei der Realisierung des Projekts »Schätzung der Risiken und die Möglichkeiten der Verringerung der Gefahr für die menschliche Gesundheit und Unwelt vor den energetischen und anderen komplexen wirtschaftlichen Systeme auf dem Gebiet der Stadt Zagreb« (Case Study Zagreb Project), für die man annimmt, dass sie der Struktur und dem relativen Alter der Industrieanlagen die in der Stadt Zagreb ausgebaut wurden, entsprechen.

Naslov pisca:

Mr. Dejan Škanata, dipl. ing.
Agencija za posebni otpad, d.o.o,
41000 Zagreb, Savska 41/IV,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993 – 08 – 16.

UŠTEDA ELEKTRIČNE ENERGIJE PRI TALJENJU OTPADAKA ČELIKA

Prof. dr. Romeo Deželić, Split

UDK 691.714:621.31

PREGLEDNI ČLANAK

Navodi se uloga i utrošak električne energije u dosadašnjim procesima taljenja otpadaka čelika u čistim elektrolučnim pećima. Opisuju se novi postupci uz smanjeni utrošak električne energije ili čak bez nje. Uspoređuju se pojedini postupci prema količini utrošene energije, odnosno energenata, cijeni i zagađivanju okoliša.

Ključne riječi: taljenje otpadaka čelika, ušteda električne energije, troškovi taljenja, zagađivanje okoliša, fosilno gorivo.

1. UVOD

Tehnologije dobivanja čelika su različite. O izboru tehnologije odlučuje vrsta čeličnog poluproizvoda, raspoloživost sirovine i energije, vrsta energije i njezino pretvaranje u iskoristivi oblik, te korištenje neiskorištenog dijela energije u procesu taljenja.

Jedna od osnovnih skupina dobivanja čelika sastoji se u pretaljivanju otpadaka gvožđa, tj. raznih slitina željeza. Ovaj put do čelika svakako je primamljiv, jer osim jeftinijih krutih otpadaka, treba samo energiju za taljenje.

Prema podacima za 1988. godinu [1] utrošeno je ukupno oko 33 150 000 tona otpadaka za proizvodnju čelika. Glavni su potrošači bili Zapadna Europa (25%), Istočna Europa (36%), SAD (21%) i Japan (13%). U pojedinim zemljama otpaci su različito sudjelovali u proizvodnji čelika ovisno o raspoloživoj količini otpadaka i energiji.

Dakle, pretaljivanjem otpadaka danas dobivamo gotovo polovicu ukupno proizvedenog čelika. Stoga su u svijetu nikle brojne male čeličane što su gotovo isključivo talile otpadak u elektrolučnim pećima i završavale kontilijevom [1,2]. Praktičnost i fleksibilnost ove tehnologije, široka primjenljivost u visoko industrijaliziranim zemljama daje naslutiti da će i ubuduće ona imati značajnu ulogu [3,4].

Međutim, ograničenost količine otpadaka neće puno širiti ovaj proces. Jedino se u iznimnim trenucima može lokalno pojaviti višak otpadaka (ratna vremena, masovno rashodovanje brodova i sl.), ali to vjerojatno neće opravdati povećanje talioničkih kapaciteta.

Računajući po svjetskim cijenama, troškovi električne energije sudjeluju više od 50% u ukupnim troškovima pretaljivanja [1]. Od svih energenata što sudjeluju u taljenju otpadaka u elektrolučnim pećima (izgaranje elektroda, toplina egzotermnih reakcija) na električku energiju otpada otprilike 70—80%, a i do 90% u čistoj elektrolučnoj peći [5, 6], što ovisi i o veličini peći.

Prema tome, električna energija nam predstavlja glavni trošak pretaljivanja čelika. Zato nam taljenje u elektrolučnim pećima zbog skupe električne energije, a pogotovo njezine oskudice, kao što je to u našim prilikama, ne predstavlja konačno rješenje. Moramo računati da će cijena električne energije i dalje rasti ne samo zbog primarnih energenata, nego i zbog većih zahtjeva za zaštitom okoliša.

2. MJERE ZA UŠTEDU ENERGIJE

Imajući na umu porast troškova, u svijetu se poduzima niz mjera da se smanji potrošnja električke energije, odnosno da se poveća energetski stupanj djelovanja. To se postiže uglavnom na dva načina: **tehničkim mjerama i korištenjem drugih energenata.**

2.1. Tehničke mjere

U **tehničke mjere** ubraja se: uzimanje peći većega kapaciteta, skraćivanje trajanja šaržiranja, smanjivanje temperature istjecanja taline, povećanje snage transformatora, upuhavanje kisika, hlađenje vodom plašta, poklopca peći i elektroda, miješanje taline, korištenje energije za predgrijavanje uloška izlaznim plinovima, odnosno za pogon crpki ili korištenje tople vode. Vođenje procesa peći računalom najnovija je tehnička mjera koja također pridonosi ekonomičnoj proizvodnji [7].

Od svih tehničkih mjera ovdje će se iznijeti samo nešto o predgrijavanju uloška, jer je to zajedničko za sve postupke taljenja otpadaka.

Predgrijavanje uloška osnovna je tehnička mjera uvedena radi uštede energije, posebno električne, pa se u daljnjem tekstu ono razmatra isključivo u tom smislu, iako ima i drugih prednosti.

Prvi sistemi za predgrijavanje bili su uređaji postavljeni izvan peći, a koristili su energiju fosilnih goriva ili toplinu izlaznih plinova iz peći. Konstrukcijski su to bile transportne trake, rotirajući bubnjevi ili iz-

ravno zagrijavanje u koševima za šaržiranje. U prva dva slučaja nužno je bilo prethodno usitnjavanje (Shredder) uloška, što je dovodilo u pitanje ekonomičnost predgrijavanja zbog dodatnih troškova usitnjavanja uloška.

Iz spomenutih primjera energetskih bilanci [5, 6] vidi se da se od 40 do 50% unesene energije u elektrolučnu peć gubi. U manjim pećima ti su gubici i veći, jer se izneseni primjeri odnose na peći kapaciteta 80—115 tona. Od ukupnih gubitaka velik dio ponegdje i do 40%, otpada na tople izlazne plinove. Slijedi logičan zaključak da se prije svega koristi ova toplina za predgrijavanje uloška, što dovodi do uštede električke energije 5—8% [4] za uobičajene temperature predgrijavanja (približno 600 °C). Kod nekih sustava predgrijavanja i strukture uloška te su temperature znatno više (i do 900 °C), pa je normalno veća ušteda električne energije [8]. Ušteda je još i veća jer se time ohlade topli plinovi, pa nije potrebna još dodatna energija za njihovo hlađenje prije ulaza u otprašivač.

Energetskoj prednosti predgrijavanja uloška na opisane načine suprotstavljali su se nedostaci onečišćavanja okolice zbog nepotpunog izgaranja nečistoća u ulošku (polimeri, ulje, drvo, boje. . .) i plinova nastalih u procesu peći.

Novim načinima predgrijavanja što se odvijaju u samoj peći uklonjene su te neugodnosti. Potpunim izgaranjem podignuta je temperatura izlaznih plinova, a time i predgrijanog uloška. Na taj način još se više skraćuje razdoblje taljenja. To se ubrzava upuhavanjem dodatne smjese fosilnog goriva i kisika, ili samo kisika, odnosno zraka u peć iznad zone taljenja. Primjenjuje se u svim novijim vrstama peći za taljenje otpadaka.

2.2. Korištenje drugih energenata

Među **druge energente** ubrajaju se fosilna goriva — kruta, tekuća ili plinovita — a u vezi s time i dodatni gorionici. Time se djelomično ili u potpunosti zamjenjuje električna energija.

U sadašnjim domaćim prilikama elektroenergetska oskudica nameće potrebu razmatranja rješenja drugim energentima uz istovremenu primjenu tehničkih mjera.

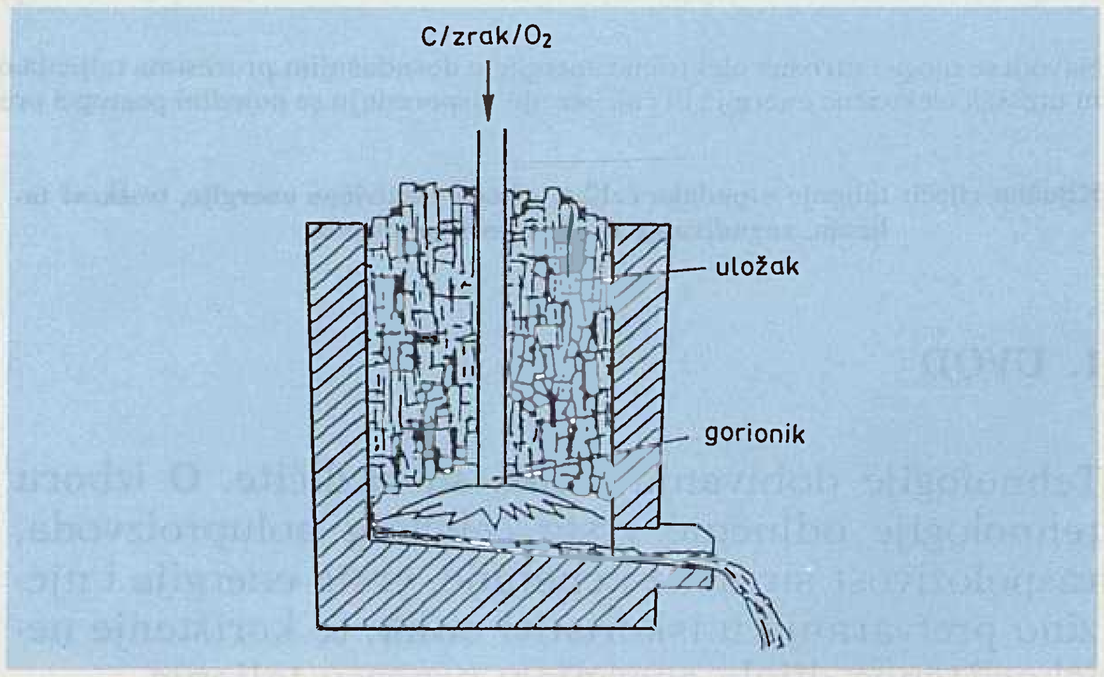
Svrha ovoga rada jest ukratko iznijeti načine na koje se to u svijetu danas radi, skrenuti na to pozornost domaćim velikim potrošačima električne energije, te potaknuti na analizu mogućnosti primjene u našim prilikama radi ekonomičnije proizvodnje, odnosno uopće omogućiti rad.

3. POSTUPCI TALJENJA UPOTREBOM FOSILNIH GORIVA

Energija fosilnih goriva za taljenje otpadaka čelika koristila se stoljećima u Siemens-Martinovim pećima. Međutim, ovaj je metalurški proces danas u industrijski razvijenim zemljama napušten, jer mu je mala produktivnost, velik utrošak energije i vatrostalnog materijala, neekonomično otprašivanje i loša ergonomija. Godine 1978. upuhavanjem kisika u talinu postignuta je veća učinkovitost SM peći no usprkos tome postupak je uglavnom napušten [4].

Međutim, u novije vrijeme opet se pristupa taljenju i do 100% otpadnog uloška djelomičnom ili potpunom upotrebom fosilnog goriva, ali na drugi način.

Među prvim postupcima opisan je 1972. godine [7] postupak vrlo sličan onome u visokoj peći: pri dnu lonca (peći) tali se uložak izgaranjem tekućeg goriva i kisika, a topli plinovi strujanjem predgrijavaju hladan uložak što se ubacuje u peć odozgo. Talina kontinuirano istječe u lonac na daljnju preradbu (slika 1).



Slika 1. Mogućnost taljenja otpadaka izgaranjem fosilnog goriva [7]

Nakon toga slijede i drugi postupci što bi se mogli svrstati u sljedeće skupine:

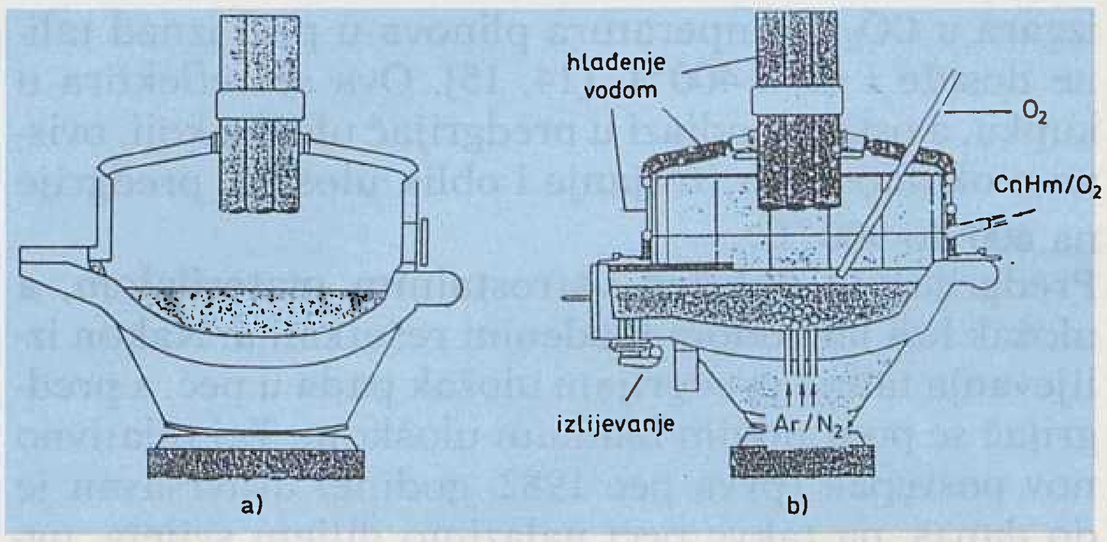
— modifikacije elektrolučne peći
— kupolne peći
— modifikacije konvertera
— specijalne konstrukcije.

Svim tim postupcima zajedničko je:

— predgrijavanje uloška,
— dodavanje kisika radi podržavanja egzotermnih reakcija
— korištenje jeftinijih fosilnih goriva i dodatnih gorionika za fosilno gorivo
— potpuno dogorijevanje CO u Co_2.

3.1. Modifikacija elektrolučne peći

Od čitavog otpadnog željeza 2/3 pretaljivalo se doskora u normalnim elektrolučnim pećima. Stoga je razumljivo da su se nastojale zadržati postojeće instalacije, **a** da se dodatnim, prije navedenim tehničkim mjerama njihova produktivnost poveća. Time nije ušteđena samo električna energija, vatrostalni materijal, materijal elektroda, nego je i skraćeno vrijeme između dva izlijevanja taline. Tako npr. između 1960. i 1988. godine povećanjem kapaciteta peći sa 60 na 100 tona, specifičke snage transformatora sa 350 na više od 700 pa čak i 1 000 kVA/t taline skraćeno je vrijeme između dvaju izlijevanja sa 3 na 1 sat. Osnovne konstrukcijske razlike na pećima u tom razdoblju vide se na slici 2.



Slika 2. Tehničke mjere za poboljšavanje učinka elektrolučnih peći [10]: a) konstrukcija iz 1969. g. spec. učinak transformatora 280 kWA/t, b) konstrukcija iz 1988. g. spec. učinak transformatora 800 — 1 000 kWA/t

Kratak opis zahvata što su u dva navrata poduzeti u jednoj inozemnoj čeličani i postignuti rezultati najbolje će prikazati prednosti kombiniranih tehničkih zahvata i korištenja fosilnog goriva [9].

Čeličana o kojoj je riječ raspolaže jednom 73-tonskom elektrolučnom peći sa svom ostalom pripadajućom opremom za isporuku poluproizvoda od svih vrsta ugljikovih, te nisko i srednje legiranih čelika. Ključna je peć što može prema zahtjevu kupaca promijeniti proizvodni program u nekoliko sati. Prva rekonstrukcija poduzeta je 1988. godine, a druga 1992. godine prema K-ES (Klöckner-Elektro Stahl) sustavu. Na to ih je prisilila ograničenost raspoložive električne energije i potreba za povećanjem proizvodnje.

Najnovijom rekonstrukcijom učinjeno je:

— da gorionici za dogorijevanje budu smješteni na plaštu iznad razine taline
— da su sapnice na dnu peći
— dodat je ugljen.

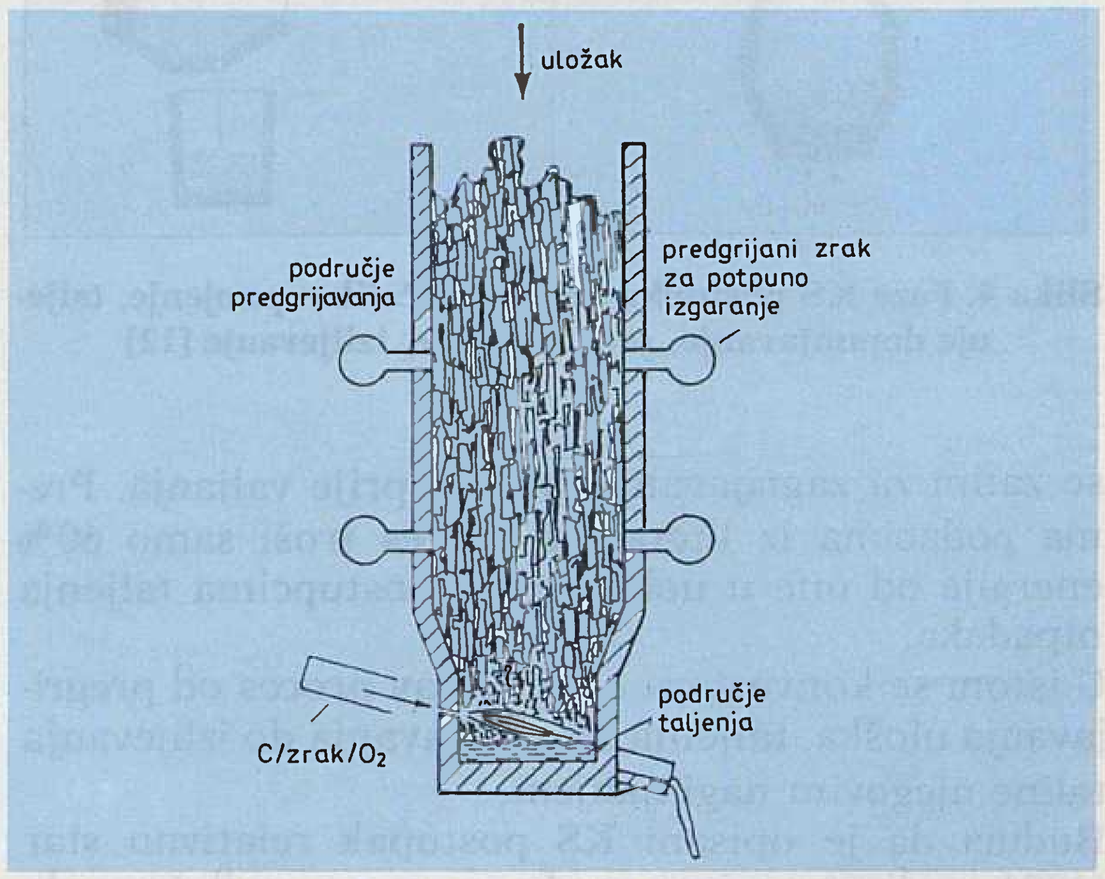
U oba je slučaja sadržano predgrijavanje uloška izvan peći. Sapnice što pridonose dogorijevanju CO u Co_2 daju velik energetski doprinos podižući temperaturu u peći i vraćajući velik dio razvijene topline ulošku. One pak na dnu peći pridonose i miješanju taline, odnosno bolje temperaturnom i kemijskom homogeniziranju jer su elektromagnetske sile u ovakvoj peći preslabe za to. Komadni ugljen unosi se u peć s uloškom, a ugljena se prašina upuhuje kroz jednu šuplju elektrodu izravno u električni luk.

Pomoću računala vođen je čitav radni proces, dozirani dodaci i plinovi, odnosno njihove smjese prema stanju u peći. Velikoj produktivnosti pridonosi i mogućnost da se u roku dva sata kod redovitog remonta zamijeni peć drugom pripremljenom već otprije.

Tako modificirana peć troši manje od 340 kWh/t gredica i postiže proizvodnju 600 000 tona gredica godišnje sa 235 zaposlenih, uključivši vlasnike i sve pomoćno osoblje. Proizvodnost je, dakle, otprilike 2 500 tona gredica godišnje po zaposlenome.

3.2. Kupolne peći

Kupolne peći su konstrukcijski slične poznatim kupolnim pećima za taljenje sivog lijeva. Pri dnu peći smješteni su gorionici za smjesu kisika i fosilnih goriva (slika 3), peć se puni odozgo, a topli plinovi u protusmjeru prema ulošku penju se iz zone taljenja u područje predgrijavanja uloška. Na nekoliko razina iznad zone taljenja upuhuje se topli zrak ili kisik da bi se postiglo potpuno izgaranje odlazećih plinova. Među ovakve postupke koji se navode kao vrlo ekonomični spominju se KYS (Klöckner Youngstone Stahlerzeungung), SIFF (Sacilor Irsid Fusion Ferrailles) i Plasmascrap procesi.

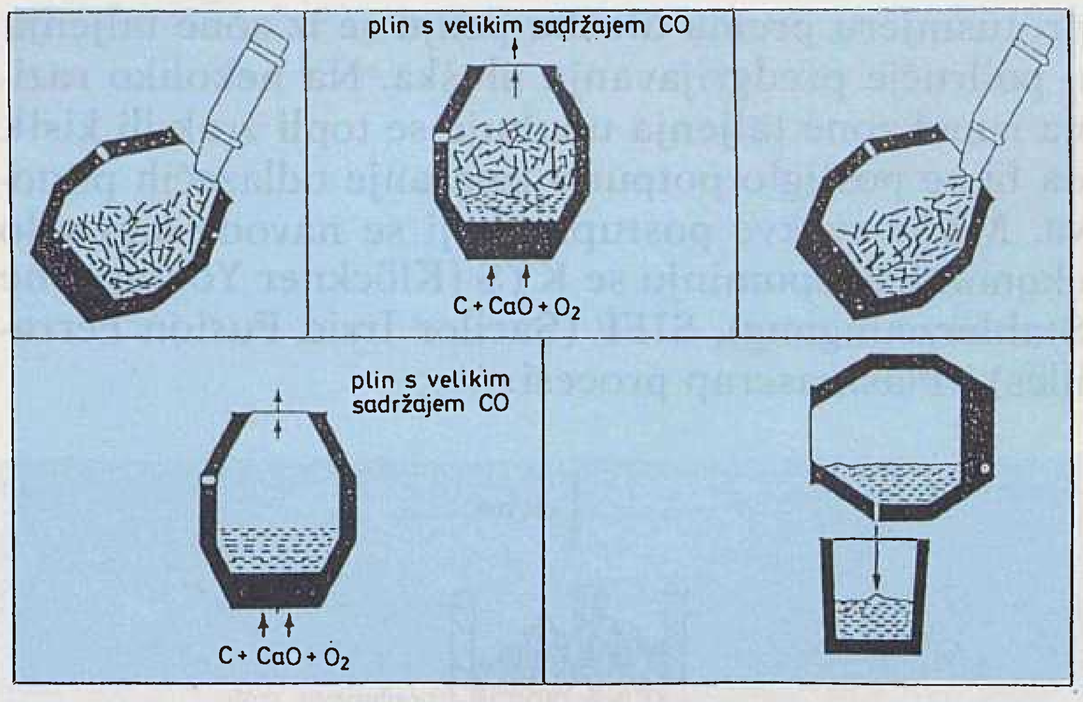


Slika 3. Kupolna peć [2]

Proces se mora pažljivo voditi da se ne oksidiraju ulošci. Zato potencijal oksidacije toplih plinova mora biti niži od ravnotežne vrijednosti temperature na kojoj se nalazi predgrijani uložak. Proistječe da će najveći oksidacijski potencijal imati plinovi u zoni najniže temperature uloška, dakle pri vrhu peći. Radi boljeg iskorištavanja kemijski vezane energije odlazećih plinova dogorijevanje je potpunije pri većem stupcu uloška.

3.3. Modifikacija postojećih konvertera

U želji da se racionalnije koriste postojeći konverteri razvijeni su u njima procesi taljenja lomljevine željeza te su time konverteri pretvoreni u peć. To se postiže ugrađivanjem gorionika za smjesu fosilnog goriva i kisika. Postoje varijante postupaka da na dnu konvertera bude prethodno nešto taline, a zatim se ubacuje kruto otpadno željezo ili pak da se u njemu tali 100% kruti otpad. Ekonomičnost se naročito postiže, kao i u svim drugim sustavima, potpunim izgaranjem goriva. Stoga se iznad taline upuhuje kisik, pa se istovremeno postiže i snažnije predgrijavanje hladnog uloška. U ove postupke ubrajaju se Coin, Tula, OBM, QSL, ali i kombinacija tih postupaka, te varijante KS postupaka (K-ES, KVA, K-POS). Slika 4. prikazuje KS postupak (Klöckner Stahlelzeugung) u literaturi istican kao vrlo ekonomičan [10, 11, 12, 13]. Energija potrebna za taljenje dobije se izgaranjem usitnjenog ugljena i/ili koksa u struji kisika, a ista se smjesa koristi za pročišćavanje. U prikazanom konkretnom slučaju nema potpunog izgaranja CO, već se neizgorijeli plin odvodi u posebnu peć na dogorijevanje CO u CO_2. Tako dobivena toplina koristi



Slika 4. Faze KS postupka dobivanja čelika: punjenje, taljenje dopunjavanje, pročišćavanje, izlijevanje [12]

se zatim za zagrijavanje gredica prije valjanja. Prema podacima iz literature proces troši samo 60% energije od one u uobičajenim postupcima taljenja otpadaka.

U istom se konverteru odvija čitav proces od pregrijavanja uloška, taljenja i pročišćavanja do izlijevanja taline njegovim naginjanjem.

Budući da je opisani KS postupak relativno star (1984. godina) to je u međuvremenu predloženo da se poduzmu mjere za povećanje učinka. Te se mjere i nadalje usavršavaju, pa kao i prije sve se one svode na sljedeće zahvate:

— smanjivanje potrošnje energenata
— hlađenje i otprašivanje odlazećih plinova
— korištenje otpadne topline
— ponovno korištenje konverterske prašine.

Potrošnja energenata je postignuta dvokratnim izgaranjem najprije u CO, a zatim u CO_2, zatim optimiranjem odnosa goriva, kisika i otpadaka, a to je opet omogućeno raspodjelom na podne sapnice i one u prostoru za dogorijevanje optimiranjem broja sapnica i njihovim razmještajem, te predgrijavanjem uloška.

Zanimljivo je ponovno korištenje konverterske prašine jer ona sadrži približno 60% željeza, od čega 1/3 kao metalno željezo, a ostatak u obliku željeznih oksida.

3.4. Specijalne konstrukcije

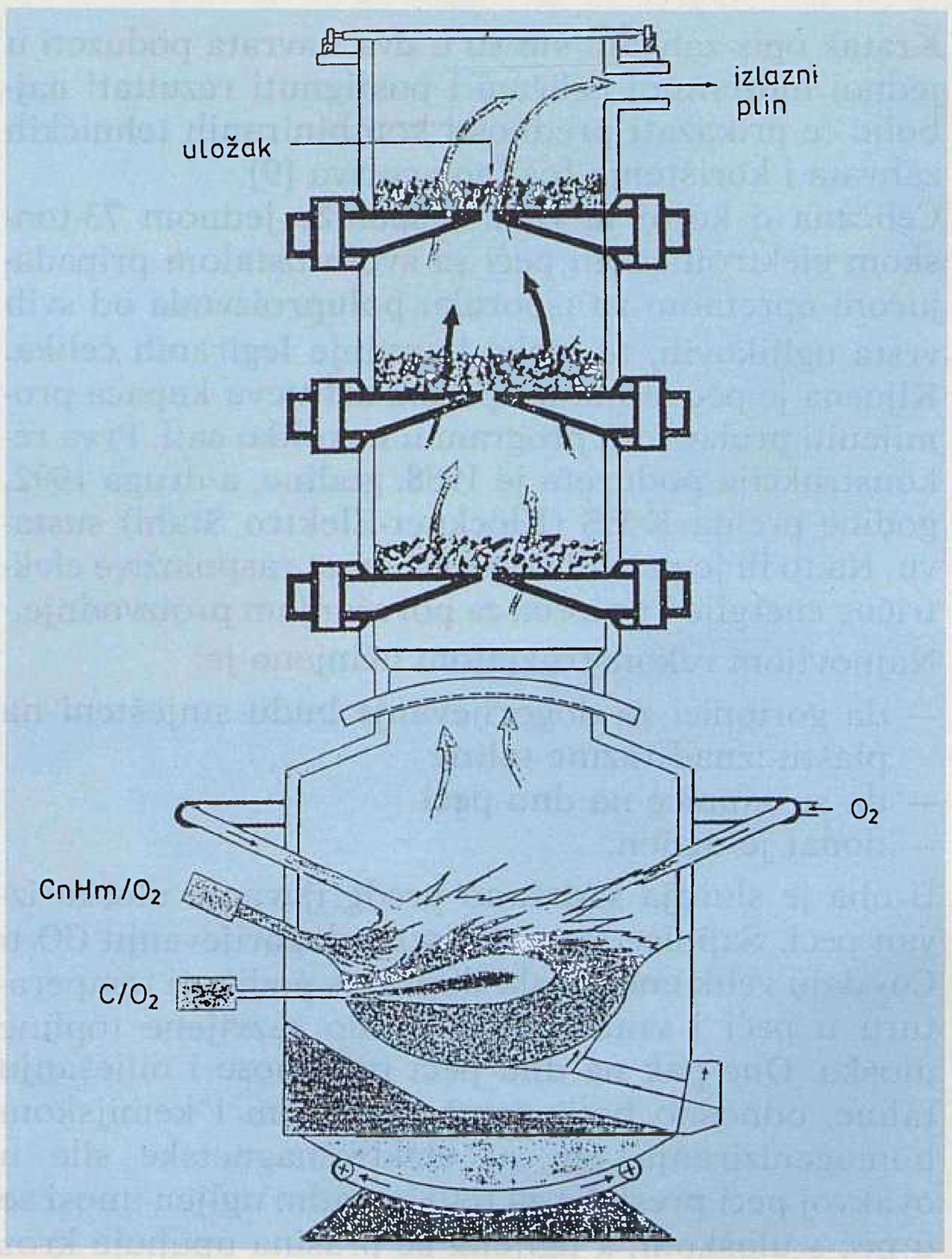
Među specijalne konstrukcije ubrajaju se relativno novi postupci u kojima se taljenje lomljevine željeza postiže prije svega izgaranjem ugljene prašine. Posebno je interesantan tzv. EOF (Energy Optimizing Furnace) sustav.

U slici 5. vidi se presjek peći i proces u njoj.

EOF ujedinjuje u istom uređaju kao energetske izvore kemijsku reakciju kisika s oksidirajućim elementima u kupki (C, Si, Mn, P, Fe, FeO), dogorijevanje Co u CO_2, te enthalpiju predgrijanog uloška [8].

Kako je iz sl. 5. vidljivo, kisik se ubacuje ispod i iznad površine kupke te reagira s ugljikom kupke, ubačenog ugljena i drugih oksidirajućih elemenata. Nastali CO djelomično dogorijeva u kupki, a potpuno izgara u CO_2. Temperatura plinova u peći iznad taline doseže i do 1 400 °C [14, 15]. Ova se reflektira u kupku, a ostatak odlazi u predgrijač uloška koji, ovisno o okolnostima (trajanje i oblik uloška), predgrije na 600 do 900 °C.

Predgrijač je obložen vatrostalnim materijalom, a uložak leži na vodom hlađenim rešetkama. Nakon izlijevanja taline predgrijani uložak pada u peć, a predgrijač se puni novim hladnim uloškom. Taj relativno nov postupak (prva peć 1982. godine) usavršavan je do danas, pa takve peći nalazimo diljem svijeta, uglavnom u željezarama, gdje rade tzv. kombiniranim postupkom, a to je dijelom taline sirovog željeza uz dodavanje krutog otpada. Međutim, ovim postupkom moguće je taliti i 100% krute lomljevine čelika.



Slika 5. Načelo rada EOF-postupka

Prednost ove peći je ne samo u korištenju jeftinije energije fosilnog goriva, kao uostalom i u nekim već spomenutim postupcima, nego i u manjim investicijskim troškovima. U 1992. godini puštene su u pogon dvije EOF peći u susjednim zemljama, što može poslužiti kao mjerodavan dokaz prednosti ovog postupka.

4. USPOREDBA RAZLIČITIH POSTUPAKA

Na kraju se uspoređuju svi danas korišteni postupci taljenja 100% krutog otpada. Daju se podaci o potrošnji pojedinih materijala i produktivnosti, utrošenoj energiji, troškovima i utjecaju na okoliš. Nažalost, nije bilo moguće dobiti podatke za peći istog

Tablica 1. Utrošak energije, materijala i dobivena produktivnost pojedinih postupaka za taljenje 100 % otpadaka željeznih slitina po toni rastaljenog čelika

Postupak taljenja / Osnovni podaci	ELP	ELP sist. (K – ES)			KS	EOF
masa (kapacitet) |t|	110	27	73	80	125	30
potrošnja el. energije |kWh|	480	280	340	362	—	—
kisika |m^3_n/t|	12	67	47	69	—	165
zemnog plina |m^2_n/t|	1,7		6		—	—
tekuće gorivo |kg/t|						4
ugljena |kg/t|		26	23	35	80	105
elektroda |kg/t|	2,65		2,2		—	—
vrijeme između dva izlijev. |min|	78		54	79	55	65

kapaciteta, a niti sve podatke za sve postupke taljenja. Stoga pri usporedbi treba i to imati na umu.
Podaci za elektrolučne peći (ELP) dobiveni su iz jedne analize rada 14 peći bez predgrijavanja [16] 1992. godine. Peći su kapaciteta od 64 do 147 t, pa su navedeni samo prosječni podaci. Za pojedinačne peći podaci variraju, jer to ovisi o raznim parametrima, kako je to već navedeno za ovu vrstu peći. Potrebno je, naime, istaknuti da su postupci u njima dotjerani, te se u njima za taljenje koriste u manjem iznosu i drugi energenti. Na primjer, podaci o utrošenoj energiji variraju od 375 do 600 kWh/t taline. Podaci za peći modificirane po K-ES sistemu dani su za tri peći, a od toga je za jednu peć prije dan detaljniji opis.
Primjer konverterske peći po sistemu KS nalazi se u trećem stupcu. Podataka o potrošnji pojedinih energenata nema, ali se navodi da ukupna potrošnja energije iznosi samo 60% od one što je potrebna u konvencionalnim elektrolučnim pećima.
EOF postupak nalazi se u četvrtoj koloni, te kao i prethodni KS proces radi osim za pomoćne operacije bez upotrebe električne energije za taljenje.
Pregled ukupno potrošene energije u pojedinim postupcima taljenja kao i odgovarajući postupak što otpada na glavne energente dan je u tablici 2.

Tablica 2. Potrošnja energije za različite postupke taljenja 100 % krutog otpada i pripadajući udio glavnog energenta na tonu taline

Postupak taljenja / Utrošak energije	ELP	KS	EOF
ukupno |GJ/t|	5,9 – 6,5	3,7	4,2
električna energija |%|	91		
ugljen |%|		71	78

Podatak u tablici 2. odnosi se u prvom stupcu na klasičnu ELP bez dodatnog fosilnog goriva.

U različitim postupcima poradi korištenja različitih energenata različite su i cijene, odnosno troškovi taljenja. Uvid u to daje tablica 3. za jednu tipičnu elektrolučnu instalaciju u SAD i jednu EOF peć.

Tablica 3. Troškovi taljenja u SAD S/t taline 100 % krutog otpada za ELP I EOF peći na tonu taline [1]

Postupak taljenja / Troškovi	ELP	EOF
vatrostalni materijal	6	5,5
elektroda	10,5	—
kisik	1,9	9,5
električka energija	30	2,5
ugljena prašina	—	10
ostalo (N_2, CnHm)	—	1,5
ukupno	48,4	29

S obzirom na zagađivanje okoliša važno je razmotriti razlike između dvaju osnovnih postupaka taljenja. U oba slučaja uzeto je u obzir i zagađivanje što nastaje emisijom iz termoelektričnog postrojenja ako je ono pogonjeno također uglavnom uz uvažavanje pripadajućeg udjela utroška električne energije u svakom od ova dva postupka taljenja. Podaci su u tablici 4.

Tablica 4. Emisija polutanata sastojaka pri taljenju 100 % krutog uloška u ELP i EOF peći na tonu taline [1]

Postupak taljenja / Polutanti	ELP			EOF		
	Peć	Termo centr.	Ukup.	Peć	Termo centr.	Ukup.
prašina |g/t|	130	50	180	26	13	40
SO_2 |g/t|	47	433	480	126	59	185
NO_x |g/t|	347	213	560	195	25	220
CO_2 |kg/t|	91	406	497	353	106	459

5. ZAKLJUČAK

U ovome članku iznose se mogućnosti smanjivanja potrošnje odnosno potpune uštede električne energije za taljenje otpadaka željeznih slitina.
Pri radu s postojećim elektrolučnim pećima može se smanjiti dio električne energije nizom tehničkih mjera, te manjim dodavanjem fosilnog goriva.
U našim prilikama velike elektroenergetske oskudice teško je priskrbiti i tako smanjene potrebne količine. Zato su izneseni postupci što za taljenje otpadaka čelika koriste isključivo energiju fosilnog goriva. Neki od tih postupaka uspješno se primjenjuju tek u novije vrijeme. Ipak, postoji već dovoljno iskustva da se sa sigurnošću može govoriti o njihovim prednostima.
S obzirom ne samo na nestašicu električne energije nego i na sve veću cijenu, preporučljivo je pozabaviti se upotrebom fosilnog goriva kao njezinom zamjenom. Time se postiže:

— mogućnost taljenja otpadaka bez utroška električne energije (osim za pomoćne radnje)

— niži troškovi taljenja (računajući s realnim cijenama električne energije).

Dokaz za tu tvrdnju jest usvajanje ovih tehnologija posljednjih godina i tamo gdje se ne oskudijeva električnom energijom.

Prijelaz na novu tehnologiju povezan je i investicijskim troškovima. Stoga je potrebno pažljivo razmotriti prednosti i mogućnosti eventualne rekonstrukcije postojećih uređaja ili nabave novih. Isto tako treba razmotriti i prikladnu kombinaciju tehnologije npr. taljenje u kupovnoj, a pročišćavanje u elektrolučnoj peći.

LITERATURA

[1] K. L. STAHLERZEUGUNG: »Prospektni materijal«, 1991.

[2] MIETZ, J. BRÜHL, M., OETERS, F.: »Stand der Verfahrentechnik für das Einschmelzen von Schrott mit fossiler Energie«, Stahl und Eisen 110 (1990), Nr 7, S109/116.

[3] SPERL, H.: »14 Internationale Tagung für Lizenznehmer des OBM/Q-BOP Verfahrens«, Stahl und Eisen 108(1988) Nr 2, S28/90.

[4] DEMING, W, KLEIN, K. H., PAUL, G., SCHINDLER, J. E.: »Schrottvorwärmung bei der Badischen Stahlwerken«, Stahl und Eisen 104(1984), Nr 2 S68/70.

[5] BROD, H., KEMPENS F.: »Schtrohschein, H.: »Energierückgewinung aus einem UHP Elektrolichtboganofen«, Stahl und Eisen 109(1988), Nr. 5, S229/238.

[6] AMELING, D., HEINEN, K.H., KREUTZER, H. W., SCHNEIDER A., STROHSCHEIN H.: »Metallurgie und Verfahrenstechnik der Elekttrostahlerzeugung — Entwicklung und heutige Bedeutung«, Stahl und Eisen 106(1986), Nr 1, S19/21.

[7] LANGHAMMER, H. J., GECK, H. G.: »Entwicklung eines kontinuierlichen Einschmelzverfahren«, Stahl und Eisen 92(1972), Nr 11, S501/518.

[8] Pauls, H. R.: »Auswahl des EOF Verfahrens in besonderem Bezug zu den neuen Technologien der Flachstahlereugung«, Korf Lurgi Stahl Engineering 1992.

[9] BALLANDINO, W., HAUCK F. G., KLINWORTH, K.: »Das Elektrostahlwerk der Acciaierie Venete — Steigerung der Ofenleistung durch das K-ES-Verfahren«, Stahl und Eisen 112(1992), Nr 9, S83/88.

[10] SCHULZ, E.: »Stand und Entwicklungspotential der metallurgieschen Verfahrenstechnik«, Stahl und Eisen 109(1989), Nr 22, S1047/56.

[11] BOGDANDY, L., SCHAFER, K., BROTZMANN, K. GECK, H.G.: »Entwicklung und Stand des KS-Verfahrens in Georgmarienhütte«, Stahl und Eisen 104(1984), Nr 22, S1143/1148.

[12] ANONIMNO: »Das Klöckner Stahlerzeugungsverfahren im Werk Georgsmarienhütte., Stahl und Eisen 101(1981), Nr 10, S639/640.

[13] SCHÄFER, K., Geck, H. G., PRETZER, G. SELENZ, H. J., PATEL, P.: »Fortschritte bei der Stahlerzeugung mit der K(M)S Verfahren in Georgmarienhütte«, Stahl und Eisen 107(1987), Nr 23, S1087/1090.

[14] GUDENAU, H. W., WEBER, R., GRANDIN, F. H.: »Nachverbrenung und Wärmerückübertragung unter verschiedenen Betriebsbedingungen beim EOF Verfahren«, Stahl und Eisen 111(1991), Nr 6, S61/65.

[15] GUDENAU, H. W., WEBER, R., GRANDIN, F. H.: »Erhöhung der CO — Nechverbrennung beim EOF Verfahren«, Stahl und Eisen 110(1990), Nr 5, S105/110.

[16] KÖHLE, S.: »Einflussgrössen des elektrischen Energieverbrauchs und des Elektrodenverbrauchs von Lichtbogenöfen«, Stahl und Eisen 112(1982), Nr 11, S59/67.

ELECTRIC ENERGY SAVINGS BY MELTING OF STEEL WASTE

The role and consumption of electric energy in the up to now existing processes of steel waste melting in pure arc furnaces is given. New procedures are described with decreased electric energy consumption or even without it. Compared are different procedures according to quantity of used energy, that is energy fuel, price and environmental pollution.

STROMSPAREN BEIM SCHMELZEN DER STAHLABFÄLLE

Hier spricht man über die Rolle und den Stromverbrauch in den bisherigen Stahlabfall — Schmelzprozessen in reinen Elektroöfen. Es werden neue Verfahren neben einem verringertem Stromverbrauch oder ohne Strom beschrieben. Es werden auch einzelne Verfahren nach der Menge der verbrauchten Energie bzw. der Energente, Preise und Umwelverschmutzung verglichen.

Naslov pisca:

Prof. dr. Romeo Deželić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu
58000 Split,
Ruđera Boškovića bb
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993-11-18.

NOVE TEHNOLOGIJE IZGARANJA UGLJENA

Bojan Abramović, Zagreb

UDK 621.311.22:536.18
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazano je suvremeno stanje i razvoj novih tehnologija izgaranja ugljena, i to primarno sa stajališta primjene u termoelektranama. Opisana su i analizirana mnoga rješenja, a posebna pozornost pridaje se tehnologijama koje su perspektivne sa stajališta Hrvatske elektroprivrede i čija se komercijalna primjena, ako se već ne koriste u energetske svrhe, očekuje u idućih desetak godina. Izloženi su rezultati valorizacije pojedinih rješenja (u usporedbi s referentnim klasičnim rješenjem) koja je provedena u sklopu studije »Nove tehnologije izgaranja ugljena« (knjiga 1. studije »Razvoj termoelektrana loženih ugljenom«, EKONERG, 1993).

Ključne riječi: rasplinjavanje ugljena, KOMBI-postrojenje, fazna izgradnja, atmosferski cirkulirajući fluidizirani sloj, pretlačni stacionarni fluidizirani sloj.

1. UVOD

Ekonomski razlozi, mogućnosti dobave goriva i težnja diversifikaciji energetskih oblika korištenih u nacionalnim energetskim i elektroenergetskim sustavima (radi smanjivanja osjetljivosti na poremećaje u svjetskoj energetskoj privredi) orijentirala je većinu zapadnih zemalja na uporabu ugljena za proizvodnju električne energije.

Razvoj klasičnih tehnologija izgaranja ugljena rezultirao je poboljšavanjem energetskih značajka termoelektrana loženih ugljenom prašinom. Povišenjem parametara (tlak, temperatura) radnog medija (pare), te uvođenjem jednog ili više međupregrijanja moguće je postići stupanj korisnoga djelovanja postrojenja približno 42% (što je danas granica iznad koje povećanje stupnja korisnoga djelovanja postaje, zbog dodatnih ulaganja, neisplativo). Donošenjem strožih propisa zaštite okoliša iskazuje se, međutim, nedostatak klasičnih tehnologija — štetan utjecaj na okoliš pojedinih sastojaka dimnih plinova (SO_2, NO_x, krutih čestica i dr.). Uobičajene zaštitne mjere okoliša (odsumporavanje dimnih plinova, redukcija NO_x i odstranjivanje krutih čestica) traže primjenu složenih tehnoloških procesa povezanih s dodatnim ulaganjima i povećanim troškovima proizvodnje te smanjenjem ukupnog stupnja korisnoga djelovanja postrojenja (zbog povećane vlastite potrošnje električne energije).

Sve to ubrzalo je razvoj novih tehnologija izgaranja ugljena kojima su inherentne mjere zaštite ili koje pojednostavnjuju njihovu primjenu. Taj razvoj je toliko intenzivan da mnoga tehnološka rješenja poput raznih sustava rasplinjavanja ugljena, izgaranja u fluidiziranom sloju, njihovih kombinacija, simultane uporabe raznih goriva i slično, što su prije pet do deset godina držana tek šansom za budućnost postaju tehnički i komercijalno dostupna i rentabilna.

2. RASPLINJAVANJE UGLJENA U SKLOPU KOMBI-POSTROJENJA (IGCC — Integrated Gasification Combined Cycle)

Rasplinjavanje ugljena jest tehnologija kod koje ugljen u primarnom dijelu postrojenja ne izgara potpuno, već se rasplinjava tako da nepotpuno izgara u uvjetima nedovoljnog pristupa kisika. Rasplinjavanje je, dakle, kemijski proces tijekom kojega se gorivi sastojci ugljena pretvaraju u gorive plinove. Cilj je da se gorivo slabije kvalitete (ugljen) pretvori u tehnički pogodnije plinovito gorivo čija se unutrašnja energija može uz veći stupanj iskoristivosti pretvoriti u mehaničku, odnosno električnu energiju. Proces rasplinjavanja se odvija u posebnim pećima — plinskim generatorima (rasplinjačima). Razlikuju se četiri osnovna tipa rasplinjača (klasifikacija prema tipu sloja):

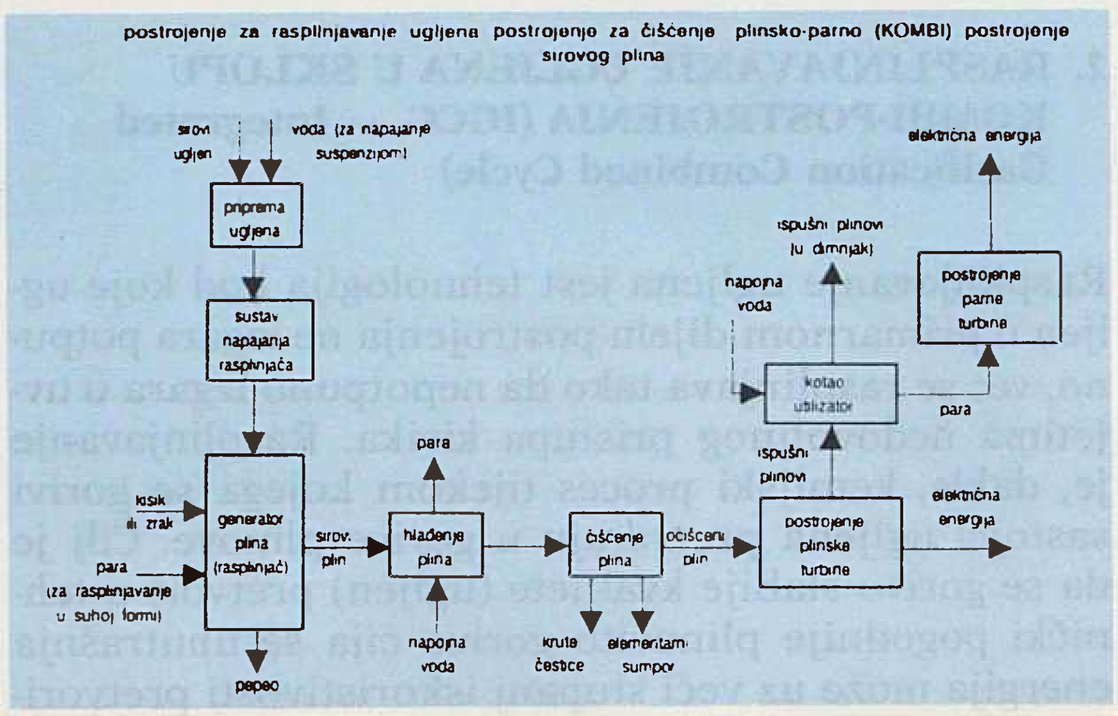
— rasplinjavanje na rešetki
— rasplinjavanje u fluidiziranom sloju
— rasplinjavanje u prostoru, odnosno struji plina
— rasplinjači tipa »rastaljena kupka«.

Općenito, svaki tip rasplinjavanja, odnosno svaki proces ima prednosti i nedostatke koji govore za ili protiv njegove primjene u termoenergetskim postrojenjima za proizvodnju električne energije. Međutim, do danas su jedino rasplinjači s rasplinjavanjem u prostoru (tvrtke Shell, Texaco, Dow Krupp Koppers i dr.) i BG/Lurgi-rasplinjač (rasplinjavanje na rešetki) razvijeni do stupnja koji omogućuje njihovu komercijalnu primjenu u sklopu kombiniranoga parno-plinskog postrojenja. Od prednosti rasplinjavanja u prostoru, u odnosu prema ostalim tipovima rasplinjača, izdvajaju se visoka pretvorba ugljika, neosjetljivost na kvalitetu goriva i relativno veliki kapaciteti.

2.1. Opis procesa

Na slici 1. shematski su prikazane glavne komponente tipičnog IGCC-postrojenja. U sustavu za pripremu goriva ugljen se melje i suši (ili miješa s vodom) u mjeri ovisnoj o tipu generatora plina. U rasplinjač se, naime, može dodavati suhi ugljen (najčešće putem sustava lijevka sa zaporom) ili mješavina ugljenih čestica i vode (u tu svrhu potrebni su prikladni spremnici i visokotlačne napojne crpke). Pri tome tlak u rasplinjaču može iznositi približno 29-40 bara.

Osim ugljena, u rasplinjač se dodaju oksidacijska sredstva (zrak ili kisik), te vodena para, i to u omjerima specifičnim za određeni tip rasplinjača. Reakcije nepotpunog izgaranja i rasplinjavanja nastupaju istodobno pri visokim temperaturama (1 500—2 000 °C). Rezultat je struja dobivenog plina čiji su glavni sastojci vodik i ugljični monoksid, te nešto ugljičnog dioksida, metana i pare. U sustavima što se koriste zrakom za oksidaciju dobiveni plin sadrži i znatne količine dušika koji se ponaša kao inertni razrjeđivač (smanjuje ogrjevnu moć plina).



Slika 1. Pojednostavnjena shema IGCC-sustava (glavne komponente)

Sirovi plinovi što napuštaju rasplinjač također sadrže nepoželjne sastojke plina, sumpor i dušik u formi sumporovodika (H_2S), odnosno amonijaka (NH_3), krute čestice itd. Radi odstranjivanja krutih čestica koriste se razne vrste filtara (ciklonski, elektrostatski i dr.) i/ili mokri postupci. Sadržaj krutih čestica je pod utjecajem strogih zahtjeva za čistoću plina na ulazu u plinsku turbinu, čime se automatski zadovoljavaju i njihove emisije u atmosferu (ponekad je moguće da zrak na ulazu u kompresor plinske turbine ima veći sadržaj krutih čestica od plina). Sadržaj neizgorenog ugljika u sirovu plinu, odnosno u odstranjenim krutim česticama, ovisi ponajprije o tipu procesa rasplinjavanja. Radi smanjenja energetskih gubitaka poželjno je recirkulirati koksni ostatak u rasplinjač.

Plinovi se zatim vode u sustav za odstranjivanje sumpora. Primjenjuju se uglavnom mokri postupci. U uvjetima što vladaju tijekom procesa rasplinjavanja (djelomično oksidiranje), u ugljenu prisutni sumpor pretvori se uglavnom u H_2S, a manji dio u COS ili CS_2. Postupak odsumporavanja je, dakle, jednostavniji nego pri potpunom izgaranju gdje je sumpor u obliku SO_2. Moguće je, bilo kojim dokazanim postupkom odsumporavanja, postići 95—99%-tnu efikasnost uz manje troškove nego kod klasičnih termoenergetskih postrojenja (izgaranje ugljene prašine). Neovisno o tome radi li se o mokrim ili suhim postupcima odsumporavanja u IGCC-sustavima proizvod je čisti tržišno vrijedan sumpor. U toj fazi uklanjaju se iz plinova i eventualno prisutni kloridi, amonijak i dr.

Tako očišćeni plinovi mogu se ponovno grijati i u nekim slučajevima zasititi parom ili miješati s dušikom iz postrojenja za separaciju zraka (proizvodnju kisika potrebnog za proces rasplinjavanja) radi pripreme za izgaranje u komori plinske turbine. Iskustva su pokazala da se povećanjem inertnih sastojaka u plinu (N_2, CO_2, H_2O) postižu prihvatljivi nivoi emisija NO_x. Uz istovremeno održavanje potpunog izgaranja postižu se NOx emisije < 100 mg/m³.

Toplina ispušnih plinova iz plinske turbine koristi se za dobivanje pare u kotlu utilizatoru (moguće su i izvedbe kod kojih ispušni plinovi iz plinske turbine sadrže otprilike 15% preostalog kisika, tako da se mogu koristiti umjesto primarnog zraka potrebnog za izgaranje u konvencionalnim parnim postrojenjima). Osim toga, za pogon parne turbine može se koristiti i para dobivena u rasplinjaču i/ili hladnjaku plina.

U takvom jednom postrojenju približno 60% proizvedene energije otpada na plinsku turbinu. To je, uz visoko iskorištenje »otpadne« topline ispušnih plinova, jedan od glavnih razloga relativno visokom ukupnom stupnju korisnoga djelovanja tipičnog IGCC-postrojenja (42—45% osnivano na donjoj ogrjevnoj moći goriva). Razvojna poboljšanja na pojedinim komponentama postrojenja, uz primjenu visokotemperaturnih postupaka čišćenja sirovog plina (čime se izbjegava obvezatno hlađenje sirovog plina prije čišćenja klasičnim postupcima), omogućit će u skoro vrijeme povećanje ukupnog stupnja korisnoga djelovanja preko 45%.

Osim visoke efikasnosti IGCC-postrojenja i relativno lakog zadovoljavanja strogih kriterija u pogledu emisije zagađivača, kvaliteta krutog i tekućeg otpada, od ostalih prednosti ove tehnologije, potrebno je istaknuti i mogućnost fazne izgradnje (vidjeti poglavlje 2.3).

2.2. Dosadašnja iskustva i komercijalni IGCC projekti

Kako slijedi iz tablice 1, u kojoj je dan pregled postojećih (i planiranih) termoelektrana s IGCC-tehnologijom, prva veća ispitna IGCC-postrojenja puštena su u pogon 1972. (170 MW, Luenen, Njemačka) i 1984. godine (117 MW, Cool Water, SAD). Oba postrojenja su zatvorena zbog visoke proizvodne cijene električne energije (Luenen 1977, Cool Water 1988. godine), no tijekom pogona stečena su dragocjena iskustva. Treće veliko demonstracijsko postrojenje s IGCC-tehnologijom izgradila je 1987. godine tvrtka DOW (161

Tablica 1. Pregled postrojenja s novim tehnologijama izgaranja ugljena

Lokacija	Kapacitet	Proizvođač	Godina pušt. u pogon
Postrojenja s IGCC-tehnologijom			
Luenen, Njemačka	170 MW	Lurgi	1972.
Cool Water, SAD	117 MW	Texaco	1984.
Plaquemine, SAD	161 MW	Dow	1987.
Buggenum, Nizozemska	250 MW	Shell	1993.
Freetown, SAD	2 × 440 MW	Texaco	1995.
Postrojenja s ASFB-tehnologijom			
Black Dog, SAD	130 MW	Foster W.	1986.
Shawnee, SAD	160 MW	Foster W.	1988.
Burnsville, SAD	120 MW	Foster W.	1986.
Takahara, Japan	350 MW	n.p.	1994.
Postrojenja s ACFB-tehnologijom			
Kajaani, Finska	240 MJ/s	Ahlstrom	1989.
Seinajoki, Finska	299 MJ/s	Ahlstrom	1990.
Emile Huchet, Francuska	288 MJ/s	Lurgi	1990.
Duisberg, Njemačka	208 MJ/s	Lurgi	1985.
Bewag, Njemačka	222 MJ/s	Lurgi	1989.
Idemitsu, Japan	207 MJ/s	Mitsui	1987.
Ulsan, J. Koreja	200 MJ/s	HHI/Ahlstrom	1990.
Chester, SAD	204 MJ/s	CE/Lurgi	1986.
Nucla, SAD	291 MJ/s	PPC/Ahlstrom	1987.
Robertson, SAD	397 MJ/s	CE/Lurgi	1989.
Paducah, SAD	(499 t pare/h)	CE	1989.
Montville, SAD	225 MJ/s	CE/Lurgi	1989.
Mahoney, SAD	225 MJ/s	CE/Lurgi	1989.
Trona SAD	306 MJ/s	PPC/Ahlstrom	1990.
Postrojenja s PSFB-tehnologijom			
Vaertan, Švedska	125 MW/220 MJ/s (2 bloka)	ABB	1991.
Tidd, SAD	70 MW	ABB	1990.
Escatron, Španjolska	79 MW	ABB	1990.
Kyushu, Japan	360 MW	ABB	1996.

Podaci iz 1992. godine.

MW, Plaquemine, SAD). Osim spomenutih, otvoreno je i nekoliko manjih ispitnih postrojenja.

Glavni nedostatak IGCC-tehnologije, koji usporava njezino šire komercijalno korištenje, jesu zasad relativno visoki investicijski troškovi. Ipak, danas u svijetu dvadesetak zemalja ima aktivne razvojne i istraživačke programe vezane za primjenu ove tehnologije. Komercijalne projekte nudi nekoliko tvrtki od kojih su u prvom planu Shell i Texaco. Osim projekta Cool Water (planirano je ponovno puštanje u pogon 1992), Texaco u suradnji s General Electric razvija projekt dva bloka snage 440 MW (Freetown Energy Park, SAD) od kojih bi prvi trebao biti pušten u pogon već 1995. godine.

Osnovna je razlika između Texaco i Shell procesa rasplinjavanja u sustavu pripreme goriva. Texaco proces rasplinjavanja primjenjuje napajanje suspenzijom, što rezultira manjom efikasnosti postrojenja u usporedbi sa Shellovim procesom. Vjerojatno je i to jedan od razloga primjene procesa rasplinjavanja tvrtke Shell u prvom komercijalnom IGCC-postrojenju (250 MW, Buggenum, Nizozemska) unatoč tome što spomenuti proces do sada nije demonstriran u sklopu kompletnoga parno-plinskog postrojenja. Završetak izgradnje IGCC-postrojenja u Buggenumu, prema vremenskom planu aktivnosti, trebao bi biti tijekom ove godine.

Sljedeći projekt u sklopu istog programa jest postrojenje snage 400 MW u mjestu Borssele. Izbor tehnologije rasplinjavanja ovisit će ponajviše o stečenim iskustvima s postrojenja u Buggenumu. To će, dakako, utjecati i na ostale planirane IGCC-projekte u svijetu.

2.3. Fazna izgradnja IGCC-postrojenja

Mogućnost fazne izgradnje postrojenja svojstvena je za sve KOMBI-sustave. Takva fleksibilnost u izgradnji smanjuje investicijske rizike povezane s pogrešnim prognozama energetskih potreba i cijena goriva. U prvoj fazi može se izgraditi samo postrojenje plinske turbine čije je vrijeme izgradnje relativno kratko. Kako potrebe za energijom rastu, dodatna izgradnja kotla utilizatora i parne turbine (povezivanje u KOMBI-ciklus) omogućit će ne samo veći kapacitet, nego i povećati učinkovitost postrojenja. I konačno, kada se pokaže isplativo, a s obzirom na cijenu goriva, u KOMBI-ciklus može biti integrirano i postrojenje za rasplinjavanje ugljena.

Analize su pokazale da je u tom slučaju optimalan, u energetskom i ekonomskom pogledu, BG/Lurgi-proces unatoč manama koje karakteriziraju takav tip rasplinjavanja u sloju (osjetljivost na promjenu granulacije ugljena, prisutnost katrana i sličnih sastojaka u sirovu plinu, što otežava primjenu visokotemperaturnih postupaka čišćenja). Osnovni razlog tome je, u prvom redu, nizak stupanj integracije, odnosno povezivanja pojedinih komponenata kemijske (postrojenje za rasplinjavanje) i električne jedinice pri primjeni BG/Lurgi-procesa.

3. IZGARANJE UGLJENA U FLUIDIZIRANOM SLOJU

Izgaranjem ugljena u fluidiziranom sloju komercijalno je dokazana tehnologija koja se razvija od 30-ih godina ovog stoljeća. Međutim, tek se u posljednjih 15-20 godina počelo intenzivno razmišljati o njezinoj primjeni za energetske svrhe. To je inicirano ponajprije razvojem tehnologija izgaranja ugljena u smjeru smanjenja dimenzija samog ložišta, zatim donošenjem sve oštrijih propisa glede utjecaja na okoliš (u prvom redu ograničenjem emisija zagađivača), te po-

trebom za racionalnijom uporabom ugljena. Glavne prednosti ove tehnologije, redukcija emisija i fleksibilnost u pogledu kvalitete goriva dolazile su, prema tome, sve više do izražaja. Povećanje tlaka u ložištu (primarno zbog ubrzanja svih fizikalno-kemijskih procesa pri izgaranju) i uporaba plinske turbine (spajanje u parno-plinski ciklus) omogućili su postizavanje višega ukupnog stupnja korisnoga djelovanja postrojenja.

Fluidizirani sloj (FB — fluidised bed) čine krute čestice (pepeo krutoga goriva i/ili čestice pijeska određene granulacije) u stanju gibanja koje se postiže strujom zraka. Pri tome se čestice ne iznose iz sloja koji poprima neke fizikalne karakteristike kapljevitog medija — mali gradijenti temperatura u sloju i intenzivni prijenos topline (ako postoje temperaturne razlike). Temperatura u sloju je između 750 °C i 950 °C. Upravo je zbog niskih temperatura u ložištu bitno smanjeno nastajanje, odnosno emisija dušikovih oksida (ovisno o tipu sloja 150—300 mg/m³).

Radi smanjenja sadržaja SO_2 u dimnim plinovima u fluidizirani sloj dodaje se sredstvo za vezanje sumpora (vapnenac ili dolomit). Efikasnost odsumporavanja / vezanja sumpora između ostaloga ovisi o kvaliteti i količini dodavanog sredstva. Moguće je postići i 95%-tnu efikasnost. Dobiveni nusproizvod gips odstranjuje se iz ložišta zajedno s pepelom. Velike količine krutog otpada nedostatak su ove tehnologije glede utjecaja na okoliš.

Ovisno o tlaku u ložištu razlikuju se dva osnovna tipa fluidiziranog sloja — atmosferski FB i pretlačni FB.

3.1. Tehnologija izgaranja ugljena u atmosferskom fluidiziranom sloju

Za razliku od ostalih novih tehnologija izgaranja ugljena, ova rješenja razlikuju se prema klasičnim postrojenjima s izgaranjem ugljene prašine (bez postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova i DE-NOx-mjera) samo u izvedbi generatora pare, odnosno kotlovskog postrojenja. Ovisno o brzini fluidizacije (Wfs), odnosno toplinskom opterećenju presjeka sloja (qF), razlikujemo nekoliko tipova atmosferskog fluidiziranog sloja (osnovne razlike i načela rada dani su na slici 2):

— stacionarni sloj
— cirkulirajući sloj
— ekspandirani sloj (CIRKOFLUID).

3.1.1. *Atmosferski stacionarni fluidizirani sloj* — ASFB(Atmospheric Stationary Fluidised Bed)

ASFB je prvo rješenje generatora pare s izgaranjem u fluidiziranom sloju. Razvoj ASFB-a tekao je sporije no što se prvobitno očekivalo, pa ostaje činjenica da se od svih tipova fluidiziranog sloja upravo ASFB prvi počeo komercijalno koristiti. Jasno, redovito su to u početku bila manja postrojenja za industrijsku uporabu, a danas se jedinice s izgaranjem u ASFB-u nalaze na početku komercijalnog korištenja u energetske svrhe u velikim sustavima za proizvodnju električne i toplinske energije. No, u usporedbi s tehnologijama izgaranja u atmosferskom cirkulirajućem sloju, ASFB sustavi čine se manje perspektivnim (vidjeti tablicu 1). Evidentna je tendencija da se postrojenja velike snage realiziraju s cirkulirajućim slojem. Razlog tome su još uvijek postojeći nedostaci ASFB-tehnologije od kojih se izdvajaju:

— nizak stupanj djelovanja ložišta
— nisko iskorištenje dodavanog vapnenca
— nezadovoljavajući učinci u pogledu smanjenja stvaranja NO_x (zbog nemogućnosti višestepenog izgaranja, što bi daljnje pogoršalo stupanj djelovanja ložišta)
— mogućnosti promjene opterećenja u uskim granicama (osim u slučaju višećelijskog fluidiziranog sloja, što bitno usložnjava konstrukciju).

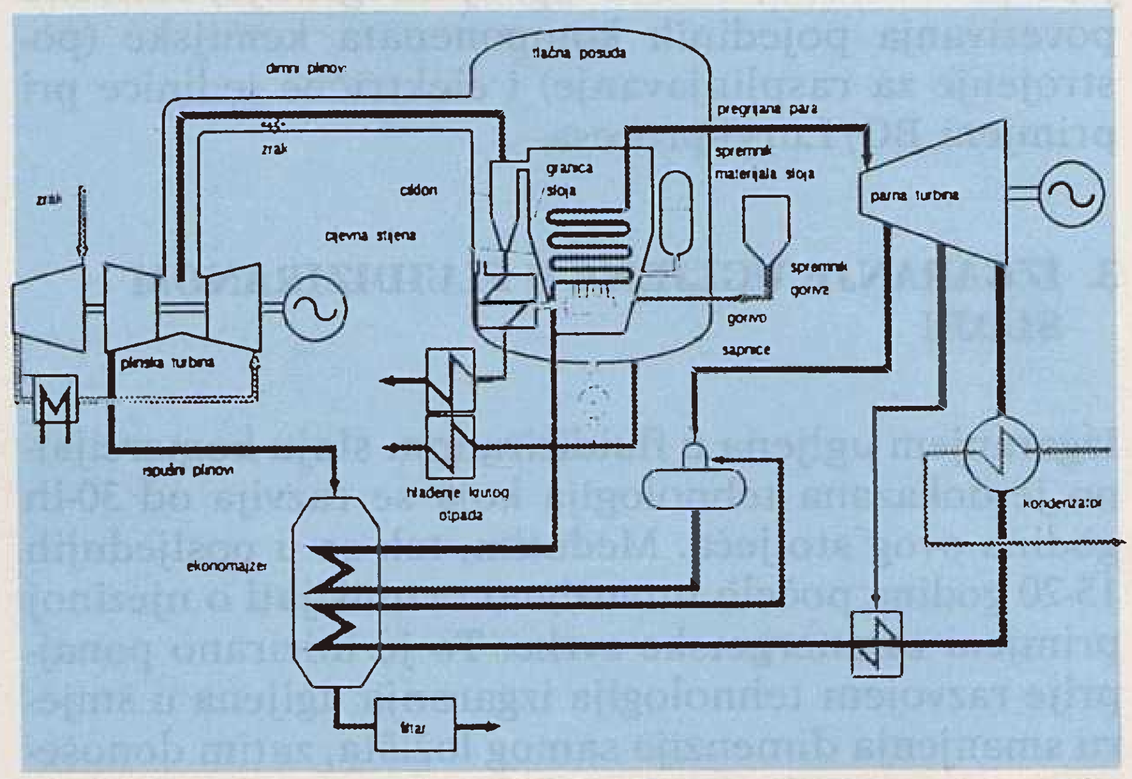
Unatoč spomenutim nedostacima, planirano je da se u Japanu 1994. godine pusti u pogon postrojenje kapaciteta 350 MW, Takahara (izvedba generatora pare s dvije ćelije), no to je za sada jedino planirano postrojenje takve snage s ASFB-tehnologijom. Malo je vjerojatno da će se takve jedinice razvijati/graditi u Europi ili SAD. Do sada maksimalna postignuta snaga ASFB postrojenja iznosi 160 MW (TE Shawnee, puštena u pogon 1988. godine, SAD).

3.1.2. *Atmosferski cirkulirajući fluidizirani sloj* — ACFB (Atmospheric Circulating Fluidised Bed)

Razvojem ACFB-a uspješno su riješeni nedostaci ASFB-tehnologije, no njegova primjena pokazala je neke druge nedostatke kao što su:

— povećani investicijski troškovi
— povećana vlastita potrošnja električne energije
— relativno dugo vrijeme startanja postrojenja.

Potrebno je naglasiti da osim uočenih nedostataka ASFB-a i ACFB-a prije spomenute prednosti fluidiziranog sloja i dalje ostaju kao opće važeće. Specifični problemi pojedinoga tehničkog rješenja rješavaju se od slučaja do slučaja raznim konstruktivnim zahvatima. Za ilustraciju, kod ASFB-a se problem rada u širokom opsegu regulacije riješio izvedbom ložišta s 3 komore.



Slika 2. Shematski prikaz rada osnovnih tipova fluidiziranog sloja

Najviše primjenjivani ACFB jest klasično rješenje tvrtke Ahlstrom (poznato pod nazivom Pyroflow). Karakteriziraju ga velike brzine strujanja smjese produkata izgaranja i cirkulirajuće krute faze (pijesak + pepeo), visok sadržaj krute faze u smjesi i velika recirkulacija. Na izlazu iz ložišnog dijela smješten je ciklon koji radi na približno 850 °C, što zahtijeva specifična tehnička rješenja i dugo startanje postrojenja. Kako ACFB nema uronjenih izmjenjivačkih površina u sloju (zbog velikih brzina i jake erozije), u ložištu se odaje malo topline. Stoga, zbog održavanja temperature sloja mora egzistirati velika količina recirkulirajućeg materijala temperature 30—40 °C niže od temperature sloja.

Do sada ostvareni rezultati u eksploataciji ovakvog rješenja omogućili su u proteklih desetak godina izgradnju znatnog broja postrojenja širom svijeta (u tablici 1. navedeni su postojeći ACFB generatori pare kapaciteta većeg od 200 MJ/s). Treba, međutim, naglasiti da još uvijek nije ostvaren očekivani porast snage postrojenja. Najveći generator pare ove koncepcije (za sada) ima toplinsku snagu 306 MJ/s i produkciju pare 413 t/h (105 bar/541 °C). Postrojenje je pušteno u pogon 1990. godine u SAD.

Daljnji razvoj ove tehnologije rezultirao je rješenjem s hladnjakom cirkulirajućeg materijala. Osnovna razlika u odnosu na Pyroflow jest u tome što se cirkulirajući materijal prije povrata u sloj ohladi. To ne samo da bitno utječe na aerodinamiku i preraspodjelu energetskih tokova, već usložnjava i sustav protoka vode i pare. Najveći generator pare ovoga tipa (Lurgi) toplinske je snage 397 MJ/s i produkcije pare 500 t/h (138 bar i 540/540 °C). Postrojenje je krenulo u pogon 1989. godine u Texasu (SAD).

3.1.3. *Atmosferski ekspandirani fluidizirani sloj* — cirkofluid

Razvojem tehnologije cirkofluida pokušalo se objediniti prednosti ASFB-a kao što su:

— niži investicijski troškovi
— mala vlastita potrošnja električne energije
— kratko vrijeme pokretanja i obustave postrojenja,

s prednostima klasičnog ACFB-a, tj.

— visoki stupanj djelovanja ložišta
— visoki stupanj vezanja sumpora kod niskog molnog omjera (Ca/S)
— niska emisija NO_x zbog stupnjevanog izgaranja
— moguć rad u širokom opsegu regulacije.

Cirkofluid svojim aerodinamičkim i energetskim značajkama predstavlja prijelaz od ASFB prema klasičnom ACFB-u. Unatoč tome, ponekad se tretira i kao cirkulirajući fluidizirani sloj. Strujanje manjim brzinama smjese s manjim sadržajem krute faze omogućilo je smještaj dijela konvektivnih površina u ložištu, a time i hlađenje smjese prije ciklona na približno 350 °C, čime se znatno smanjuje potrebna količina cirkulirajućeg materijala (još uvijek dovoljno velika da osigura visoki stupanj djelovanja ložišta i dobro iskorištenje dodavanog apsorbenta).

Broj postrojenja s CF-om najmanji je, što je i razumljivo, jer je ta tehnologija najnovija, pa su i snage znatno niže. Izgrađeni generatori pare Roemerbruecke (150 t/h pare) i Offenbach (2 × 110 t/h) postigli su zadovoljavajuće rezultate, tako da je DBW ugovorio izgradnju GP produkcije 290 t/h. Tehnologijom CF-a DBW danas je spreman graditi postrojenja produkcije pare do 500 t/h, no prijelaz na veće snage zahtijevat će rješavanje problema izgaranja u dvije komore, što do danas nije zadovoljavajuće riješeno (iskustva iz SAD-a). Ipak, CF tehnologija, kao najmlađe rješenje, ima najviše mogućnosti za razvojna poboljšanja i kao takva najveću perspektivu od svih izvedaba atmosferskoga fluidiziranog sloja.

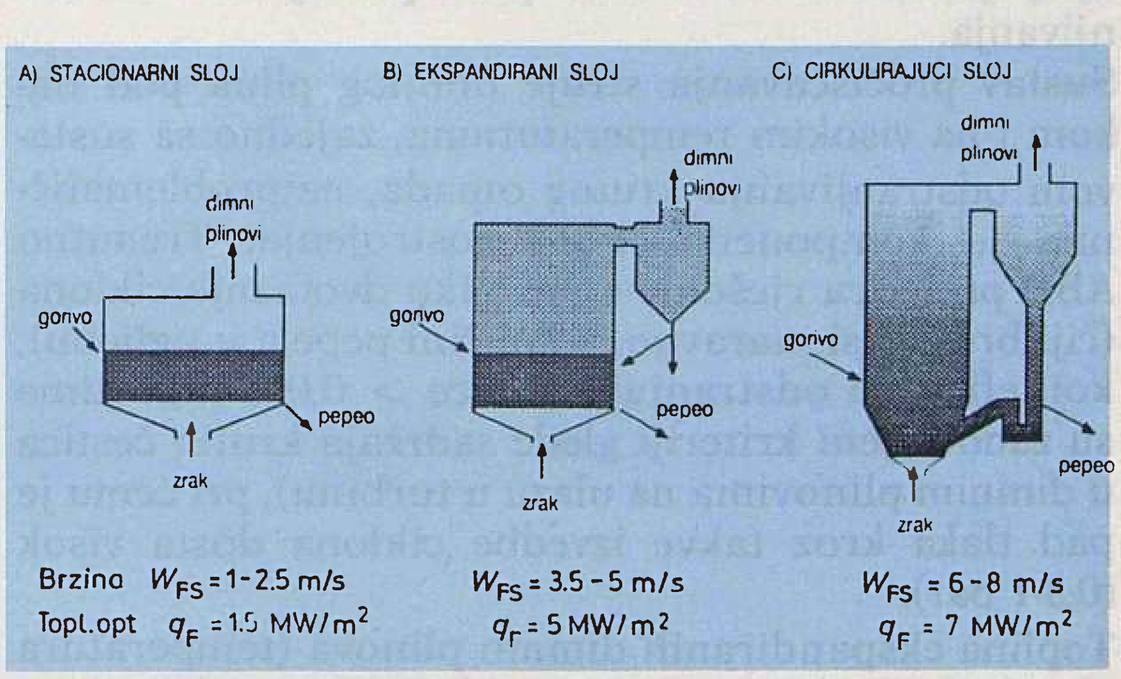
3.2. Tehnologija izgaranja ugljena u pretlačnom stacionarnom fluidiziranom sloju

Razvoj tehnologije izgaranja u pretlačnom fluidiziranom sloju od samog početka (1960—70-ih) osnivao se na načelima stacionarnog sloja. Danas se sustavi s pretlačnim stacionarnim fluidiziranim slojem (PSFB — Pressurised Stationary Fluidised Bed) nalaze na početku komercijalne primjene. Tim rješenjem, osim povećanja ukupnog stupnja korisnoga djelovanja (približno 4%), ne samo da su zadržane osnovne prednosti FB-a, nego su i poboljšane.

Daljnji razvoj ove tehnologije uključuje rješenja s pretlačnim cirkulirajućim slojem (PCFB — Pressurised Circulating Fluidised Bed). Zbog prednosti cirkulirajućeg sloja realno je očekivati približno iste ili čak nešto bolje energetsko-ekološke značajke u usporedbi s PSFB-sustavima. No opširniji podaci o PCFB-tehnologiji za sada nisu dostupni, te je stoga teško procijeniti u kojoj se fazi razvoja nalaze ovi sustavi i da li će i kada ući u komercijalnu primjenu.

3.2.1. *Opis procesa*

Tipična izvedba PSFB-postrojenja shematski je prikazana na slici 3. U ložište sa stacionarnim fluidiziranim slojem ubacuje se ugljen zajedno sa sredstvom za vezanje sumpora (vapnenac ili dolomit) na način koji ponajprije ovisi o svojstvima ugljena. Komprimirani zrak iz postrojenja plinske turbine, potreban za fluidizaciju i izgaranje, upuhuje se kroz sapnice s dna ložišta.



Slika 3. Shematski prikaz postrojenja s PSFB tehnologijom

Izgaranje se odvija na tlaku 10-16 bar, što ovisi o tipu plinske turbine (odnosno kompresoru) i temperaturi 750—900 °C (gornja granica je limitirana točkom taljenja pepela i reakcijama vezanja sumpora). Povišenje tlaka u ložištu omogućilo je veću visinu sloja (3-4 m za puno opterećenje), niže brzine fluidizacije (do 1 m/s) u usporedbi s istim pri izgaranju u stacionarnom sloju na atmosferskom tlaku. Time je produženo vrijeme kontakta plin/kruto (3-4 s), što rezultira većom efikasnosti izgaranja, ali i odstranjivanja/vezanja sumpora (> 90%).

Karakteristično za PSFB izvedbe jesu i niže emisije NO_x. Za uobičajene pretičke zraka (1,15-1,2) i parametre izgaranja u ložištu mogu se očekivati NO_x emisije do 100 mg/m³. S jednostavnim ubrizgavanjem reducirajućih aditiva u malim količinama (ali bez katalitičkih reakcija) ta vrijednost može biti spuštena i do 60 mg/m³. Dok su uzroci efikasnijeg vezanja sumpora s apsorbentom u ložištu evidentni, sam mehanizam stvaranja/raspadanja dušikovih oksida kod ovih sustava još uvijek nije potpuno razjašnjen.

Samo ložište, pravokutnog presjeka, omeđeno je membranskim cijevnim stijenama kotla (izmjenjivačke cijevi kotla) i nalazi se u tlačnoj posudi u kojoj je smješten i sustav za odstranjivanje krutih čestica (cikloni). Prostor između cijevnih zidova ložišta i zidova tlačne posude ispunjen je komprimiranim zrakom. Preostali (veći) dio izmjenjivačkih cijevi kotla potpuno je (za vrijeme punog opterećenja) uronjen u sloj. Ovisno o samom projektu, toplina izgaranja može se osim zagrijavanja/isparavanja napojne vode, odnosno pregrijanja pare, koristiti i za međupregrijanje u parnom krugu.

Od ukupne količine pepela sadržanog u ugljenu manji dio (30-40%) odstranjuje se s dna ložišta, a preostali dio odlazi zajedno s dimnim plinovima (problem velikih količina krutog otpada i dalje ostaje). I dok primarno pročišćavanje dimnih plinova u ciklonima, na visokim temperaturama i tlaku djelomično zadovoljava uvjete plinske turbine (koja je u ovom slučaju prilagođena teškim uvjetima rada), nužno je, zbog zadovoljavanja sve strožih propisa zagađivanja zraka, dodatno (sekundarno) čišćenje prije samog puštanja u atmosferu. U tu svrhu koriste se elektrostatski filtri ili pak razne izvedbe vrećastih filtera. Ako ugljen sadrži određeni postotak alkala, potrebno je (neposredno prije plinske turbine, a nakon izdvajanja pepela) uvesti u sustav i postupke njihova odstranjivanja.

Sustav pročišćavanja struje dimnog plina pod tlakom i na visokim temperaturama, zajedno sa sustavom odstranjivanja krutog otpada, najproblematičnija je komponenta PSFB-postrojenja. Trenutno ABB preferira rješenje s nekoliko dvofaznih ciklona (čiji broj ovisi, naravno, o količini pepela u ugljenu), koji efikasno odstranjuju čestice > 0,005 mm (time su zadovoljeni kriteriji glede sadržaja krutih čestica u dimnim plinovima na ulazu u turbinu), pri čemu je pad tlaka kroz takve izvedbe ciklona dosta visok (0,3-1 bar).

Toplina ekspandiranih dimnih plinova (temperatura na izlazu iz turbine iznosi približno 400 C) iskorištava se za zagrijavanje napojne vode u ekonomajzeru, i to čini manji dio, (10-15%) od ukupno predane topline parnom krugu. Naime, veći dio topline potrebne za postizavanje željenih parametara pregrijane pare (koji u ovom slučaju nisu limitirani izlaznim uvjetima plinske turbine, već upotrebljenim materijalom izmjenjivačkih cijevi) slijedi iz samog ložišta, što je sasvim netipično za klasično KOMBI-postrojenje. Osim toga, dio ukupne proizvedene energije postrojenja koji se proizvede u krugu plinske turbine iznosi maksimalno 20%.

3.2.2. *Dosadašnja iskustva i komercijalni PSFB-projekti*

Napori nekoliko vodećih svjetskih tvrtki (ABB, Babcock. . .) rezultirali su komercijalnom primjenom ove tehnologije u samom početku devedesetih. Do danas jedina PSFB postrojenja komercijalno korištena puštena su u pogon tijekom 1989/90. godine (vidjeti tablicu 1), u Švedskoj (Vaertan), Španjolskoj (Escatron) i SAD (Tidd). Sva tri projekta osnivaju se na ABB-tehnologiji (blokovi približno podjednake snage). Procjenjuje se da će do kraja stoljeća biti moguće povećati kapacitete PSFB-postrojenja i na više od 300 MW.

U Japanu se već 1996. godine planira završetak izgradnje postrojenja Kyushu kapaciteta 360 MW (također ABB tehnologija), dok izvedivost 330 MW-nog projekta njemačke tvrtke Babcock ovisi isključivo o iskustvima s njezinih demonstracijskih postrojenja (kapaciteta 15 MJ/s i 35 MW).

Zahvaljujući razvojnim potencijalima, od kojih je potrebno istaknuti visokotemperaturne postupke čišćenja plina, moguće je očekivati gotovo 45%-tnu efikasnost (Hd) budućeg PSFB-postrojenja uz, dakako, još povoljnije ekološke značajke. Stoga je sasvim realno predviđati da će PSFB-sustavi, zajedno s ostalim čistim tehnologijama izgaranja ugljena u sklopu KOMBI-ciklusa, postati jedna od dominantnih tehnologija proizvodnje električne energije.

4. KOMPARATIVNA ANALIZA REFERENTNIH TEHNOLOŠKIH RJEŠENJA

Cilj komparativne analize provedene u sklopu studije »Nove tehnologije izgaranja ugljena« (knjiga 1. studije »Razvoj termoelektrana loženih ugljenom«, EKONERG, 1993) je ekonomska usporedba promatranih tehnologija izgaranja ugljena u termoelektranama, imajući na umu pretpostavljena ekološka ograničenja (pri čemu se misli na dopuštene vrijednosti emisija pojedinih sastojaka dimnih plinova).

Valorizacija promatranih varijanti sagledana je sa stajališta investitora projekta, a kao metodska osnovica korištena je metoda neto sadašnje vrijednosti. Radi lakšeg uvida u podatke konačni rezultati su dani u obliku troškova po jedinici proizvedene električne energije (kWh). Sva primanja i davanja u periodu promatranja projekta svedena su na početak rada termoelektrane. Kao period promatranja uzeto je

razdoblje izgradnje i razdoblje eksploatacije termoelektrane. Na osnovi podataka iz literature pretpostavljeno je 4 godine za period izgradnje, odnosno 25 godina za period eksploatacije.

Usporedba novih tehnologija izgaranja ugljena za TE provedena je s termoelektranom s izgaranjem ugljene prašine snage 350 MW u uvjetima nekoliko ekoloških ograničenja (standardi odsumporavanja dimnih plinova).

Suvremene tehnologije izgaranja ugljena koje su uključene u komparativnu ekonomsku analizu (vidjeti tablicu 3) s naprijed navedenom klasičnom TE definirane su na osnovi prije provedenih razmatranja.

Kriteriji u vezi sa zaštitom okoliša koje moraju zadovoljiti sve tehnologije izgaranja ugljena, odnosno dopuštene vrijednosti emisija SO_x, NO_x i krutih čestica, usvojeni su prema preporukama Europske zajednice (400, 650 i 50 mg/m³). Osim toga, za niskosumporne ugljene i suho odsumporavanje dimnih plinova razmatrana je i dodatna varijanta standarda emisije za SO_x od 800 mg/m³. Pri definiranju ovog kriterija imali su se na umu specifični uvjeti razvoja Republike Hrvatske, a pri čemu su kao uzor poslužili primjeri Španjolske, Turske itd.

Kako bi rezultati studije bili što bliži uvjetima u Hrvatskoj, na osnovi ponuda za isporuku ugljena iz raznih strana svijeta za Plomin 1 i 2 odabran je referentni ugljen (nisko i srednje sumporni uvozni ugljen). Iako Hrvatska u ovom trenutku ne raspolaže lignitima koji bi se koristili za izgaranje u termoelektranama, kompletnost analize nametnula je razmatranje i te hipotetske mogućnosti. Odabrana je tehnologija CIRKOFLUIDA kao jedna od povoljnijih varijanti za izgaranje lignita. U tu svrhu definirane su karakteristike lignita potrebne za analizu, a kao referenca poslužili su podaci nalazišta Poljanice — Šušoberg.

Neizvjesnosti utkane u proces svake valorizacije što se unose ulaznim podacima pokušale su se prevladati analizom osjetljivosti rješenja na promjenu nekih ulaznih parametara čije odstupanje može bitnije utjecati na rezultat valorizacije. Pitanje neizvjesnosti budućih cijena energije razmotreno je u domeni cijena koje odgovaraju adekvatnom rasponu cijena nafte od Cn = 150-200 USD/t. Monetarni odnos (i neizvjesnosti s tim u vezi) razmatran je uz odnos valuta 1 USD = 1.7 i 2 DEM. Pitanje cijene novca i visine ekonomskog rizika investicije obuhvaćeno je rasponom diskontne stope od Akt = 5 do 12%.

4.1. Ulazni podaci za valorizaciju

A) *Cijene energetskih oblika, odlaganja krutog otpada i vapnenca*

Dugoročnost sagledavanja potreba uvoza kamenog ugljena, prirodnog plina i nafte i opredjeljenje da se domaće cijene nafte i prirodnog plina izjednače s uvoznima (što je i logično u svijetu s otvorenom i tržišnom privredom) navode na račun sa svjetskim cijenama tih oblika energije.

Nafta je ekonomska osnova svjetske energetike, a to će ostati i početkom idućeg tisućljeća. Ovisno o cijeni nafte, a na osnovi dosadašnjih iskustava u svijetu (objavljene elaboracije EKONERGA) definirane su cijene ostalih energetskih oblika, kako je prikazano u tablici 2.

Za cijenu mljevenog i sušenog vapnenca usvojeno je 42 USD/t, pri čemu su uračunati i troškovi transporta do lokacije termoelektrane. Prihod od prodaje gipsa kao korisnog produkta odsumporavanja određen je na osnovi prodaje 25% ukupnih godišnjih količina po cijeni 5 USD/t. Ostale količine šljake, pepela i gipsa odvoze se na deponij. Pretpostavljeno je da su specifični troškovi odlaganja krutog otpada jednaki specifičnim troškovima transporta ugljena (6 USD/t krutog otpada). U varijantama s rasplinjavanjem ugljena koristan produkt odsumporavanja jest sumpor. Pretpostavljeno je da se od ukupnog sumpora iz goriva izdvoji 97% i cijela količina proda po cijeni 120 USD/t.

B) *Energetsko-ekonomske značajke promatranih rješenja*

Komparativna analiza različitih rješenja (tehnologija) izgaranja ugljena traži koherentni skup ulaznih podataka. Pri investicijama u postrojenja za transformaciju energije navedena koherentnost mogla bi se osigurati istovremenim prikupljanjem ponuda i izradbom investicijskih programa za sva postrojenja što se razmatraju. Razumljivo, takav pristup nije racionalan. S druge strane, neozbiljnost preliminarnih ponuda (onih za koje se zna da se neće realizirati), veliko »šarenilo« dobavljača osnovne energetske opreme i uvjeta financiranja, kao i nepostojanje odgovarajućega standardiziranog sustava praćenja ostvarenih troškova izgradnje termoelektrana otežavaju dobivanje realnih usporednih troškova objekata (takvih koji bi mogli uputiti na specifičnosti gradnje

Tablica 2. Cijene goriva

Gorivo	Dimenzija	Varijante cijena			Dimenzija	Varijante cijena		
Nafta, CIF	USD/t	150.0	175.0	200.0	USD/GJ	3.58	4.18	4.78
Teško loživo ulje, fco. kotao								
— Zagreb i Osijek	USD/t	150.9	176.1	201.1	USD/GJ	3.76	4.38	5.01
— Sisak i Rijeka	USD/t	147.5	172.0	196.6	USD/GJ	3.67	4.28	4.89
Zemni plin fco. kotao	USD/1000 m³	133.9	156.2	178.5	USD/GJ	3.81	4.44	5.08
Uvozni ugljen, fco kotao	USD/t	63.9	67.4	70.5	USD/GJ	2.41	2.54	2.66
Uv. ugljen S<0,6% fco. kota	USD/t	66.6	70.4	73.6	USD/GJ	2.51	2.66	2.78

u našim uvjetima). Zbog toga se koherentnost ulaznih podataka osigurala analizom koja je pošla od zajedničke informacijske osnove za sva postrojenja (bez obzira na karakteristike postrojenja i uvjete u kojima se ona grade), a nakon toga su se naknadnim korekcijama uzele u obzir sve specifičnosti.

U skladu s tim, kao osnova za procjenu investicija u termoelektrane, usvojeni su statistički obrađeni podaci o realiziranim investicijama u SR Njemačkoj, a odnose se na klasična postrojenja s izgaranjem ugljene prašine (kameni ugljen). Udjeli usvojenih investicijskih ulaganja u postrojenja svih promatranih rješenja od tako određene investicije u klasičnu termoelektranu dani su u tablici 3. (kratice dane u tablici uvedene su radi lakšeg označavanja).

Tablica 3. Investicijska ulaganja u termoelektrane

Red. broj	Tehnologija	Kratica	Invest. ulaganja, %
1	Klasična TE s mokrim postupkom odsumporavanja	KLFGD	100
2	Klasična TE sa suhim postupkom odsumporavanja	KLSUHO	90
3	TE s izgaranjem lignita tehnologijom CIRKOFLUIDA	ACFB-L	110
4	TE s izgaranjem uvoznog ugljena tehnologijom CIRKOFLUIDA	ACFB-U	94
5	TE s izgaranjem uvoznog ugljena u pretlačnom stacionarnom FB-u /viši nivo invest	PSFB-1	93
6	TE s izgaranjem uvoznog ugljena u pretlačnom stacionarnom FB-u /niži nivo invest	PSFB-2	100
7	IGCC-postrojenje s rasplinjavanjem ugljena Texaco tehnologijom	TEXACO	107.5
8	IGCC-postrojenje s rasplinjavanjem ugljena Shell tehnologijom	SHELL	106.5
9	IGCC-postrojenje s rasplinjavanjem ugljena BG/Lurgi tehnologijom	BG/LURGI	103.3
10	Fazno izgrađeno IGCC postrojenje s BG/Lurgi tehnologijom	BG/L+K	103.4
11	KOMBI TE s izgaranjem plina	KOMBI	56.6

Budući da podaci iz dostupne literature o investicijskim ulaganjima u postrojenje s PSFB tehnologijom nisu jednoznačni, razmatrane su dvije varijante, iako autori studije smatraju da je varijanta s manjim ulaganjima bliža realnosti.

Na isti način analizirane i određene su ostale energetsko-ekonomske značajke promatranih rješenja (raspoloživost, efikasnost pretvorbe energije, vlastita potrošnja, stalni troškovi pogona).

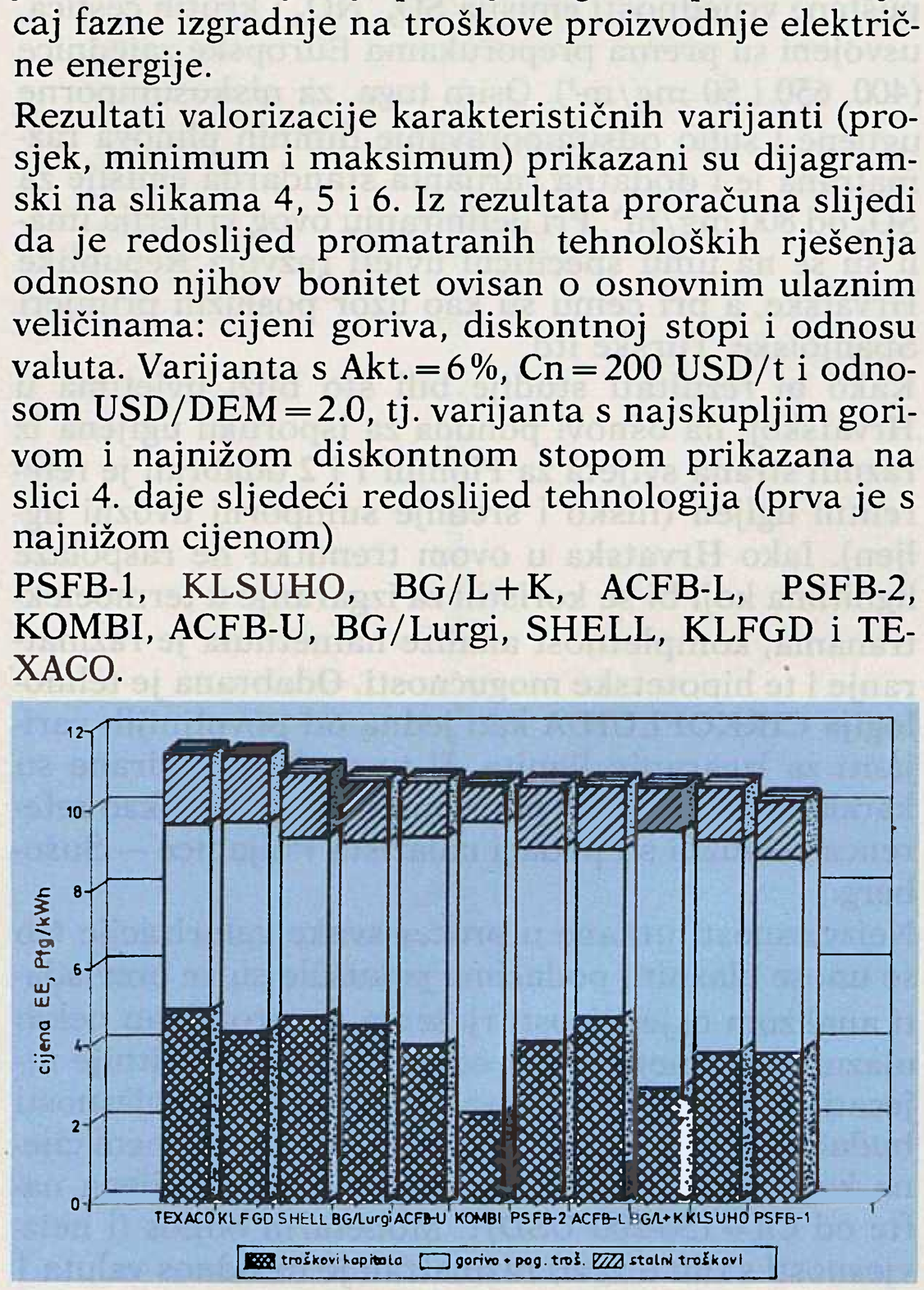
4.2. Provedba i rezultati valorizacije

Osim odabranih tehnologija izgaranja ugljena, analizirani su i troškovi proizvodnje električne energije u KOMBI bloku na plin po istoj metodologiji.

Kod fazne izgradnje (kombi + BG/Lurgi proces rasplinjavanja ugljena) nije se optimirao ulazak u pogon postrojenja za rasplinjavanje, nego se pretpostavilo da je to nakon 12 godina rada samog KOMBI-bloka. Optimalizacijom bi se možda dobilo neko drugo vrijeme, no za to bi bilo potrebno provesti detaljnije analize s definiranim kriterijima i rubnim uvjetima po kojima bi se provela optimalizacija (plina nema dovoljno, cijena plina raste brže od cijene ugljena i sl.). U ovom slučaju osnovna intencija bila je da se osim utjecaja promjene goriva pokaže i utjecaj fazne izgradnje na troškove proizvodnje električne energije.

Rezultati valorizacije karakterističnih varijanti (prosjek, minimum i maksimum) prikazani su dijagramski na slikama 4, 5 i 6. Iz rezultata proračuna slijedi da je redoslijed promatranih tehnoloških rješenja odnosno njihov bonitet ovisan o osnovnim ulaznim veličinama: cijeni goriva, diskontnoj stopi i odnosu valuta. Varijanta s Akt.=6%, Cn=200 USD/t i odnosom USD/DEM=2.0, tj. varijanta s najskupljim gorivom i najnižom diskontnom stopom prikazana na slici 4. daje sljedeći redoslijed tehnologija (prva je s najnižom cijenom)

PSFB-1, KLSUHO, BG/L+K, ACFB-L, PSFB-2, KOMBI, ACFB-U, BG/Lurgi, SHELL, KLFGD i TEXACO.



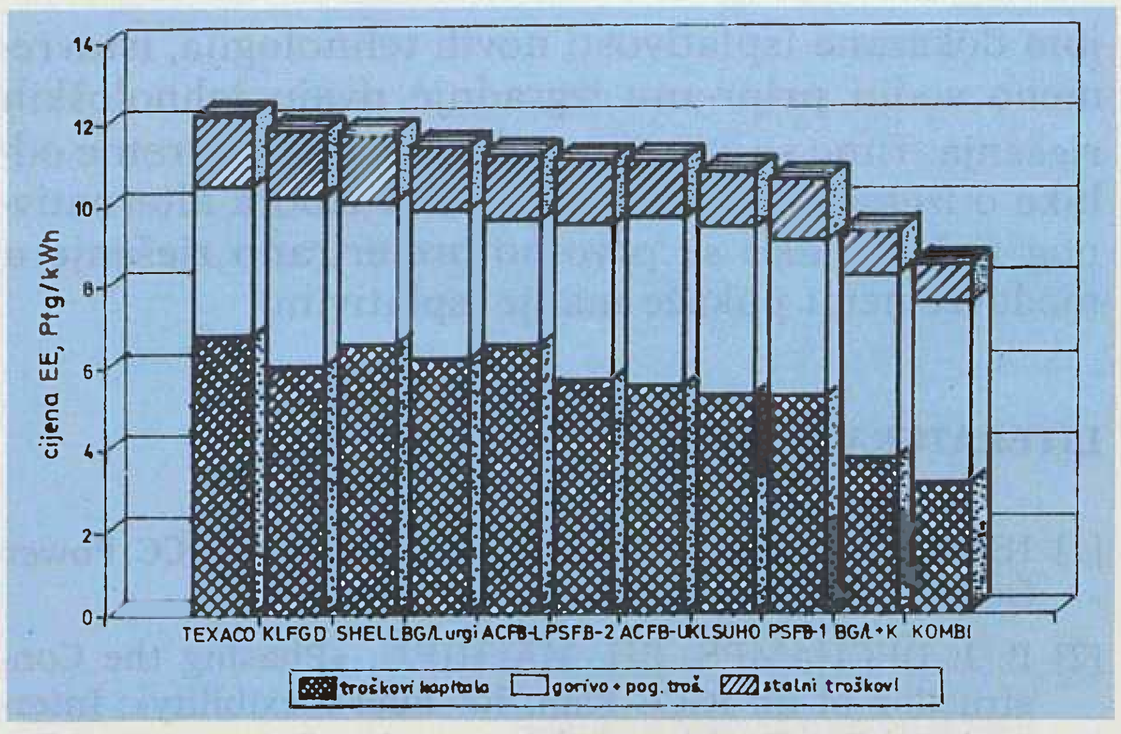
Slika 4. Usporedba termoelektrana (Akt.=6 % USD=2.0* DEM *Cn*=200 USD/t)

Varijanta s Akt.=10%, Cn=150 USD/t i odnosom USD/DEM=1.7 po gorivu, najjeftinija varijanta s najvišom stopom aktualizacije (slika 5), daje sljedeći redoslijed tehnologija:

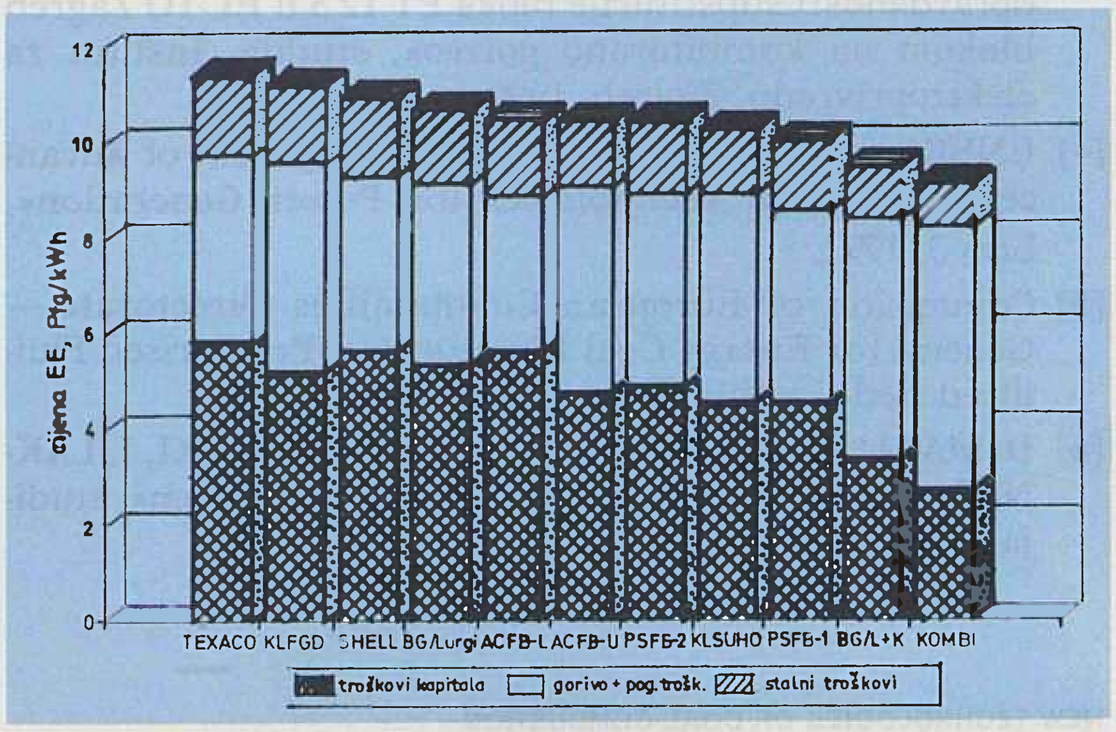
KOMBI, BG/L+K, PSFB-1, KLSUHO, ACFB-U, PSFB-2, ACFB-L, BG/Lurgi, SHELL, KLFGD, TEXACO.

Prosječne vrijednosti variranih ulaznih podataka u varijanti s Akt.=8%, USD/DEM=1.7 i Cn=175 USD (slika 6.) daje sljedeći redoslijed:

KOMBI, BG/L+K, PSFB-1, KLSUHO, PSFB-2, ACFB-U, ACFB-L, BG/Lurgi, SHELL, KLFGD, TEXACO.



Slika 5. Usporedba termoelektrana (Akt. = 10 % USD = 1.7* DEM *Cn* = 150 USD/t)



Slika 6. Usporedba termoelektrana (Akt. = 8 % USD = 1.7* DEM *Cn* = 175 USD/t)

5. ZAKLJUČAK

Racionalna uporaba goriva i briga za zaštitu okoliša osnove su današnjeg razvoja tehnologija izgaranja ugljena u sklopu termoenergetskih postrojenja. Nove tehnologije koje pružaju obećavajuće rezultate u tom pogledu temelje se na rasplinjavanju ugljena i izgaranju u fluidiziranom sloju, ali i na njihovoj kombinaciji.

Tehnologija rasplinjavanja ugljena razvijena je do stupnja da može biti učinkovitost integrirana u parno-plinsko postrojenje. Od nekoliko osnovnih tipova generatora plina optimalnim, kako u pogledu efikasnosti tako i u pogledu utjecaja na okoliš, pokazali su se rasplinjači s rasplinjavanjem u prostoru i BG-/Lurgi tip rasplinjavanja u sloju. Intenzivan razvoj ove tehnologije rezultirao je prvim komercijalnim KOMBI-postrojenjem s integriranim procesom rasplinjavanja (IGCC-postrojenje u Buggenumu, 250 MW, Nizozemska). Desetak drugih projekata nalazi se u raznim fazama planiranja (ili izgradnje). Jedan od glavnih nedostataka IGCC-tehnologije, koji usporava njezinu širu komercijalnu primjenu jesu relativno visoki investicijski troškovi. To se djelomično može kompenzirati faznom izgradnjom IGCC-postrojenja. U tom su slučaju pogodniji (u energetskom i ekonomskom pogledu) za integriranje u KOMBI-ciklus procesi rasplinjavanja s niskim stupnjem integriranosti.

Nedostaci koje su pokazivala prva rješenja tehnologije izgaranja ugljena u fluidiziranom sloju (FB), a u pravilu je to bio atmosferski stacionarni sloj, uvjetovali su daljnji razvoj FB-tehnologije, što je rezultiralo usavršavanjem nekoliko tipova atmosferskoga cirkulirajućeg sloja (ACFB). Do danas ostvareni rezultati u eksploataciji ACFB rješenja omogućili su u proteklih desetak godina izgradnju znatnog broja postrojenja širom svijeta. Treba, međutim, naglasiti da još uvijek nije ostvaren očekivani porast snage bloka s ACFB-tehnologijom. Od svih izvedaba atmosferskog FB-a najveću perspektivu za širu primjenu u klasičnom termoenergetskom postrojenju s parnom turbinom ima rješenje tvrtke DBW (pod komercijalnim imenom cirkofluid). Cirkofluid se ponekad naziva i ekspandirani sloj jer predstavlja prijelaz (i kombinira prednosti) između stacionarnog i cirkulirajućeg sloja.

Općenito, povećanje efikasnosti ACFB postrojenja može se postići uporabom plinske turbine, no takva izvedba tek je jedna od daljnjih mogućnosti, i to prije svega za rekonstrukciju postojećih ACFB-postrojenja. Mnogo perspektivnijim rješenjem čini se povezivanje u KOMBI-ciklus sustava s izgaranjem ugljena u pretlačnom stacionarnom fluidiziranom sloju (PSFB). Postrojenja s PSFB-tehnologijom nalaze se na početku komercijalne uporabe (postrojenja Vaertan, Tidd i Escatron). Teško je reći kad će takav status imati i izvedba s pretlačnim cirkulirajućim slojem (PCFB), no evidentno je da se ovi sustavi razvijaju i u tom smjeru. Primjena PSFB sustava omogućit će, osim povećanja ukupnog stupnja korisnog djelovanja u odnosu na ACFB-postrojenja, i poboljšanje osnovnih prednosti FB-tehnologije (niže emisije zagađivača i fleksibilnost u pogledu kvalitete goriva). Ta će se razlika s vremenom (uvođenjem razvojnih poboljšanja, posebno primjenom visokotemperaturnih postupaka čišćenja dimnih plinova) povećavati.

Ipak, postrojenja s PSFB-tehnologijom i dalje će imati nižu efikasnost od IGCC-sustava (rasplinjavanje ugljene prašine) ponajprije zbog većeg udjela proizvedene energije u parnom ciklusu.

Očito je da će neka od navedenih tehnoloških rješenja (posebno sustavi PSFB i IGCC), zahvaljujući svojim prednostima, vrlo brzo zauzimati važno mjesto u proizvodnji električne energije, posebno u elektroenergetskim sustavima orijentiranim na ugljen. Da bi se na osnovi dosadašnjih spoznaja odredilo koja rješenja imaju najviši bonitet, u sklopu studije »Nove tehnologije izgaranja ugljena«, EKONERG, 1993, provedena je komparativna ekonomska analiza. Tehnologije rasplinjavanja ugljena, odnosno IGCC-sustavi pokazali su se kao manje kvalitetna rješenja (osim u slučaju fazne izgradnje) od postrojenja s tehnologijom izgaranja u fluidiziranom sloju. Razlog treba tražiti u povećanim investicijskim ulaganjima s relativno visokom vlastitom potrošnjom električne energije koja nisu mogla biti nadoknađena visokom efikasnošću pretvorbe energije. Naime, udio kapitala (investicijskih ulaganja) ima znatnu ulogu u bonitetu

tehnoloških rješenja. Promatrane diskontne stope preferiraju rješenja s nižim investicijskim troškovima. Navedena postavka potvrđuje se i u usporedbi samih IGCC-postrojenja, jer i ovdje BG/Lurgi investicijski najpovoljnije rješenje pokazuje najviši bonitet. Razlike između tehnologije BG/Lurgi i Shell vrlo su male, i može se očekivati da će poboljšanja (ponajprije primjena visokotemperaturnih postupaka čišćenja sirovog plina) kod Shellove tehnologije u budućnosti ovu tehnologiju staviti u prvi plan. U tom kontekstu potrebno je naglasiti da bi pooštravanje ekoloških propisa povisilo bonus tehnologijama rasplinjavanja, jer one u tom slučaju zahtijevaju neznatne dodatne investicije, što nije slučaj kod drugih tehnoloških rješenja.

Od FB-tehnologija najviši bonitet ima PSFB-tehnologija, što je potpuno logično zbog njezinih relativno niskih investicijskih ulaganja i visokog stupnja pretvorbe energije. Ovo tehnološko rješenje (jeftinija verzija) u varijanti ispitivanja osjetljivosti s Cn = 200 USD/t, Akt = 6% i odnosom USD/DEM = 2.0 pokazalo se najboljim od svih razmatranih rješenja. Cirkofluid ili atmosferski cirkulirajući sloj po vrijednosti je srednje rješenje. Kvalitetnije je od IGCC-postrojenja, a lošije od fazne izgradnje i pretlačnog stacionarnog sloja. Njegov bonitet također je logičan jer je po investicijskim ulaganjima i stupnju pretvorbe energije također u sredini.

U sklopu iste analize valorizirano je i klasično rješenje izgaranja ugljene prašine s odsumporavanjem dimnih plinova (mokri postupci). Općenito, iz rezultata proračuna može se zaključiti da su nove tehnologije (osim u uvjetima blažih ekoloških ograničenja odnosno u slučaju primjene suhih postupaka odsumporavanja i izgaranja niskosumpornih ugljena) bolja rješenja. Međutim, navedeni redoslijed rješenja odnosno njihov bonitet posljedica su trenutnih spoznaja u razvoju novih tehnologija, procijenjenih odnosa investicijskih ulaganja, stupnja pretvorbe energije i raspoloživosti. Razvoj tehnologija u skoroj budućnosti može te spoznaje promijeniti i pojedine tehnologije izbaciti u prvi plan ili ih potpuno isključiti iz razmatranja. Konkretne zaključke o isplativosti pojedinog rješenja, odnosno njegovoj eventualnoj komercijalnoj primjeni bit će moguće donijeti tek nakon tri do pet godina komercijalnog iskustva na postrojenjima adekvatne veličine (kada će se raspolagati s pouzdanim podacima o ostvarenoj raspoloživosti, stupnju pretvorbe energije itd. . .)

Osim toga, u provedenoj analizi nisu uzete u obzir određene prednosti i mane pojedinih rješenja, kao ni specifičnosti lokacije termoelektrane koje se kod nekih tehnologija slažu i podudaraju s prednostima (odnosno manama), a kod nekih djeluju suprotno. Za svaku postojeću ili potencijalnu lokaciju trebalo bi odrediti optimalan tip tehnologije i troškove proizvodnje, pa na osnovi tih troškova odrediti optimalan redoslijed lokacija i tehnologiju koja joj pripada. Procjenjuje se da je ponekad (u specifičnim uvjetima) opravdano, zbog vremenskog pomaka između komercijalne uporabe i višegodišnjom eksploatacijom dokazane isplativosti novih tehnologija, istovremeno voditi pripremu izgradnje dvaju tehnoloških rješenja. Time se, u vrijeme donošenja konkretne odluke o izgradnji, pruža mogućnost izbora alternativnog rješenja ako se prvotno preferirano rješenje u međuvremenu pokaže manje isplativim.

LITERATURA

[1] IEA Coal Research, Coal Gasification for IGCC Power Generation, 1991.

[2] P. J. DECHAMPS, PH. MATHIEU: »Phasing the Construction of on IGCC Plant for Fuel Flexibility«; International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition Cologne, 1992.

[3] Z. MUŽEK, D. MATANIĆ, M. JURETIĆ i drugi: »Studija opravdanosti supstitucije bloka PT 12.5 u EL-TO Zagreb blokom na kombinirano gorivo«, studija, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1990.

[4] ENERGY & ENVIRONMENT: »Development of Advanced Clean Coal Technologies for Power Generation«, broj 3, 1992.

[5] Commision of European Communities Directorate — General for Energy Coal Directorate: »Pressurised Fluidised Bed Combustion«, 1989.

[6] D. MATANIĆ, B. ABRAMOVIĆ, Z. KOMERIČKI, I. LAKNAR: »Razvoj termoelektrana loženih ugljenom«, studija, EKONERG, 1993.

NEW TECHNOLOGIES OF COAL COMBUSTION

The article gives the review of modern situation and the development of new coal combustion technologies, from the point of their use in the thermal power plants. Many solutions are described and analysed and special attention is paid to the technologies which could be perspective according to the Croatian Electric Power Supply Company's view-point and whose commercial use, if they haven't already been used for energy purposes, is expected within next 10 years.

The results of valorisation of each solution are given (compared to the classical reference solution), which was worked out within the study »New Technologies of Coal Combustion« (first book of the study: »Development of Thermal Power Plants Fired by Coal«, EKONERG, 1993).

NEUE TENDENZEN BEI DER KOHLEVERBRENNUNG

Im Artikel wird der moderne Stand und die Entwicklung neuer Technologien der Kohleverbrennung vom Standpunkt der Anwendung in Wärmekraftwerken, geschildert. Es wurden viele Lösungen beschrieben und analysiert. Besondere Aufmerksamkeit wird den Technologien die günstig für die kroatische Stromwirtschaft sind und deren kommerzielle Anwendung falls sie nicht zu wirtschaftlichen Zwecken angewendet wird in den nächsten zehn Jahren erwartet wird. Hier spricht man über die Ergebnisse der Bewertung einzelner Lösungen (Im Vergleich zur referenten klassischen Lösung), die im Rahmen der Studie »Neue Technologien der Kohleverbrennung« (Buch 1. der Studie »Entwicklung der Wärmekraftwerke die mit Kohle beheizt werden EKONERG, 1993, durchgeführt wurde.

Naslov pisca:

Bojan Abramović, dipl. ing.
Ekonerg, Institut za energetiku i zaštitu okoliša,
41000 Zagreb,
Avenija Vukovar 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993-09-01.

ANALIZA DOGAĐAJA EES-a UZ POMOĆ MODULARNE STRUKTURE INFORMACIJA

Doc. dr. Juraj Šimunić, Rijeka

UDK 621.31:621.3
STRUČNI ČLANAK

Korištenje procesnih informacija u realnom vremenu i izvan njega vrlo je složen, ali i važan segment u automatiziranom vođenju EES-a. U ovom članku se na primjeru jednogodišnjih procesnih informacija realnog sistema razrađuje modularni model promatranja informacija i uz pomoć njega je provedena analiza vremenske korelacije i frekvencije pojavljivanja informacija za izabrane module po lokaciji, vrsti i nazivu.

Ključne riječi: elektroenergetski sustav, procesne informacije, modularna struktura, istraživanje realnog sistema.

1. UVOD

U Hrvatskoj elektroprivredi počeli su se ugrađivati prije petnaestak godina sustavi mikroprocesnih i miniprocesnih računala po svim razinama vođenja EES-a. Time je ostvarena mogućnost vrlo precizne i kvalitetne registracije i prikaza događaja u procesu s vremenskom rezolucijom zapisa kraćom od 10 ms, te je tako procesna računarska tehnika otvorila vrata jednom napretku funkcije vođenja EES-a.

Tijekom godina registrirani su, na različitim medijima, milijuni procesnih informacija, te je potreban velik trud i angažiranost da se ostvare suvisli programski mehanizmi koji će omogućiti što učinkovitiju upotrebu svih tih informacija. U dosadašnjem su korištenju cjelokupnog sustava daljinskog vođenja u EES-u Hrvatske, velike količine procesnih informacija ostale, nažalost, neobrađene i neiskorištene, a često ostaje i nedefinirano kako, gdje i zašto koristiti i arhivirati vrlo velik broj informacija iz procesa. Predmet ovog rada upravo je u okvirima navedene problematike i bavi se što optimalnijim korištenjem procesnih informacija.

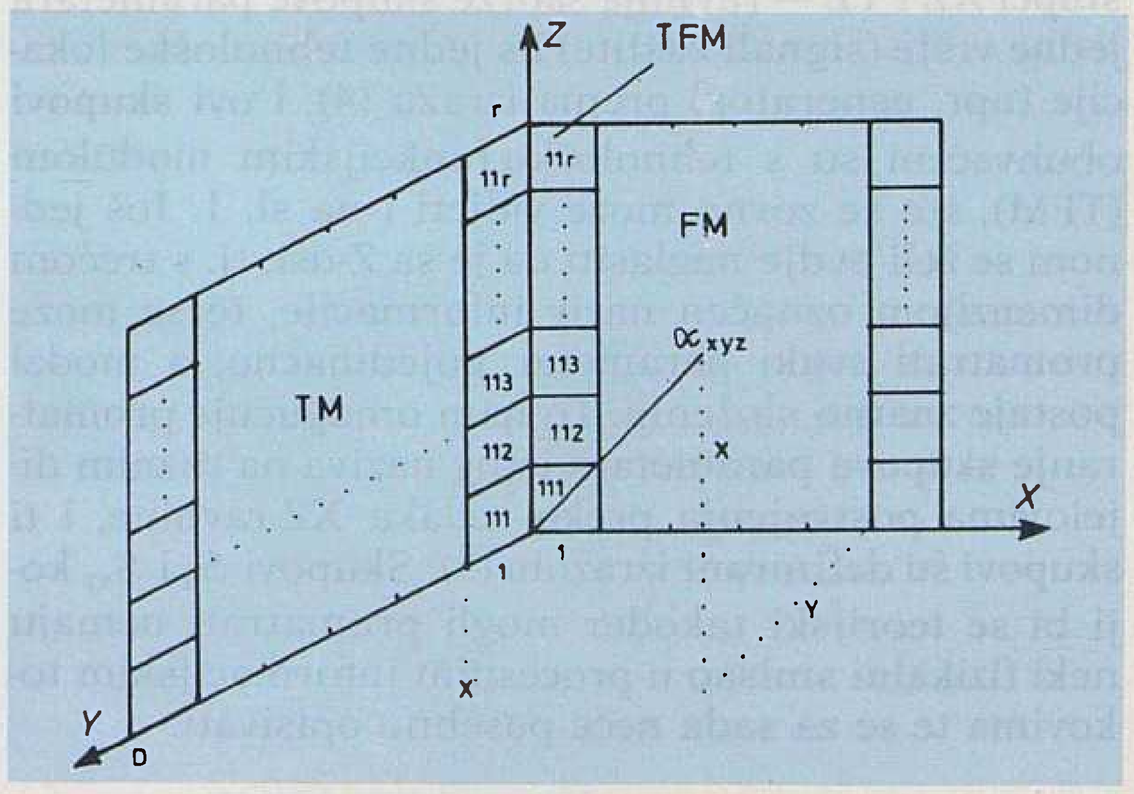
U prvom dijelu opisana je modularno organizirana struktura parametara sistema i obrađen je informacijski događaj u raznim slučajevima promatranja procesa. Primjena postavljenog modela u analizi procesnih informacija realnog sistema za jedan centar daljinskog upravljanja (CDU) prikazan je u drugom dijelu i pri tome su dobiveni konkretni rezultati o dinamičkim karakteristikama za jednogodišnji period rada promatranog centra.

Za razliku od nekih dosadašnjih radova u vezi s ovom problematikom [7, 10, 12, 13], koji su procesne informacijske tokove promatrali samo kvantitativno, u ovom radu se s postavljenom strukturom parametara sistema omogućuje i kvalitativna analiza i korištenje u sustavu daljinskog vođenja (SDV) EES-a.

2. OPIS PARAMETARA SISTEMA I INFORMACIJA PROCESA

2.1. Izbor strukture parametara

Pogoni određenih procesa definiraju se izabranim skupom parametara [1] različitih vrsta i na različitim mjestima postrojenja, a modeliranje parametara zahtijeva dobro poznavanje tehnologije primarnog procesa i mogućnosti informatičke opreme u funkciji vođenja sistema.
Parametar u ovom radu čini statičku veličinu kojom opisujemo ponašanje nekog procesa ili način djelovanja na proces, a promjenom stanja parametara generiraju se informacije. Ako u jednom trodimenzionalnom sustavu na osi-X označimo tehnološke cjeline postrojenja, na osi-Y funkcije izabranih parametara s obzirom na vrstu informacije koju pružaju, a na



α_{xyz} — parametar sistema definiran lokacijom, vrstom i nazivom
TM — tehnološki modul (X-os)
FM — funkcijski modul (Y-os)
TFM — tehnološko-funkcijski modul

Slika 1. Struktura parametara sistema

osi-Z definiramo naziv parametara, tada se dobije struktura parametara koja je prikazana na sl. 1. Svaki parametar određen je dakle lokacijom u tehnologiji procesa, vrstom informacije koju pruža i nazivom unutar promatrane vrste.

Promatrajući grafički prikaz na sl. 1 kao cjelinu, te karakteristične ravnine i dijelove ravnina, mogu se definirati sljedeći skupovi parametara:

$$S = \{\alpha_{xyz}\} \quad x = 1, 2, \ldots, m \quad y = 1, 2, \ldots, n \quad z = 1, 2, \ldots, r \tag{1}$$

$$S_y = \{\alpha_{xyz}\} \quad x = 1, 2, \ldots, m \quad y = \text{konst.} \quad z = 1, 2, \ldots, r \tag{2}$$

$$S_x = \{\alpha_{xyz}\} \quad x = \text{konst.} \quad y = 1, 2, \ldots, n \quad z = 1, 2, \ldots, r \tag{3}$$

$$S_{xy} = \{\alpha_{xyz}\} \quad x = \text{konst.} \quad y = \text{konst.} \quad z = 1, 2, \ldots, r \tag{4}$$

$$S_{yz} = \{\alpha_{xyz}\} \quad x = 1, 2, \ldots, m \quad y = \text{konst.} \quad z = \text{konst.} \tag{5}$$

Izrazom (1) definiran je skup parametara na razini cijelog postrojenja, tj. skupom točaka unutar prizme (m, n, r) obuhvaćene su sve veličine kojima opisujemo pogon zadanog postrojenja.
Svi parametri jedne vrste (y = konst., npr. skup mjerenja) za sve tehnološke cjeline postrojenja sadržani su u XZ-ravninama i predstavljaju jedan funkcijski modul (FM) procesnih informacijskih tokova. Ovdje treba posebno naglasiti da se pojam funkcijski modul (FM) ne odnosi na primarni sistem, već na sekundarni informacijski sustav, te je s FM-om označen jedan skup istovrsnih informacija, a ne funkcija nekog uređaja u tehnologiji procesa. Analognim razmatranjem YZ-ravnine sadrže sve vrste parametara na jednoj tehnološkoj lokaciji (TM — npr. dalekovodno polje, generator,. .) prema izrazu (3), i na kraju stupci XZ i YZ — ravnina sadrže skupove parametara jedne vrste (signali zaštite) i s jedne tehnološke lokacije (npr. generator) prema izrazu (4), i ovi skupovi obuhvaćeni su s tehnološko-funkcijskim modulom (TFM), što se zorno može vidjeti i na sl. 1. Još jednom se želi ovdje naglasiti da je sa Z-osi, tj. s trećom dimenzijom označen naziv informacije, te se može promatrati svaki parametar pojedinačno, a model postaje znatno složeniji. To nam omogućuje promatranje skupova parametara istog naziva na raznim dijelovima postrojenja preko redaka XZ-ravnine, i ti skupovi su definirani izrazom (5). Skupovi S_z i S_{xz} koji bi se teorijski također mogli promatrati nemaju neki fizikalni smisao u procesnim informacijskim tokovima te se za sada neće posebno opisivati.

2.2. Karakteristični prostori informacijskih događaja

Svakom promjenom stanja jednog ili više parametara sistema generiraju se određene informacije kao događaji promatranog eksperimenta. Generiranje informacija u procesu pretežno je slučajnog karaktera [7, 10, 12, 13], te je za modeliranje dinamike procesnih informacijskih tokova potrebno definirati i pripadne prostore vjerojatnosti. Pri tome složenost navedenih prostora ovisi o razini tehnološkog procesa koji opisujemo i željenom načinu korištenja informacija, te će se opisati pojam informacije na razini pojedinog parametra i na razini jednog TFM-a, a ukazat će se i na prateću, znatno uvećanu složenost adekvatnih prostora informacijskih događaja.
U prvom koraku opisuje se najjednostavniji slučaj kada je informacija generirana u izabranom intervalu Δt zbog promjene stanja jednog parametra α_{xyz}, te se informacija može definirati kao

$$i_{xyz} = \frac{|\alpha_{xyz}(t + \Delta t) - \alpha_{xyz}(t)|}{\Delta t} \tag{6}$$

$$\alpha_{xyz} \in R \qquad i_{xyz} \in \{0, 1\} \qquad x, y, z = \text{konst.}$$

a pri tome vrijedi

$$i_{xyz} = 0 \Rightarrow \alpha_{xyz}(t) = \alpha_{xyz}(t + \Delta t) \qquad i_{xyz} = 1 \Rightarrow \alpha_{xyz}(t) \neq \alpha_{xyz}(t + \Delta t). \tag{7}$$

Sada je potrebno utvrditi da parametar α_{xyz} u skupu R može poprimiti β stanja te vrijedi za prostor elementarnih događaja Ω u ovom trivijalnom slučaju [2, 8]:

$$\Omega = \{\omega_\sigma\}_{xyz} \qquad \sigma \in 1, 2, \ldots, \beta^1 \tag{8}$$

jer promatramo samo jedan parametar. Za ukupni broj događaja pripadne algebre događaja A vrijedi $a = 2^\sigma$ [2], a nakon utvrđivanja vjerojatnosti pojavljivanja navedenih informacijskih događaja ω_σ u procesu može se konačno definirati i prostor vjerojatnosti $(\Omega, A, P)_{xyz}$ kao osnovna matematička struktura za opisivanje promatranog eksperimenta. Ta razina informacije korištena je u analizi frekvencije informacija pri obradi rezultata na sl. 8. i sl. 9.
Već pri promatranju generiranja informacija na razini TEM-a, tj. kada se u eksperimentu promatra skup S_{xy} prema izrazu (4), problem se bitno usložnjava. Sada se istovremeno promatra r-parametara, tj. presjeci skupa S_{xy} (potanko obrađeno u [8]) kao r-dimenzionalne realizacije stanja parametara na razini TFM-a (stupci XZ i YZ ravnina na sl. 1), te se može pisati:

$$\alpha_{xy} = \bigcap_{z=1}^{r} (\alpha_{xyz})_s; \quad x, y, = \text{konst.} \quad s = 1, 2, \ldots, \beta \quad \alpha_{xy} \in R^r \quad s\text{-stanje parametra.} \tag{9}$$

Informacija generirana na razini TFM-a može se definirati kao

$$i_{xy} = \frac{|\alpha_{xy}(t + \Delta t) - \alpha_{xy}(t)|}{\Delta t} \tag{10}$$

$$i_{xy} \in (0, 1); \; xy = \text{konst.}$$

ako se promatra samo slučaj da li je došlo ili nije do promjene stanja u r-parametarskoj realizaciji, a za informaciju i_{xy} vrijede analogne relacije kao i u izrazu (7). Broj događaja koji sudjeluju u generiranju informacija promatranog eksperimenta eksponencijal-

no raste. Ako se, kao i u prethodnom slučaju po svakom od r-parametara promatra β-stanje, može se za skup elementarnih događaja u ovom primjeru pisati [2, 8]

$$\Omega = \{\omega_\sigma\}_{xy} \qquad \sigma = 1, 2, \ldots, \beta^r; \; a = 2^\sigma, \tag{11}$$

gdje ω predstavlja r-parametarski događaj, a σ predstavlja broj elementarnih događaja u promatranom prostoru Ω. Nakon eksperimentalnih istraživanja [10] mogu se odrediti odgovarajuće vjerojatnosti i definirati tražena matematička struktura prostora vjerojatnosti $(\Omega, A, P)_{xy}$ na razini informacija jednog TFM-a.

Za detaljnija i složenija istraživanja koja obuhvaćaju selektivnu sintezu odabira i prikazivanja informacija, te ekspertno odlučivanje na temelju analize korelacijskih odnosa pojedinačnih i grupnih informacija, promatraju se strukture informacija za cjelovite XZ i YZ -ravnine, tj. informacije na razini skupova S_x i S_y iz izraza (2) i (3). To znači da je u konačnoj ekspertnoj analizi korištenja informacija potrebno povezati velik broj prostora elementarnih događaja prema izrazu (10), a to je vrlo složen tehnološko-matematički problem. Ako se, dakle, uzme kao objekt promatranja X-ravnina (analogno vrijedi i za YZ ravninu), tada se istovremeno promatra m r-dimenzionalnih realizacija, te uzimajući u obzir izraz (9) vrijedi

$$\alpha_y = \bigcap_{x=1}^{m} (\alpha_{xy})_s; \qquad y = \text{konst.} \quad s = 1, 2, \ldots, \beta^r \qquad \alpha_y \in R^{(r \times m)} \tag{12}$$

Informacija generirana na razini FM-a (ili TM-a) definirana je kao

$$i_y = \frac{|\alpha_y (t + \Delta t) - \alpha_y (t)|}{\Delta t} \qquad i_y \in (0, 1); \; y = \text{konst.} \tag{13}$$

za slučaj da se promatra samo je li došlo ili ne do promjene stanja u (r x m) — parametarskoj realizaciji. Ta razina informacije korištena je u poglavlju 3.4 ovog rada za analizu vremenske korelacije različitih vrsta informacija u CDU-u (tablica 7) i različitih tehnoloških modula na razini EEP-a (tablica 6).

Navedenim opisom modela upozoreno je na potrebu promatranja različitih razina informacija u kvalitativnoj analizi procesnih informacijskih tokova. Daljnje konkretnije definiranje informacijskih događaja u načelnim teorijskim razmatranjima nije korisno, već se za svaki konkretni slučaj treba definirati promatrani eksperiment (ekspertni problem, [14]) i za njega potanko utvrditi prostor elementarnih događaja, pripadne algebre događaja i na kraju odgovarajući prostor vjerojatnosti.

3. PRIKAZ ISTRAŽIVANJA NA REALNOM SISTEMU

Imajući na umu opisanu strukturu parametara i objašnjeni pojam informacije u raznim varijantama promatranja procesa, prišlo se opsežnom eksperimentalnom istraživanju određenih karakteristika procesnih informacija u jednom realnom sistemu. U prvom koraku navedeni su referentni skupovi parametara promatranog realnog sistema, a nakon toga je provedeno ispitivanje stohastičke ovisnosti i frekvencije pojavljivanja informacija po lokaciji, vrsti i nazivu.

3.1. Referentni skupovi parametara i informacija

Za potrebe istraživanja izabran je kao realni sistem centar daljinskog upravljanja u Pehlinu (CDU Pehlin) na koji je priključeno dvadesetak EEP-a u sustavu daljinskog vođenja. Uzimajući u obzir sve osnovne parametre po lokaciji i vrsti, dan je u tablici 1. ukupan pregled svih parametara kojima opisujemo rad promatranog pogona.

Prema podacima iz tablice 1. proizlazi da je promatrani realni sistem na razini CDU-a u Pehlinu opisan s približno 5 500 parametara različitih vrsta i lokacija, a sami nazivi koji su također definirani u bazi podataka nisu ovdje zbog prostora specificirani. U izlaznim podacima istraživanja bit će jedan dio tih naziva naveden i obrađen.

Skup od 5 500 parametara promatran je u CDU Pehlin u razdoblju od jedanaest mjeseci u 1992. godini, i u tom razdoblju realiziralo se ukupno 144 014 promjena stanja parametara, te je upravo toliko informacija registrirano u odgovarajućoj strukturi zapisa slogova.

Tablica 1. Pregled parametara za promatrani realni sistem po EEP-ima

Jednostruki sig.			Dvo-pol. sign.	REG	MJER	BRO	KOM	PRP
Poj.	Grup.	Das						
3 184	397	252	831	42	391	102	227	26
3 833								

REG — regulacijski nalozi
MJER — signali mjerenja
BRO — signali brojila
KOM — komande
PRP — položaj regulacijske preklopke

U tablici 2. prikazan je broj slogova odnosno broj informacija po svakom promatranom postrojenju i ta postrojenja s obzirom na CDU-a predstavljaju tehnološke module, a detaljnija razrada tehnoloških modula po postrojenjima razrađena je u poglavlju 3.3. Za funkcijske module koji su izabrani u ovom razmatranju dana je raspodjela cijelog skupa od 144 014 informacija u tablici 2. U jednoj i drugoj tablici prikazan je određeni broj slogova pod stavkom »OTPALO«, jer se nisu mogli dešifrirati ni u jednu cijelinu promatranih modula, te je od ukupnog broja informacija za obradu TM-a iskorišteno 93.8% podataka, a za obradu FM-a 89.4% podataka.

Kako još uvijek nisu sređeni i ujednačeni kriteriji prijenosa informacija za pojedine funkcijske module po postrojenjima pojavljuju se u rezultatima i neki na prvi pogled pogrešni podaci. Tako npr. imamo za

funkcijski modul »sklapanje« čak 41 000 informacija a za funkcijski modul »upravljanje« samo 9 086 informacija. To je jednostavno zbog toga što se signali sklapanja prenose u CDU, a upravljanje se ne izvodi i ne registrira na listi događaja u CDU-u. Slično bi se mogle komentirati i druge nelogičnosti, te se upravo zbog toga i ne mogu suvislo koristiti statističke analize niti provoditi ekspertni zaključci sve dok se ne provedu precizni kriteriji izbora i selektivnosti obrade procesnih informacija.

Tablica 2. Prikaz broja slogova (zapisa informacija) po EEP-ima kao makromodulima na razini CDU-a za 1992.

Tehnološki modul	Broj slogova
01. CDU Pehlin	8 056
02. EVP Moravice	6 122
03. HE Rijeka	4 944
04. HE Senj	15 995
05. HE Vinodol	8 632
06. RP Omišalj	5 221
07. TE Plomin	12 310
08. TE Rijeka	3 345
09. TS Delnice	7 945
10. TS Dolinka	5 138
11. TS Krasica	2 140
12. TS Lovran	3 565
13. TS Lošinj	5 659
14. TS Matulji	7 460
15. TS Melina	10 524
16. TS Otočac	5 476
17. TS Pehlin	8 266
18. TS Poreč	3 890
19. TS Rovinj	4 560
20. TS Šijana	4 624
Ukupno	133 572
Otpalo	10 442
Suma	144 014

Prikaz funkcijskih modula	
1. Alarm	30 679
2. Sklapanje	41 074
3. Mjerenje	8 605
4. Upravljanje	9 086
5. Das	13 338
6. Veza	5 181
7. Računalo	5 252
8. Vrata	5 495
9. Otpalo	15 304
Suma	144 014

S podacima u tablicama 1. i 2. definirani su, dakle, referentni skupovi parametara i informacija promatranog realnog sistema, a u nastavku se ukratko navode faze i poteškoće u sređivanju procesnih informacija za daljnju obradu.

3.2. Sređivanje baze procesnih informacija

Ova problematika ne bi trebala predstavljati neku posebnu poteškoću kada bi svaki od 144 014 slogova zapisa informacija bio uglavnom precizno i logički registriran. Ali zbog nedorađenosti u cjelovitoj strukturi bez procesnih informacija, utrošeno je 60 – 70% vremena upravo na sređivanje svih nedostataka kako bi podaci bili potpuno spremni za korištenje u statističkoj analizi. Zbog prostora ne mogu se ovdje navoditi svi primjeri pogrešaka i sve procedure i potprogrami za sređivanje, ali će se navesti nekoliko primjera i osnovne vrste pogrešaka koje je trebalo sresditi, tj. mogu se navesti sljedeći izvori nedorađenosti:

a) slučajne pogreške kod zapisa pojedinih slogova (10%),
b) pogreške zbog nedefiniranosti i neunificiranosti naziva pojedinih parametara (65%),
c) pogreške pri zapisu slogova u bazi, kod kojih su nazivi polja, vrste i stanja parametara međusobno izmiješani (25%).

Posebno se želi naglasiti da je na sređivanju ove baze podataka za promatrani CDU Pehlin učinjen u posljednjih nekoliko godina veliki napredak te se postiže sve veća kvaliteta zapisa, ali se početne neprecisnosti i nedorađenosti teško ispravljaju. Uz to samu logičku strukturu treba tehnološki i informatički stalno dorađivati.

Jedan od prvih koraka u poboljšanju procesne baze podataka jest sređivanje strukture zapisa, te je u tablici 3. prikazana postojeća struktura i prijedlog nove strukture atributa pojedinih zapisa.

Tablica 3. Pregled atributa zapisa procesnih informacija za postojeću strukturu i prijedlog nove strukture

Postojeća struktura		Prijedlog nove strukture atributa	
Br.	Naslov polja	Br.	Naslov polja
1.	datum	1.	datum
2.	vrijeme	2.	vrijeme
3.	stanica	3.	stanica
4.	polje	4.	mjesto parametra (TM)
5.	signal	5.	vrsta parametra (FM)
6.	stanje	6.	naziv parametra
7.	mjerenje	7.	stanje parametra
8.	lista	8.	prikaz parametra

Prva četiri polja zapisa za postojeće rješenje i novi prijedlog isti su. Peto, šesto i sedmo polje (atribut) u postojećem zapisu traže određeni komentar. Polje 5, pod nazivom »SIGNAL«, trebalo bi predstavljati vrstu parametra ali istovremeno se u to polje zapisuje i naziv parametra. Polje 7, pod nazivom »MJERENJE«, također predstavlja vrstu parametra, ali se pod tim atributom u stvarnosti bilježe vrijednosti mjernih veličina, a to znači stanje parametra. U praksi su takva rješenja često dovodila do miješanja namjene pojedinih polja na pozicijama 4, 5, 6 i 7 prema tablici 3. Zbog navedene nedorečenosti u postojećoj strukturi polja (odnosno atributa zapisa) dan je u tablici novi prijedlog atributa po pojedinim poljima zapisa koji je prilagođen strukturi parametara prema sl. 1. Prema tako postavljenoj novoj strukturi zapisa sređena je kompletna baza procesnih informacija s novim datotekama po tehnološkim i funkcijskim modulima te po nazivima parametara. Primjer tako sređenog zapisa baze procesnih informacija prikazan je na sl. 2, a svakom TM-u, FM-u i nazivu parametra pridružen je i odgovarajući vektor prema strukturi sa sl. 1, što omogućuje vrlo preglednu i efikasnu obradu.

U daljnoj pripremi baze procesnih informacija promatranog realnog EES-a izrađeni su programi za obradu TM-a, definirani su nazivi za sva polja po postrojenjima i formirano je niz novih datoteka za daljnji rad i prezentaciju izlaznih izvještaja.

S obzirom na to da ovaj rad nije imao za cilj riješiti do kraja izvedbeno sve detalje procesne baze informacija EES-a obrađena su u daljnjem radu samo če-

DATUM	VRIJEME	STANICA	MJESTO.P	VRSTA.P	NAZIV.P	STANJE.P	PRIKAZ.P
92.01.08	20.42.33	LOVRAN	PP	SS	KOMP.KV	+	LD
92.01.08	20.42.36	LOVRAN	PP	SS	KOMP.KV	-	LD
92.01.08	20.49.31	LOVRAN	110T1	UP	R.GS.UK	+	LD
92.01.08	20.49.33	LOVRAN	110T1	SS	R.GS.UK	+	LD
92.01.08	20.49.49	LOVRAN	010T1	UP	R.S1.UK	+	LD
92.01.08	20.49.53	LOVRAN	010T1	SS	R.S1.UK	+	LD
92.01.08	20.50.13	LOVRAN	PP	SS	KOMP.KV	+	LD
92.01.08	20.50.31	LOVRAN	110T1	UP	PRP.IS	+	LD
92.02.06	15.04.28	CDU	DAS LOVRAN	DAS		NEPOZ	LD
92.02.06	15.06.00	CDU	DAS LOVRAN	DAS		AKT	LD
92.02.08	21.14.28	LOVRAN	110DV.MAT	GR	NP.UPZ	+	LD
92.02.08	21.14.28	LOVRAN	110DV.PL1	GR	NP.UPZ	+	LD
92.02.08	21.14.33	LOVRAN	110DV.MAT	GR	NP.UPZ	-	LD
92.02.08	21.14.33	LOVRAN	110DV.PL1	GR	NP.UPZ	-	LD
92.02.12	13.30.13	LOVRAN	010T1	SS	R.S1.IS	+	LD
92.02.12	13.30.18	LOVRAN	010T1	UP	R.S1.IS	+	LD
92.02.12	16.30.03	LOVRAN	010S1	MJ	KV	6.3	TAB
92.02.12	16.31.56	LOVRAN	110DV.MAT	MJ	KV	111.0	TAB
92.02.12	16.32.05	LOVRAN	010S1	MJ	KV	10.7	TAB
92.02.13	10.16.20	LOVRAN	110DV.PL1	UP	P.IS	+	LD
92.02.13	10.16.20	LOVRAN	110DV.PL1	SS	P.IS	+	LD

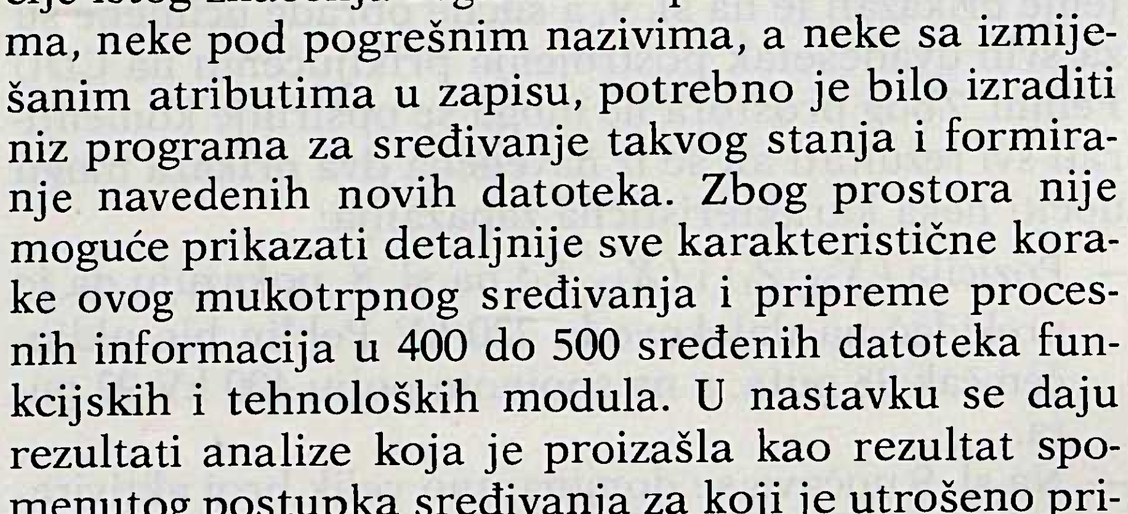
Slika 2. Primjer sređenog zapisa baze procesnih informacija

tiri najdominantnija FM-a od osam navedenih u tablici 2. To su signali sklapanja (SS), upravljački nalozi (UP), grupni signali (GR) i mjerenja (MS). U prvom koraku dearhivirano je 15 datoteka koje su uz pomoć odgovarajućih programa sređene po svim postrojenjima, a zatim su unutar svakog postrojenja sređene datoteke FM-a, te je ukupno realizirano približno 200 datoteka funkcijskih modula. Kako su neke informacije istog značenja registrirane pod različitim nazivima, neke pod pogrešnim nazivima, a neke sa izmiješanim atributima u zapisu, potrebno je bilo izraditi niz programa za sređivanje takvog stanja i formiranje navedenih novih datoteka. Zbog prostora nije moguće prikazati detaljnije sve karakteristične korake ovog mukotrpnog sređivanja i pripreme procesnih informacija u 400 do 500 sređenih datoteka funkcijskih i tehnoloških modula. U nastavku se daju rezultati analize koja je proizašla kao rezultat spomenutog postupka sređivanja za koji je utrošeno približno 70% vremena pri istraživanju procesnih informacijskih tokova.

3.3. Analiza informacija realnog sistema

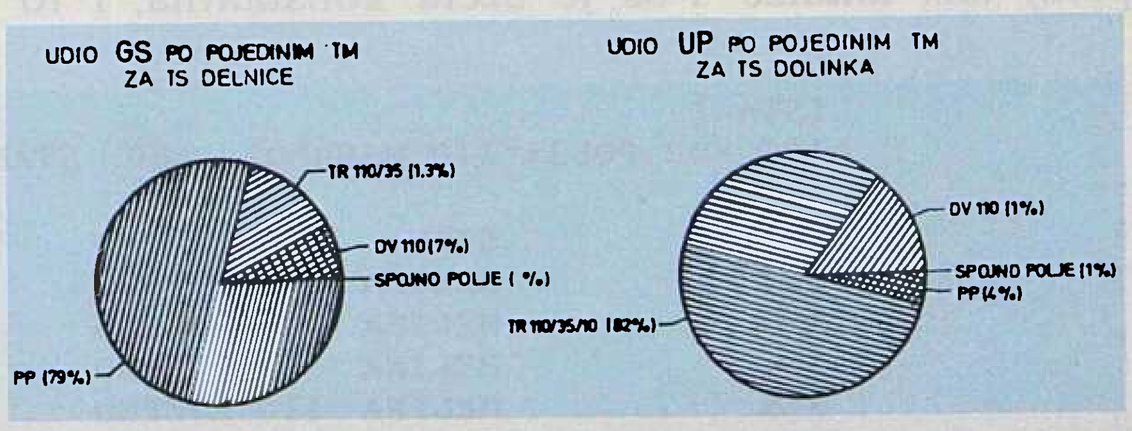
3.3.1. *Obrada informacija po karakterističnim cjelinama*

Na temelju sređenih podataka i zapisa procesnih informacija po TM-ima i FM-ima iz prethodnog poglavlja dan je na sl. 3. grafički prikaz udjela svih vrsta informacija po pojedinim tehnološkim cjelinama za izabrana karakteristična postrojenja. Grafički prikaz daje uvid samo u kvantitativne odnose po pojedinim TM-ima i pri tome tortni grafikon prikazuje odnose unutar skupa informacija S cijelog postrojenja prema izrazu (1). Pojedini isječak tortnog prikaza predstavlja jednu YZ-ravninu (sl. 1), tj. skup S_x prema izrazu (3), odnosno uključuje informacije prema izrazu (12). Ovaj globalni prikaz pokazuje samo generalno za koje dijelove postrojenja možemo očekivati više procesnih aktivnosti u pogonu i kako možemo planirati arhiviranje podataka.



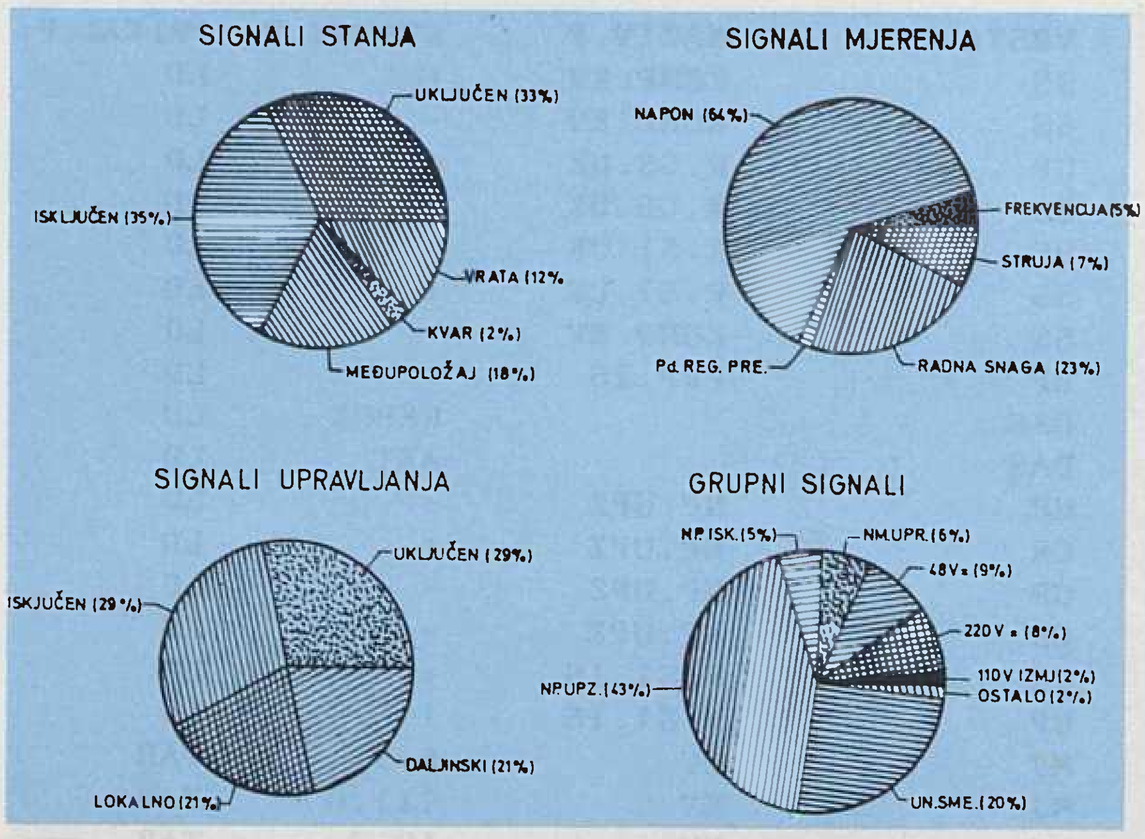
Slika 3. Odnos frekvencije informacija po TM-ima postrojenja za 1992. god.

Koristivši nadalje obrađene podatke po FM-ima izrađeni su grafikoni prikazani na sl. 4, i to za FM grupni signali (GS) za trafostanicu Delnice i za FM upravljanje (UP) za trafostanicu Dolinka. Prikazana dva tortna dijagrama predstavljaju skupove informacija na razini XZ-ravnina prema izrazu (2) i prikazuju odnose između TFM-a jer svaki isječak predstavlja stupac XZ-ravnine, tj. skup parametara prema izrazu (4) i informacijski događaj prema izrazu (9). Interesantno je na prikazanim grafikonima naći dominantni udio upravljačkih akcija na trafopoljima u TS Dolinka (čak 82%) i grupnih signala na pomoćnim postrojenjima (PP) za TS Delnice (79%).



Slika 4. Odnos fekvencije informacija funkcijskih modula po odabranim tehnološkim modulima za TS Delnice i TS Lovran

Karakteristični su grafikoni na sl. 5. koji pokazuju odnose frekvencije pojavljivanja informacija unutar FM-a po nazivu parametara. Tortni grafikon prikazu-



Slika 5. Odnos frekvencije informacija unutar FM-a po nazivu parametra

je cjelovito XZ-ravnine, a pojedini isječci predstavljaju retke te iste ravnine, a to su skupovi informacija S_{yz} koji fizikalno sadrže informaciju o ponašanju parametra jednog naziva na svim dijelovima postrojenja.

Ozbiljniji komentar o dobivenim rezultatima na sl. 3, 4. i 5. teško je u ovoj fazi istraživanja iznositi jer prezentirana baza podataka realnog sistema nije još u potpunosti reprezentativna zbog: 1. provedene registracije mjernih veličina na temelju prelaska zadanih pragova, a ne na temelju dinamičkih promjena parametara u cijelom rasponu mjerenja, 2. različitog načina grupiranja signala u pojedinim regijama EES-a, 3. nebilježenja pojedinih vrsta i naziva signala za sva postrojenja, 4. neujednačenost daljinskog prenosa upravljačkih signala itd. Može se zaključiti da su mogućnosti procesne i statističke obrade podataka izuzetno velike, ali da postoje ograničenja primjene zbog nekonzistentnosti izbora, prijenosa i prikaza u praktičnim rješenjima realnog sistema.

3.3.2. *Frekvencija informacija po lokaciji, vrsti i nazivu*

Sređenim zapisima baze podataka prema novoj strukturi (sl. 2) pridružene su odgovarajuće koordinate po lokaciji (X-os), vrsti (Y-os) i nazivu (Z-os). U prvoj fazi analize Y-os je uzeta konstantna, i to $Y_1 \equiv$ SS, $Y_2 \equiv$ UP, $Y_3 \equiv$ GR i $Y_4 \equiv$ MJ. Ako se npr. uzme Y_1 = SS, tada se jednostavnom naredbom

LIST OF FOR STAN = »MELINA« .AND. POLJ = »110 MJERNO«

mogu dobiti sve vrste informacija za TFM — »signal stanja mjernog polja« (stupac YZ-ravnine) prema sl. 6, a naredbom

LIST OF FOR STAN = »MELINA« .AND. SIGN = »R.LN.IS«

može se dobiti popis svih informacija za parametar »R.LN.IS« (rastavljač linijski isključen) po svim lokacijama postrojenja prema sl. 7. Taj skup informacija predstavlja redak XZ-ravnine za odabranu *y*-lokaciju (u ovom slučaju $y = 1 =$SS). Na sl. 6. i 7. brojevi u zadnjem stupcu označavaju učestalost pojave odgovarajuće informacije u 1992. godini.

Koristeći se mogućnošću tako sređenih zapisa procesnih informacija promatranog realnog sistema prikazana je na sl. 8. frekvencija promjene stanja parametara po vrsti, lokaciji i nazivu za TS Melina, a tablični prikaz na slici predstavlja rezultate učestalosti pojavljivanja po lokacijama odabrane XZ-ravnine. Prvi redak na vrhu tablice i prvi stupac sasvim lijevo predstavljaju brojeve lokacija TM-a po x-osi i lokacije naziva parametara po z-osi.

Primjer rezultata istraživanja za sva četiri odabrana funkcijska modula (SS, UP, MJ, GR) za jedno postrojenje prikazan je na sl. 9, a slične obrade učinjene su za svih dvadesetak postrojenja priključenih na CDU Pehlin. Zbog prostora ne mogu se opširnije komentirati svi rezultati ali se iz navedena dva prikaza mogu uočiti neka karakteristična zapažanja:

- Pozicija (X_{21}, Z_1) i (X_{32}, Z_1) na sl. 8. pokazuju da je prekidač na dalekovodu 220 kV Pehlin bio uključen čak 98 puta, a na spojnom polju 400 kV 92 puta.
- Na sl. 9 uočava se dominantno velik broj aktiviranja parametra »VRAT.OTV.« (vrata otvorena) 1 138 puta i signalizacija daljinske stanice (DAS) 2 640 puta u »ravnini« SIGNALI STANJA.
- Na istoj slici se u »ravnini« GRUPNI SIGNALI najviše pojavljuje signalizacija pomoćnih postrojenja istosmjernog napona 48 V (596 puta) i 220 V (292 puta), te se tako uočava najviše problema na pomoćnim pogonima promatranog EEP-a.

LISTA 1.
LIST FOR POLJ="110 MJERNO" .AND. STAN="MELINA"

Record#	STAN	POLJ	SIGN	(x;y;z;)	BROJ
352	MELINA	110 MJERNO	R.S1.UK	1,1,21	2
353	MELINA	110 MJERNO	R.S2.UK	1,1,24	6
354	MELINA	110 MJERNO	R.S3.UK	1,1,28	4
355	MELINA	110 MJERNO	R.UZ.UK	1,1,17	1
1039	MELINA	110 MJERNO	R.S1.IS	1,1,22	5
1040	MELINA	110 MJERNO	R.S2.IS	1,1, 4	4
1041	MELINA	110 MJERNO	R.UZ.IS	1,1,18	13
1731	MELINA	110 MJERNO	R.S1.MP	1,1,23	4
1732	MELINA	110 MJERNO	R.S2.MP	1,1,27	4
1733	MELINA	110 MJERNO	R.S3.MP	1,1,31	4
1734	MELINA	110 MJERNO	R.UZ.MP	1,1,20	12

Slika 6. Prikaz sređenog zapisa za TFM — »signali stanja mjernog polja«

```
LISTA 2.
LIST FOR SIGN="R.LN.IS".AND.ŠTAN="MELINA"

Record#        STAN    POLJ          SIGN          (x;y;z;)      BROJ
1022           MELINA  110 KATARI     R.LN.IS        6,1,14        12
1028           MELINA  110 KRAS1      R.LN.IS        7,1,14         2
1034           MELINA  110 KRAS2      R.LN.IS        8,1,14         2
1043           MELINA  110 OMISAL     R.LN.IS        9,1,14         4
1049           MELINA  110 PEH 1      R.LN.IS       10,1,14         6
1070           MELINA  110 VINODO     R.LN.IS       11,1,14         8
1079           MELINA  110 PEH1       R.LN.IS       19,1,14         2
1085           MELINA  110 PEH2       R.LN.IS       20,1,14         3
1091           MELINA  110 PEH3       R.LN.IS       21,1,14        12
1100           MELINA  110 SENJ       R.LN.IS       22,1,14         8
1110           MELINA  110 TERI1      R.LN.IS       23,1,14         5
1116           MELINA  110 TERI2      R.LN.IS       24,1,14         3
1138           MELINA  110 DIVAČA     R.LN.IS       33,1,14         6
1147           MELINA  110 OBROVA     R.LN.IS       35,1,14         6
1156           MELINA  110 TR1        R.LN.IS       36,1,14        15
1160           MELINA  110 TR2        R.LN.IS       37,1,14        16
1165           MELINA  110 TUMBRI     R.LN.IS       34,1,14        18
```

Slika 7. Prikaz sređenog stanja za »signal stanja R.LN.IS«

Navedena zapažanja pokazuju samo mogućnosti u analizi informacijskih događaja EEP-a na osnovi obrađene modularne strukture informacija. U vezi s prikazanim slikama još je potrebno napomenuti da je tumačenje oznaka dano u popisu oznaka, te da brojevi u zadnjem stupcu desno prikazuju sumarne podatke po recima, a brojevi na dnu u zadnjem stupcu predstavljaju sumarne podatke po stupcima XZ-ravnine prema sl. 1.

3.4. Istraživanje stohastičke ovisnosti informacija procesa

Prikazani rezultati istraživanja na realnom sistemu izneseni u poglavlju 3.3 izvedeni su na temelju zadane vektorske strukture parametara procesa po lokaciji, vrsti i nazivu. Budući da su svi zapisi informacija definirani i preciznim vremenom (rezolucija 10 ms), potrebna su istraživanja i po vremenskoj dimenziji. Ona mogu obuhvatiti: praćenje vremenske korelacije procesnih informacija (9), traženje ekspertnih akcija na temelju vremenski definiranih presjeka i/ili unije karakterističnih skupova informacija, utvrđivanje distribucije frekvencija informacija po vrsti i lokaciji (10, 12), analizu dinamike mjernih veličina u SDV-a (7) itd. U ovom poglavlju će se uz primjenu vremenske dimenzije provesti istraživanje stohastičke zavisnosti informacija u procesu po lokaciji i vrsti parametara

3.4.1. *Ukratko o promatranoj stohastičkoj ovisnosti*

Za potrebe ovih istraživanja promatrani jednogodišnji proces podijeljen je u 5-sekundne intervale, te su po tim intervalima, uz prikazani vektorski model, složene informacije promatranog realnog sistema. Procesne informacije pojavljuju se u pogonu kao slučajne veličine (7, 10), te se i promjene stanja parametara u 5-sekundnim intervalima po pojedinim FM-ima i TM-ima promatraju kao slučajne varijable koje su definirane distribucijom informacijskih događaja i pripadnim vjerojatnostima. Upravo između takvih slučajnih varijabli istraživat će se vremenska stohastička ovisnost jednog obilježja (pojava informacije u procesu) na dva različita objekta koji nam ovdje predstavljaju skupove parametara po lokaciji ili vrsti (9).

Kako bi se realizirala potrebna korelacijska analiza između pojedinih slučajnih varijabli, formirane su u prvom koraku odgovarajuće dvodimenzionalne tablice slučajnih varijabli X i Y za sve parove promatranih FM-a ili TM-a. Potanko je postupak opisan u [9], a u nastavku će se samo ukratko opisati osnovne faze ispitivanja. Tablica 4. prikazuje distribuciju dvodimenzionalne slučajne varijable koja se može prikazati kao jedna korelacijska matrica, koja se programski realizira na temelju utvrđene baze podataka. Za tumačenje tablice potrebno je navesti sljedeće:

- brojevi u prvom retku (x_i) i prvom stupcu (y_j) predstavljaju događaj 0, 1, 2, ... n informacija u promatranom 5-sekundnom intervalu procesa po izabranom modulu,
- brojevi na ostalim pozicijama predstavljaju frekvencije (f_{ij}) istovremenog pojavljivanja i-informacija na modulu X i j-informacija na modulu Y
- za svaki stupac i redak tablice definiraju se uvjetne srednje vrijednosti ($\bar{x}_j$, y_i) i uvjetne frekvencije (f_i, f_j) kao pomoćne veličine proračuna

Tablica 4. Primjer korelacijske matrice FM-a

Korelacijska matrica zavisnosti: SKLAPA.SDF — UPRAVLJA. SDF

Y_j X_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	5672598	5229	317	72	5	4	17	0	1	0	2	0	0
1	17851	1094	370	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	2644	66	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	632	187	9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	302	86	5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
5	134	74	13	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0
6	84	76	9	2	0	1	4	0	0	0	0	0	0
7	47	16	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	34	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	11	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
10	15	2	6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
11	6	2	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
12	8	1	0	1	0	3	9	0	0	0	0	0	0

TS MELINA: SS - SIGNALI STANJA

Z		X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
			11	11	11	11	11	11D	11D	11D	11D	11D	11D	11	11	22	22	22	22	22	22D	22D	22D	22D	22D	22D	22D	22	22	22	22	40	40	40	40	40D	40D	40D	40	40	
			MP	SP	S1	S2	S3	KAT	KR1	KR2	OMI	PE1	VIN	T5	T6	MP	SP	S1	S2	S3	PE1	PE2	PE3	SEN	TR1	TR2	T1	T2	T5	T6	GS	PS	MP	SP	DIV	TUM	OBR	T1	T2	DAS	UKUPNO
1	P.UK			10				21	12	11	12	21	15	29	17		22				11	17	98	37	13	12	24	22	19	20				92	14	55	16	21	17		685
2	P.IS			8				11	8	5	8	10	8	30	23		17				6	10	70	27	7	9	24	40	17	25				33	11	39	7	23	20		496
3	P.KV																						2																		16
4	P.MP			4				6	6	4	6	5	6	16	7		4				5	5	8	8	4	9	8	7	6	5				9	7	18	6	6	7		102
5	R.GS.UK																																21	1	11	20		16	13		82
6	R.GS.IS																																18	14	12	33	14	22	17		130
7	R.GS.KV																																			1					1
8	R.GS.MP																																10	12	11	16	13	11	11		84
9	R.PS.UK																																1			40	18	1			60
10	R.PS.IS																																6	5	5	33	20	5	6		80
11	R.PS.KV																																			2					2
12	R.PS.MP																																5	5	5	18	14	5	5		57
13	R.LN.UK							15	7	7	8	10	9								7	8	11	10	10	10									11	16	1	15	13		168
14	R.LN.IS							12	2	2	4	6	8								2	3	12	8	5	3									6	18	6	15	16		128
15	R.LN.KV																																			1					1
16	R.LN.MP							8	5	5	4	11	6								5	4	8	8	5	8									5	6	5	6	8		107
17	R.UZ.UK	1										4	1			3					1	1	4	7	2	2			4	4			34		5	40	15	5	5		130
18	R.UZ.IS	13		4	4	4	4	5	4	4	8	5				18		8	8	8	9	6	10	9	7	9					10	14	29		10	48	28				286
19	R.UZ.KV																																			2					2
20	R.UZ.MP	12		4	4	4	4	5	4	4	3	4				21		8	8	8	7	7	17	16	9	10			4	4	10	10	26		15	61	29	5	5		328
21	R.S1.UK	2	21							3	2	2		4	2	6	21				1	9	8	3	3	6	10	9	5	4											121
22	R.S1.IS	5	62					4	5	5	5	6	4	11	6		10				6	7	6	10	8	8	15	15	8	8											214
23	R.S1.MP	4	11					4	5	5	4	5	4	4	4	5	6				5	5	8	8	5	8	4	5	4	4											117
24	R.S2.UK	6	25							5	6	6		14	1	7	74				5	3	5	7	9	5	13	8		9											209
25	R.S2.IS	4	33					4	5	3	3	3	4	14	5	2	72				9	5	13	5	13	5	14	8		17											241
26	R.S2.KV															1																									1
27	R.S2.MP	4	16					4	5	5	4	4	4	6	4	5	57				5	5	8	8	7	8	7	4		9											179
28	R.S3.UK	4	7					9	12				7	14	8	8	16				8	1	4	2	11	3	6	2	11	5											138
29	R.S3.IS		2					5	4	5	4	4	3	10	11	4	10				4	6	18	11	4	12	22	7	9	9											164
30	R.S3.KV																													1										1
31	R.S3.MP	4	4					4	7	5	4	4	4	4	4	5	4				5	5	9	7	14	9	6	5	4	5											122
32	PRP.MP																												5	5											10
33	SGNL.DS	..																																					282	282
	UKUPNO		59	203	8	8	8	115	93	78	82	112	92	156	92	85	313	16	16	16	101	107	319	191	136	136	153	134	96	134	20	24	150	182	128	485	192	155	144	282	4821

Z

Slika 8. Frekvencija promjene stanja parametara po lokacijama XZ-ravnine signali stanja

SS - SIGNALI STANJA

	03 T1	03 T2	11 T1	11 T2	11 SP	11D EVM	11D VIN	PP	VRATA	DAS	UKUPNO	x
P.UK	17	12	22	13		19	33	6			122	
P.IS	17	12	25	15		17	29	8			123	
P.KV		1					1				2	
P.MP			3	2		1	2				10	
R.S1.MP			3	2	2	1	2				10	
R.LN.UK						9	17				26	
R.LN.IS						8	17				25	
R.LN.MP						1	2				3	
R.UZ.UK	10	6	5	2		6	8				37	
R.UZ.IS	17	4	2		2	7	8	3			43	
R.UZ.MP	3	2	3	2	2	1	2	3			18	
R.UZ.KV								1			1	
KOL.UK	6	2						3			11	
KOL.IS	18	2						2			22	
KOL.MP								2			2	
KOL.KV	1										1	
PRP.MP			29	2							31	
REGU.KV			6	4							10	
ZAŠT.KV								2			2	
VRAT.OT									1138		1138	
VRAT.ZT									1138		1138	
SGNL.DS										2640	2640	
UKUPNO	89	41	121	50	54	93	155	32	2276	2640	5551	

z

UP - UPRAVLJANJE

	03 T1	03 T2	11 T1	11 T2	11D EPM	11D VIN	PP	UKUPNO	x
P.UK	16	12	22	14	18	44		126	
P.IS	12	12	18	14	12	39		107	
R.S1.UK			10		14	26		50	
R.S1.IS			10		14	32		56	
R.LN.UK					14	28		42	
R.LN.IS					14	32		46	
PRP.UK			2	16				18	
PRP.IS			42	2				44	
REGU.UK			25	15				40	
REGU.IS			24	16				40	
UP.DL	6	1	4	2	6	8		27	
UP.LK	6	1	4	2	6	8		27	
UP.E.DL							9	9	
UP.E.LK							8	8	
UKUPNO	40	26	161	81	98	217	17	640	

z

MJ - MJERENJE

	03 MP	03 T1	11 T1	11 SP	11D EPM	UKUPNO	x
KAPON	40			36		76	
R.SNAGA		6			15	21	
PRP			8			8	
UKUPNO	40	6	8	36	15	105	

GR - GRUPNI SIGNALI

	11 SP	11 T1	11 T2	11D EPM	11D VIN	PP	UKUPNO	x
MP.UPZ	2	54	48	38	46		188	
MP.ISK		20	6				26	
UK.SME		16	6				22	
110V						18	18	
220V=						292	292	
48V=						596	596	
POŽAR						4	4	
UKUPNO	2	90	60	38	46	910	1146	

z

Slika 9. Prikaz frekvencije promjene stanja parametara po lokaciji, vrsti i nazivu za TS DELNICE u 1992.

— za svaku vrijednost x_i postoji više vrijednosti y_{ij}, odnosno za svaku vrijednost y_j više vrijednosti x_{ij}, te se definiraju uvjetne srednje vrijednosti $\bar{y}_i$, $\bar{x}_j$ i ukupne srednje vrijednosti stupca $\bar{y}$ i retka $\bar{x}$.

Uz prikazano tumačenje pojedinih karakterističnih veličina slijedi skraćeni prikaz matematičkog postupka (2, 3, 4, 9).

Da se izrazi ovisnost događaja uređenih parova (x_i, y_j) za prikazanu korelacijsku matricu, potrebno je za svaki x_i potražiti uvjetne srednje vrijednosti $\bar{y}_i$ prema relaciji

$$X_i \rightarrow \bar{Y}_i = \frac{1}{f_i} \sum_j^m f_{ij} \cdot Y_{ij} \qquad (13)$$

$$f_i = \sum_j^m f_{ij}.$$

Ako se dobivene točke $\bar{y}_i$ uvjetnih srednjih vrijednosti povežu, dobije se tzv. krivulja regresije $x_i \rightarrow \bar{y}_i$. Analiza stohastičke ovisnosti sastoji se u tome da se metodom najmanjih kvadrata utvrdi kolika je suma udaljenosti pripadnih točaka y_{ij} od krivulje regresije, te se može pisati

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{m1} \sum_{j=1}^{m2} f_{ij} (y_{ij} - Y_i)^2, \qquad (14)$$

a Y_i pri tome predstavlja ordinate osnovne krivulje regresije ili neke aproksimativne krivulje regresije. Ovisno o tome na koji način definiramo vrijednosti krivulje Y_i može se stohastička ovisnost ispitivati pomoću triju osnovnih metoda:

— empirijska korelacija
— linearna korelacija
— nelinearna korelacija.

Kako su slučajni informacijski događaji u pogonu EEP-a vrlo rijetki događaji i izrazito nepravilne prirode, ne može se krivulja regresije kvalitetno aprok-

simirati ni pravcem ni zadanom krivuljom višeg reda. Zato se u ovom radu koristi empirijska korelacija u kojoj se kao krivulja regresije koristi osnovna statistička krivulja koja nastaje direktnim spajanjem točaka uvjetnih srednjih vrijednosti te vrijedi za Y_i izraza (14)

$$Y_i \equiv \bar{y}_i. \tag{15}$$

Uvrštenjem vrijednosti iz (15) u (14) slijedi

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i}^{m1} \sum_{j}^{m2} f_{ij} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2; \; N = \sum_{i}^{m1} \sum_{j}^{m2} f_{ij}. \tag{16}$$

Ako se pomoćna disperzija (varijanca) σ_{my}^2 i osnovna disperzija σ_y^2 definiraju kao

$$\sigma_{my}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i}^{m} f_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \tag{17}$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i}^{m1} \sum_{j}^{m2} f_{ij} (y_{ij} - \bar{y})^2, \tag{18}$$

dobije se omjer korelacije η_{yx} kao parametar stohastičke zavisnosti empirijske korelacije:

$$\eta_{yx} = \frac{\sigma_{my}}{\sigma_y}, \tag{19}$$

a sređivanjem izraza (16) uz pomoć izraza (17) i (18) slijedi

$$S_y^2 = \sigma_y^2 (1 - \eta_{yx}^2), \tag{20}$$

i kako su S_y^2 i σ_y^2 pozitivne veličine, to je i $(1 - \eta_{yx}^2)$ pozitivna veličina, tj.

$$\eta_{yx}^2 \leq 1, \tag{21}$$

te se može zaključiti sljedeće:

- veličina S_y^2 će biti to manja a stohastička zavisnost to veća što je vrijednost n_{yx} bliže jedinici
- ako je $\eta_{yx} = 1$ i $S_y^2 = 0$, imamo funkcionalnu zavisnost varijabli, a ako je $\eta_{yx} = 0$, varijable su potpuno nezavisne.

I na kraju je potrebno još naglasiti da iz navedenih literatura slijedi:

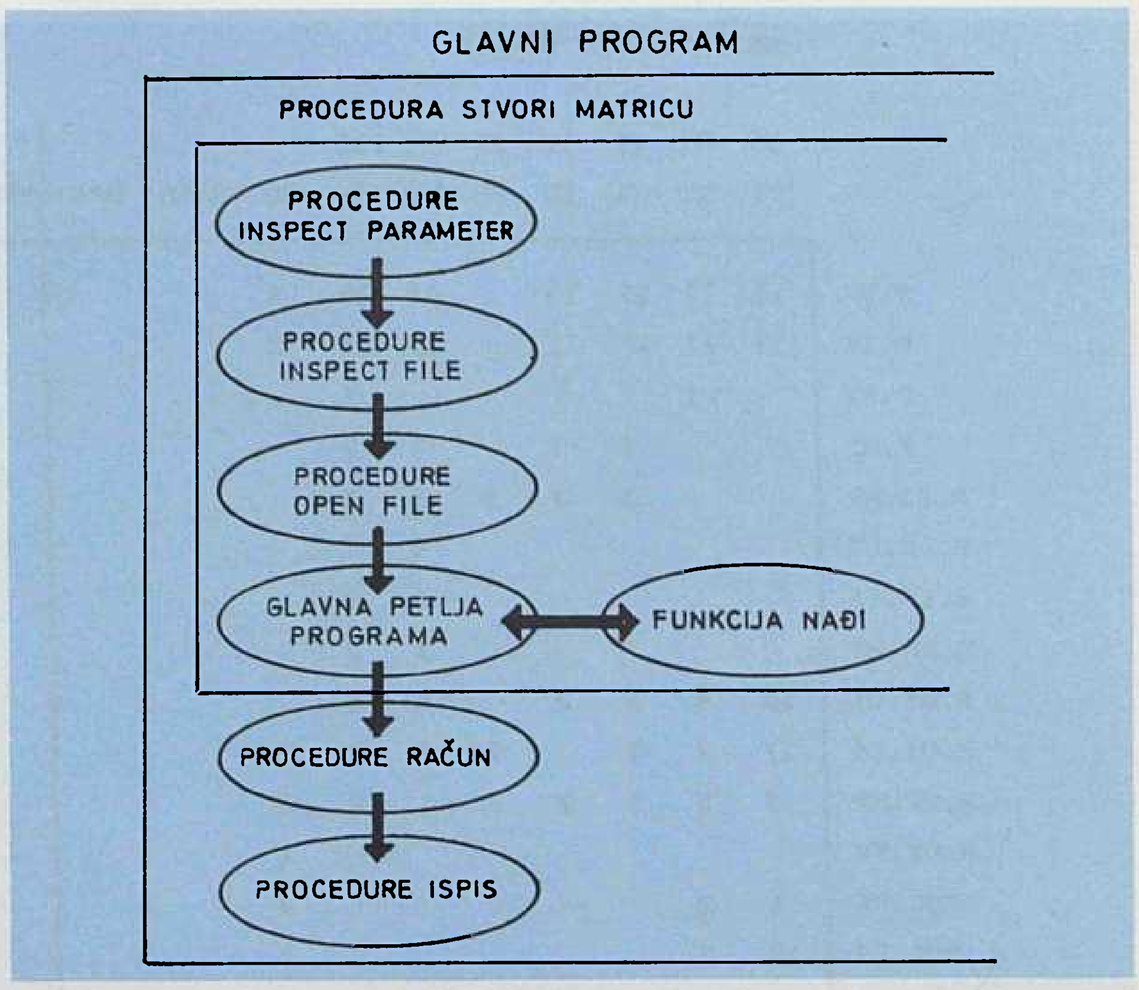
- ako je $\eta < 0.5$ stohastička, ovisnost se uglavnom može zanemariti
- ako je $0.5 < \eta < 0.7$, pokazuje se značajna veza koja ima praktičnu važnost
- ako je $\eta > 0.7$, tada postoji uska veza među promatranim varijablama.

U iznesenom razmatranju prikazao se postupak utvrđivanja omjera korelacije varijable Y u odnosu na varijablu X, a potpuno analogno definira se i omjer korelacije η_{xy} varijable X u odnosu na varijablu Y.

Za provođenje postupaka analize vremenske korelacije informacija izrađen je program za izračunavanje omjera korelacije u programskom jeziku PASCAL koji uključuje razradu prikazane matematičke strukture i obradu korištenih baza podataka. Program je prikazan jednostavnim dijagramom na sl. 10.

U prvom dijelu programa utvrđuju se varijable, konstante i tipovi parametara.

Drugi dio programa — procedura »STVORI MATRICU« — počinje procedurama »INSPECT PARAMETER«, »INSPECT FILE« i »OPEN FILE«. Te procedure imaju zadaću da kontroliraju parametre pri zadavanju komande, egzistenciju datoteka na disku i pridruže logička imena unutar programa datotekama na vanjskom mediju, odnosno disku, a u slučaju neregularnosti prijavljuju izvještaje o greškama.



Slika 10. Tok glavnog programa za ispitivanje korelacije

Slijedi glavna petlja procedure »STVORI MATRICU«. Ona ima zadaću da stvori dvodimenzionalnu matricu 16×16 polja (tablica 4) s rezultatima izračunavanja dvodimenzionalne slučajne varijable. Ovaj dio programa poziva i funkciju »NAĐI« za izračunavanje petero-sekundarnog intervala sloga.

Treći dio programa — procedura »RAČUN« vezana je isključivo za matematički postupak izračunavanja omjera korelacije sa svim potrebnim veličinama u proračunu. I na kraju, četvrti dio programa sadrži proceduru »ISPIS« sa svim traženim rezultatima.

3.4.2. *Prikaz rezultata ispitivanja*

Za ispitivanje vremenske stohastičke zavisnosti informacija u CDU-a izabrani su sljedeći primjeri:

a) Vremenska korelacija informacija između EEP-a, tj. kao informacijski događaj, promatrala se promjena stanja parametara na razini skupa S prema izrazu (1). Rezultati proračuna prikazani su u tablici 5, a u postupku proračuna moralo se obraditi 380 dvodimenzionalnih korelacijskih tablica. Kada bi se provodila analiza stohastičke ovisnosti i između dijelova promatranih EEP-a, tada bi se broj varijanti znatno povećao, te se zbog toga te analize trebaju ciljano provoditi za pojedine pogonske slučajeve odvojeno.

Rezultati ispitivanja pokazuju da su vrijednosti omjera korelacije od 0.002 do 0.15, a to znači da je stohastička ovisnost informacija između EEP-a globalno zanemariva. Sigurno je da će pri mikroispitivanjima između TM-a unutar postrojenja rezultati biti od slučaja do slučaja vrlo specifični, a samo nekoliko takvih slučajeva obrađeno je pod b) i c).

Tablica 5.

Tablica ovjera korelacije među postrojenjima

POSTROJ.	CDU	DEL-KIC	DOLI-KK	EVP--MO	HE--RIJ	HE--VIN	KRA-SIC	LOSIKJ	LOV-RAN	MA-TULJ	ME-LIKA	OKISAL	OTO-CAC	PEHLIK	POREČ	ROVINJ	SENJ	SIJANA	TE-PLO	TE-RIJ
CDU	1.0000	0.0336	0.0541	0.0358	0.0621	0.0444	0.0775	0.0483	0.0836	0.0483	0.0489	0.0442	0.0224	0.0562	0.0476	0.0600	0.0344	0.0640	0.0526	0.0581
DELKIC	0.0287	1.0000	0.0384	0.0421	0.0247	0.0669	0.0241	0.0336	0.0359	0.0089	0.0883	0.0319	0.0087	0.0130	0.0222	0.0158	0.0432	0.0163	0.0375	0.0244
DOLIKK	0.0369	0.0412	1.0000	0.0156	0.0415	0.0339	0.0408	0.0160	0.1150	0.0247	0.0925	0.0112	0.0085	0.0350	0.1062	0.0973	0.0192	0.0899	0.1408	0.0270
EVP-MO	0.0347	0.0422	0.0194	1.0000	0.0077	0.0195	0.0133	0.0120	0.0119	0.0085	0.0457	0.0118	0.0041	0.0047	0.0123	0.0152	0.0222	0.0140	0.0172	0.0078
HE-RIJ	0.0387	0.0317	0.0413	0.0041	1.0000	0.0282	0.0305	0.0147	0.0320	0.0106	0.0950	0.0253	0.0034	0.0380	0.0047	0.0057	0.0240	0.0140	0.0222	0.0275
HE-VIK	0.0382	0.0681	0.0251	0.0241	0.0258	1.0000	0.0391	0.0282	0.0348	0.0097	0.1060	0.0422	0.0078	0.0162	0.0056	0.0073	0.0547	0.0122	0.0165	0.0249
KRASIC	0.0683	0.0370	0.0366	0.0113	0.0352	0.0360	1.0000	0.0252	0.0374	0.0177	0.1061	0.0439	0.0058	0.0318	0.0075	0.0083	0.0266	0.0140	0.0206	0.0362
LOŠINJ	0.0389	0.0339	0.0149	0.0118	0.0171	0.0402	0.0225	1.0000	0.0251	0.0124	0.0407	0.0247	0.0049	0.0143	0.0035	0.0060	0.0265	0.0104	0.0105	0.0161
LOVRAN	0.0487	0.0412	0.1402	0.0093	0.0284	0.0473	0.0259	0.0204	1.0000	0.0355	0.0708	0.0210	0.0055	0.0336	0.0731	0.0407	0.0278	0.0567	0.1645	0.0186
MATULJ	0.0373	0.0093	0.0325	0.0055	0.0138	0.0090	0.0157	0.0142	0.0387	1.0000	0.0204	0.0104	0.0035	0.0159	0.0162	0.0107	0.0089	0.0149	0.0267	0.0153
MELIKA	0.0272	0.0726	0.0552	0.0258	0.0884	0.0921	0.0693	0.0361	0.0582	0.0134	1.0000	0.0444	0.0074	0.0554	0.0074	0.0072	0.0810	0.0165	0.0412	0.0477
OKISAL	0.0436	0.0421	0.0137	0.0125	0.0284	0.0460	0.0481	0.0298	0.0300	0.0131	0.0586	1.0000	0.0067	0.0207	0.0050	0.0057	0.0333	0.0110	0.0164	0.0209
OTOČAC	0.0200	0.0135	0.0128	0.0036	0.0048	0.0104	0.0060	0.0058	0.0077	0.0034	0.0121	0.0089	1.0000	0.0037	0.0033	0.0062	0.0323	0.0068	0.0068	0.0105
PEHLIK	0.0222	0.0093	0.0223	0.0019	0.0357	0.0117	0.0146	0.0072	0.0213	0.0080	0.0414	0.0108	0.0020	1.0000	0.0092	0.0056	0.0070	0.0094	0.0177	0.0138
POREČ	0.0383	0.0163	0.1242	0.0088	0.0051	0.0063	0.0072	0.0037	0.0624	0.0151	0.0071	0.0039	0.0024	0.0142	1.0000	0.0796	0.0041	0.0793	0.1350	0.0053
ROVINJ	0.0391	0.0125	0.1147	0.0097	0.0067	0.0057	0.0070	0.0064	0.0333	0.0110	0.0205	0.0050	0.0043	0.0096	0.0742	1.0000	0.0058	0.0732	0.0506	0.0066
SENJ	0.0272	0.0393	0.0147	0.0075	0.0194	0.0554	0.0192	0.0280	0.0320	0.0073	0.0827	0.0270	0.0222	0.0118	0.0043	0.0056	1.0000	0.0076	0.0104	0.0348
SIJANA	0.0423	0.0151	0.1045	0.0096	0.0157	0.0100	0.0101	0.0091	0.0523	0.0137	0.0289	0.0082	0.0051	0.0179	0.0833	0.0738	0.0077	1.0000	0.0730	0.0081
TE-PLO	0.0159	0.0221	0.0975	0.0088	0.0119	0.0085	0.0101	0.0050	0.0973	0.0150	0.0514	0.0070	0.0027	0.0196	0.0780	0.0361	0.0065	0.0480	1.0000	0.0045
TE-RIJ	0.0588	0.0288	0.0228	0.0070	0.0301	0.0272	0.0359	0.0183	0.0307	0.0181	0.0620	0.0185	0.0082	0.0260	0.0064	0.0099	0.0423	0.0139	0.0123	1.0000

b) Kao drugi primjer obrađuje se vremenska korelacija informacija između TM-a, tj. promatra se promjena stanja parametara po lokaciji na razini skupa S_x prema izrazu (3). Kao karakteristični TM-i uzeti su sljedeći moduli: transformator 110 kV u TS Krasica, dalekovodi 110 kV u HE Vinodol i TS Pehlin, te jedan dalekovod 110 kV, jedan sistem glavnih sabirnica 110 kV i jedan dalekovod 220 kV u TS Melina. Po izboru modula vidljivo je da su oni uzeti iz različitih EEP-a i različitih tehnoloških cijelina. Rezultat prikazan u tablici 6. pokazuje da se stohastička ovisnost za ovako odabrane karakteristične slučajeve bitno razlikuje od slučaja do slučaja. Tako npr. dalekovodi 110 kV koji povezuju TS Pehlin i HE Vinodol s TS Melina imaju omjer korelacije čak 0.433, dok glavne sabirnice u TS Melina (GS2.110) imaju potpuno zanemarive korelacije s ostalim prikazanim TM-ima. U literaturi L.9 obrađena je stohastička ovisnost za TM-e samo unutar jednog postrojenja, uz obradu oko 900 korelacijskih matrica, i zaključeno je da samo 5% slučajeva pokazuje stohastičku ovisnost veću od 0.3, tj. vremensku ovisnost događaja u procesu koja zavređuje dalju obradu.

c) I na kraju kao treći primjer ispitivanja vremenske korelacije informacija promatra se korelacija između FM-a, te se analiziraju promjene stanja parametara po vrsti na razini skupa S_y prema izrazu (2). Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 7, a na sl. 11. prikazana je i grafička trodimenzionalna interpretacija omjera korelacija za odabrane FM-e. Prema rezultatima se zaključuje da je stohastička ovisnost između FM-a znatno veća nego između TM-a, te neki omjeri korelacija poprimaju vrijednosti i do $\eta = 0.5$.

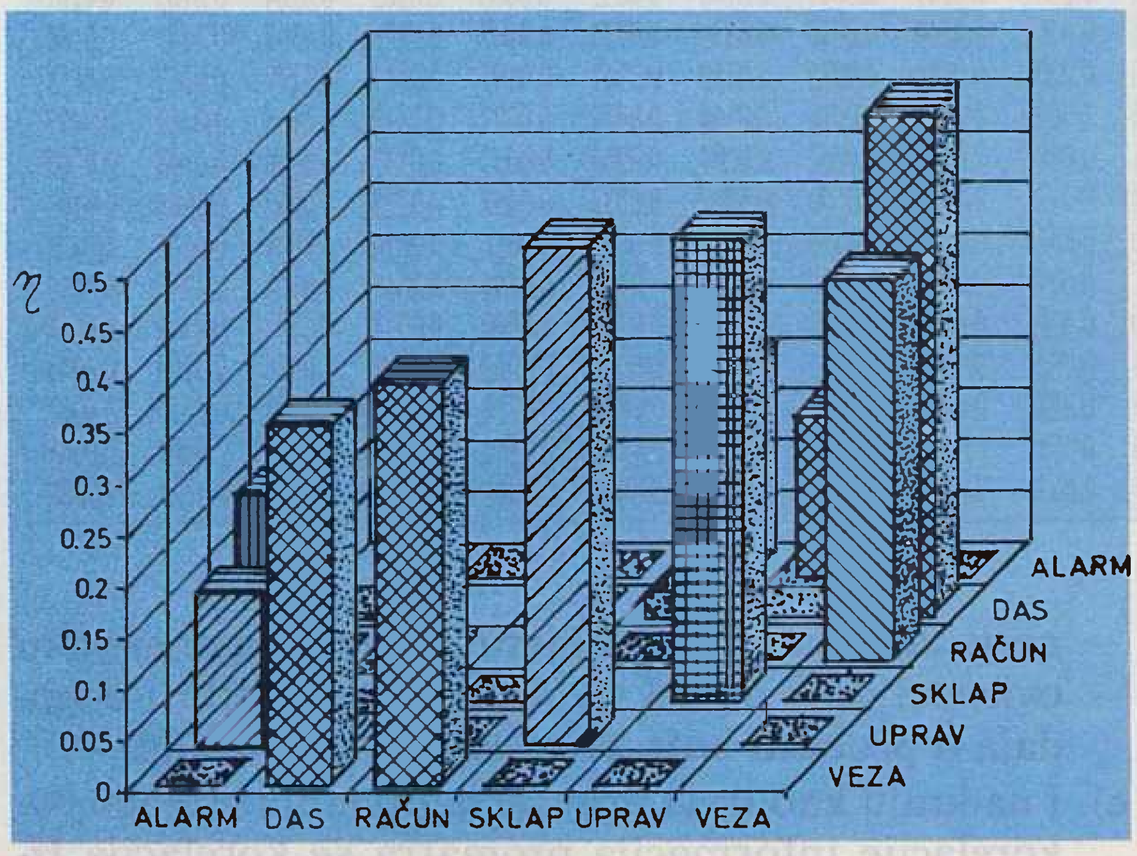
Interesantno je i logično uočiti da modul alarm pokazuje najveću povezanost s modulima sklapanje i upravljanje, zatim da najveći prosječni omjer korelacije pokazuje modul veza s $\eta = 0.125$, a zatim slijede moduli sklapanje i upravljanje s $\eta = 0.1$, a da je najmanji prosječni omjer korelacije kod modula vrata $\eta = 0.0018$.

Tablica 6. Vrijednosti omjera korelacije među TM-ima

TM	Krasic TR1 100	Hevi Mel 110	Pehlin Mel 110	Melina Omi 110	Melina GS2.110	Melina Peh 220
Krasic TR1 110	1	0.000034	0.152886	7.OE – 06	0.000022	0.000084
Hevi Mel 110	0.000032	1	0.16116	5.1E – 06	0.000015	0.000056
Pehlin Mel 110	0.287177	0.433009	1	5.3E – 06	0.000016	0.00006
Melina Omi 110	6.OE – 06	4.4E – 06	4.3E – 06	1	2.8E – 06	0.000011
Melina GS2.110	0.000018	0.000013	0.000013	2.8E – 06	1	0.000032
Melina Peh 220	0.000071	0.000052	0.000052	0.000011	0.000034	1

Tablica 7. Vrijednosti omjera korelacije za FM-e u CDU-a

FM	Alarm	DAS	Mjeren	Računa	Sklap	Uprav	Veza	Vrata
Alarm	1.00000	0.01017	0.06857	0.00137	0.20502	0.14916	0.00219	0.00094
DAS	0.00898	1.00000	0.00651	0.00946	0.02799	0.02935	0.35240	0.00083
Mjerenje	0.06100	0.00604	1.00000	0.00106	0.02997	0.00875	0.00053	0.00080
Računalo	0.00121	0.00746	0.00067	1.00000	0.00161	0.00158	0.39251	0.00037
Sklapanj	0.20961	0.02730	0.01814	0.00157	1.00000	0.48403	0.00144	0.00173
Upravlja	0.15895	0.02444	0.00791	0.00226	0.45307	1.00000	0.00186	0.00165
Veza	0.00093	0.49563	0.00045	0.37234	0.00186	0.00137	1.00000	0.00025
Vrata	0.00196	0.00232	0.00139	0.00044	0.00308	0.00213	0.00129	1.00000



Slika 11. Grafički prikaz stohastičke zavisnosti FM-a u CDU-a (z-os vrijednost omjera korelacije)

Obrađena tri primjera ispitivanja stohastičke zavisnosti za EEP-a pokazuju jedan sistematski pristup u analizi vremenske korelacije procesnih informacija a konkretni rezultati se poklapaju s fizikalnim i tehnološkim zbivanjima u realnom sistemu. U daljnjim konkretnim analizama trebali bi se promatrati TFM-i prema sl. 1 (stupci i reci XZ i YZ ravnina), tj. promjene stanja parametara na razini skupova S_{xy} i S_{yz} prema izrazima (4) i (5). Kako bi ispitivanje na toj razini obuhvatilo vrlo velik broj kombinacija dvodimenzionalnih slučajnih varijabli, takva ispitivanja ima smisla provoditi tek pošto se u potpunosti srede izbor, selektiranje i način zapisa informacija u procesu SDV-a.

4. ZAKLJUČAK

U iznesenom radu promatrali su se događaji EES-u organizirani u jednu modularnu strukturu, a parametri sistema prikazani su točkama u prostoru. Utvrđeno je da informacija kao promjena stanja jednog ili više parametara nije stalna veličina, već ovisi o tome koji se eksperiment i na kojoj razini EEP-a promatra.

Na temelju provedene analize procesnih informacija realnog sistema u kojoj je korištena opisana modularna struktura parametara mogu se iznijeti sljedeće konstatacije:

— promatrao se jedan CDU-a s dvadesetak postrojenja u jednogodišnjem radu i u toku tog razdoblja zabilježeno je 144 014 informacija,
— kvaliteta zapisa procesnih informacija još uvijek ne zadovoljava, te se zbog toga znatan dio vremena (do 70%) troši na sređivanje tih zapisa
— strukturu atributa zapisa procesnih informacija treba doraditi ako se želi efikasnije korištenje za statističke obrade i ekspertnu primjenu u procesu
— sređene informacije po prikazanoj modularnoj strukturi omogućuju vrlo efikasne statističke i pogonske analize događaja u EES-u,
— prikazana je mogućnost promatranja frekvencije promjena stanja parametara po svakoj lokaciji prikazanog trodimenzionalnog sustava, a izlazni rezultati su prikazani kao originalne cjeline ravnina, stupaca i redova, osim po lokaciji i vrsti, i po nazivu parametra
— proračun stohastičke ovisnosti informacija u procesu izveden je između TM-a i FM-a, tj. na razini XZ i YZ-ravnina
— analiza frekvencije informacija procesa razrađena je i provedena sve do razine pojedine informacije (sl. 7 do 11), a izlazni rezultati su prikazani kao originalne cjeline ravnina, stupaca i redaka prema opisanoj strukturi parametara, te se može vrlo precizno uočiti koja su mjesta pogona najfrekventnija, gdje se najviše manipulira, koji su uređaji najčešće u upotrebi, koji se signal, na kojoj lokaciji i koliko često aktivira itd.

Ozbiljniji komentar s realno upotrebljivim rezultatima analize nije moguće dati s postojećom strukturom izbora i zapisa procesnih informacija. Razlog tome je u osnovi nedefiniranost i neujednačenost kriterija izbora selekcije i zapisa procesnih informacija EES-a HEP-a.

Daljnje aktivnosti na tom području treba zato u prvom redu usmjeriti na temeljito sređivanje zapisa procesnih informacija po pitanju kriterija izbora, odabira strukture i izvedbe u pogonu. Nakon toga potrebno je definirati metode i postupke za utvrđivanje vremenskih, tehnoloških i funkcijskih korelacija na razini TFM-a i na razini pojedinih informacija, a to zahtijeva vrlo složenu i detaljnu analizu i sintezu pogona.

POPIS OZNAKA

Latinične oznake i kratice

A — algebra događaja
a — broj događaja promatrane algebre
CDU — centar daljinskog upravljanja
DAS — daljinska stanica

DL — daljinski
DV — dalekovod
EEP — elektroenergetsko postrojenje
GR — grupni signal
GS — glavne sabirnice
i — informacija u procesu
KOL.UK — kolica 35 kV uključena
LK — lokalno
MP — mjerno polje
MJ — mjerenje
NP.ISK — neispravnost polja isključenje
NP.UPZ — neispravnost polja upozorenje
NP.UPR — nemogućnost upravljanja
P.UK — prekidač uključen
P.IS — prekidač isključen
P.MP — prekidač međupoložaj
P.KV — prekidač kvar
PS — pomoćne sabirnice
PP — pomoćno postrojenje
PRP — položaj regul. preklopke
R — skup realnih brojeva
R.LN.IS — rastavljač linijski isključen
R.S1.UK — rastavljač sistema 1 uključen
R.UZ.IS — rastavljač uzemljenja isključen
R.S2.MP — rastavljač sistema 2 međupoložaj
S — skup parametara sistema
s — stupanj parametra α
SP — spojno polje
SS — signali stanja
S1, 2, 3 — sabirnice sistema 1, 2 i 3
SAB — sabirnice
TR — transformator
TP — transformatorsko polje
UP — upravljački nalazi
UN.SME — unutarnje smetnje
z — oznaka naziva parametra
11D — dalekovod 110 kV
11MP — mjerno polje 110 kV
22SP — spojno polje 220 kV
40GS — glavne sabirnice 400 kV

Grčke oznake

α — parametar sistema
β — broj stanja jednog parametra
σ — broj elementarnih događaja
ω — elementarni događaja
Ω — prostor elementarnih događaj
x — oznaka lokacije parametra
y — oznaka vrste parametara
X, Y — slučajne varijable modula EEP-a
x_i, y_j — vrijednosti slučajnih varijabli X, Y
x_j, y_i — uvjetne srednje vrijednosti varijabli X, Y
x, y — srednje vrijednosti slučajnih varijabli X, Y
η_{xy}, η_{yx} — omjer korelacije
σ_x — disperzija (varijanca) slučajne varijable X
σ_y — disperzija (varijanca) slučajne varijable Y
σ_{mx}, σ_{my} — disperzija uvjetnih x_j (y_i) i ukupne srednje vrijednosti $x(y)$

LITERATURA

[1] PAUŠE Ž.: »Uvod u teoriju informacije«, Školska knjiga, Zagreb, 1989.

[2] PAUŠE Ž.: »Vjerojatnost, informacija, stohastički procesi«, Školska knjiga Zagreb, 1987.

[3] VRANIĆ V.: »Vjerojatnost i statistika«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.

[4] Mc CLAVE J. T., DIETRICH F. M.: »Statistics«, Dellen Publishing Company, San Francisco, 1988.

[5] SACHS L.: »Angewandte Statistik — Planung und Anwertung Methoden und Modelle«, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1974.

[6] GITT W.: »Information die drite Grundgrosse neben Materie und Energie«, Siemens Zeitschrift 4/1989.

[7] GAUSHELL D. J.: »Analysis of analog data dinamics for Supervisory Control and data Acquisition systems« IEEE Transaction PAS-102, No. 2, February 1983.

[8] ŠIMUNIĆ J.: »Prostor vjerojatnosti skupa procesnih informacija elektroenergetskog postrojenja«, Energija, Zagreb, 39: 269–274, 1990.

[9] ŠIMUNIĆ J.: »Analiza korelacije za informacije EES-a u realnom vremenu«, Energija, Zagreb, 40: 223–230, 1991.

[10] ŠIMUNIĆ J.: »Analiza stohastičkih promjena stanja informacija elektroenergetskih postrojenja«, Energija, Zagreb, 41: 145–150, 1992.

[11] ŠIMUNIĆ J.: »Informacijski događaji prikazani točkama u prostoru«, 38. međunarodni simpozij KOREMA, Zagreb, travanj 1993.

[12] BARANOVIĆ N., KAVUR V.: »Minimizacija količine podataka i broja obrada SDV-a u realnom vremenu«, XVIII savjetovanje CIGRE, Budva, 1987.

[13] GUDELJ D., ŽUBRINIĆ K., BABIĆ T.: »Dodatne obrade podataka iz CDU Pehlin«, Savjetovanje o mikroračunalima u tehničkim sustavima — MIPRO, Opatija, 1993.

[14] ŠIMUNIĆ J.: »Model za proračun vremena osvježavanja procesnih informacija u centrima vođenja EES«, Energija, Zagreb, 42: 15–22, 1993.

ELECTRIC POWER SYSTEM EVENT ANALYSIS USING MODULAR INFORMATION STRUCTURE

The usage of process information in a real time and out of it is a very complex but also an important segment of the electric power system automatic control. In this work, based on a one year process information of a real-time system, the modular model of information observation is worked out, by means of which the analysis of time correlation and frequency of information appearance for the chosen moduls by location, type and name is carried out.

ANALYSE DER EREIGNISSE EES — MIT HILFE DER MODULAREN INFORMATIONSTRUKTUR

Die Nutzung der Prozessinformationen in der realen Zeit und ausserhalb ist ein sehr kompliziertes aber auch ein wichtiges Segment in der automatisierten Führung des EES. In dieser Arbeit wird auf dem Beispiel einjähriger Prozessinformationen des realen Systems das modulare Modell der Beobachtung der Informationen beschrieben und mit dessen Hilfe wurde die Analyse der zeitlichen Korrelation und Frequenz der Erscheinung der Informationen für ausgewählte Module nach der Lokation, Art und Benennungen durchgeführt.

Naslov pisca:

Doc. dr. Juraj Šimunić, dipl. ing.
Tehnički fakultet Rijeka,
51000 Rijeka, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993–11–10.

OBNOVA BRANE HE PERUČA

Ubrzano se radi na obnovi brane koja je u ovim ratnim razaranjima teško oštećena. Tijekom 1993. godine otpočeli su radovi na obnovi brane HE Peruča. Trenutno se popravlja kontrolna galerija i radovi se približuju mjestu eksplozije.
Sigurnosti radi vjerojatno će biti potrebni i dodatni istražni radovi. Najvjerojatnije će se ugraditi tzv. dijafragma koja jamči potpunu sigurnost elektrani čak i u uvjetima potresa. Radovi na kruni brane ovise o odlukama vojnih stručnjaka, no bude li sve u redu, cijela brana trebala bi biti obnovljena u jesen 1994. godine. Budući da bilo kakvo povećanje vode u akumulacijskom jezeru može ugroziti obavljeni posao, Peručko jezero ove godine neće moći služiti svojoj svrsi. Iskoristit će se samo protok vode preko brane.
Građevinski radovi na sanaciji druge faze peručke brane povjereni su splitskoj tvrci »Konstruktor«, a početkom siječnja ove godine potpisan je i ugovor o izvedbenim radovima.

I. R.

SIMPOZIJ O ZNAČAJU RUDARSTVA U HRVATSKOJ

U povodu Dana rudara Rudarsko-geološki-naftni fakultet u Zagrebu organizirao je 3. prosinca 1993. simpozij »Doprinos rudarstva energetici Hrvatske«, koji se održao u INA-Naftaplinu. Uz ugledne goste nazočni su bili i mnogi stručnjaci, a u radnom dijelu predočili su i dvadesetak stručnih tema.
Pozdravljajući više stotina stručnjaka iz cijele Hrvatske, izaslanik predsjednika Vlade, ministar gospodarstva Nadan Vidošević, među ostalim je istaknuo iznimnu ulogu rudarstva u energetskoj bilanci zemlje, napose u ovim teškim danima.
Dan rudara i blagdan Sv. Barbare prisutnima je u ime Zagrebačkog sveučilišta čestitao i rektor dr. Marijan Šunjić.
Svi radovi sa simpozija tiskani su u Zborniku koji je za tu priliku izdao Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu, ustanova koja ove godine slavi i svoju 55. obljetnicu rada. U sklopu simpozija organizirana je i prigodna izložba o rudarstvu.

I. R.

PROIZVODNJA PLINA NA RADILIŠTU MOLVE

Tri najveća plinska polja — Molve, Kalinovac i Stari Gradec — u deset mjeseci 1993. godine proizvela su više od 1,185 milijardi prostornih metara plina i time premašila postavljeni plan za jedan posto. Među tim poljima posebno se ističe Stari Gradec, koji je iako s najmanjom proizvodnjom, najviše prebacio plan. Naime, umjesto 37,8 milijuna kubika to je polje proizvelo 48 milijuna kubika i tako nadmašilo plan za čak 26 posto. Prebačaj u proizvodnji imalo je i polje Kalinovac, gdje je umjesto 341 milijun kubika proizvedeno oko 350 milijuna to je 2,5 posto više od plana. Iako najveće po proizvodnji, molvinske su bušotine proizvele 787 milijuna kubika, što je jedan posto manje od plana.
Na radilištu se proizvode još i kondenzat, primarni benzin C2+frakcije. Na spomenutim trima poljima proizvedeno je 273 500 tona kondenzata, što je čak pet posto više od plana. Primarnog benzina proizvedeno je 8.270 tone, čak upola više od planirane količine.

I. R.

POČETAK GRADNJE »OTOČNE VEZE«

U Novalji na Pagu početkom studenog 1993. godine obilježen je početak rada na ostvarenju projekta elektrifikacije »Otočne veze«, odnosno početak gradnje 110-kilovoltnoga dalekovoda između Raba i Paga, te trafostanice »Novalja«. Time će se bitno ublažiti nedostatak struje na otočnom dijelu Ličko-senjske županije te cjelokupnom području Zadarsko-kninske županije. Pomoćnik ministra za gospodarstvo Vladimir Kramberger naglasio je da je postavljanje dalekovoda Rab — Zadar omogućeno uz pomoć Hrvata iz dijaspore koji za tu svrhu skupljaju novac. Troškovi za prvu etapu »Otočne veze« procjenjuju se na 38,8 milijuna dolara. U sam dalekovod od Raba do Paga, dug 20 km, ugradit će se 74 stupa, 700 prostornih metara betona i 230 tona čelika. Izvođač gradnje dalekovoda jest zagrebačko poduzeće »Dalekovod«, prema vlastitoj dokumentaciji, a trafostanicu radi riječki »Brodomaterijal«. Završetak radova na navedenim objektima predviđen je za kolovoz 1994. godine. Najavljena je i gradnja 110-kilovoltnog DV Lika — Karlobag — Pag, čime će se prema Zadru prenositi struja i do 100 megavata snage.

I. R.

OTVORENJE JADRANSKOG NAFTOVODA

Srednjoeuropske države Češka, Mađarska, Slovačka, Austrija, Poljska, pa i daleka Ukrajina veoma su zainteresirani za najhitnije otvorenje Jadranskog naftovoda. Hitno otvorenje Jadranskog naftovoda predviđaju i rezolucije UN. Zašto je Jadranski naftovod potreban Europi? U upravi Jadranskog naftovoda u Omišlju tvrde da je to najekonomičnija i najkraća veza sa srednjoeuropskim državama, što je i najveća prednost hrvatskog naftovoda u usporedbi s ostalima, primjerice s tršćanskim naftovodom.
U sklopu naftovoda nalazi se i naftna luka Omišalj, za koju pomorski stručnjaci kažu da je jedna od malobrojnih u ovome dijelu Europe u koju mogu uploviti i najveći tankeri. Osim toga, nafta se iskrcava u svim vremenskim uvjetima. Jadranski naftovod i te kako je važan za srednjoeuropske države. Razumljivo je da su Mađarska, Češka i Slovačka zainteresirane da se naftovod otvori što prije.

I. R.

INA ĆE SURAĐIVATI U ISTRAŽIVANJU NAFTE U REPUBLICI ALBANIJI

Tijekom prošle godine vođeni su intenzivni poslovni razgovori između izaslanstva Republike Albanije i Ininih pred-

stavnika o istraživanju nafte i plina u Republici Albaniji. Razmotreno je pitanje zajedničkog nastupa u istražnim radovima na kopnu Albanije i bazenu Drača.
Osim istraživanja nafte i plina, zagrebačko poduzeće pružat će usluge na području istraživanja i proizvodnji ugljikovodika, te razvoju tržišta derivata i otvaranju tržišta tekućih plinova, kao i u plinofikaciji u Albaniji i modernizaciji rafinerija, te u razvoju turizma. To su bile okvirne teme o kojima se razgovaralo.
Tijekom 1994. godini potpisat će se ugovor o zajedničkoj suradnji na istraživanju nafte i plina.

I. R.

UGOVOREN PODMORSKI KABEL IZ ŠVEDSKE

Nedavno je Hrvatska elektroprivreda potpisala ugovor sa švedskom tvrtkom ABE HVC o radovima na najvažnijem dijelu »Otočne veze«.

Ugovor predviđa proizvodnju, prijevoz, polaganje i puštanje u pogon 110-kilovoltnog kabela podmorskim dionicama »Otočne veze« (Rab — Pag dužine 11,5 km i otok Pag — kopno u dužini od 2,5 km), te podzemnog kabela između TS Bili Brig i TS Zadar I (4,7 km). Ugovor uključuje opremu na dionici Karlobag — otok Pag (2,5 km) i isporuku opreme za program MORKAB (održavanje postojećih i novoizgrađenih podmorskih kabela u Hrvatskoj). Ukupna vrijednost opreme i radova iznosi otprilike 24 milijuna DEM, a rok završenja je 7 do 8 mjeseci od dana stupanja ugovora na snagu.

I. R.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

NORVEŠKA PRODAJE STRUJU ŠVEDSKOJ

Prema nedavno sklopljenom ugovoru, Norveška će Švedskoj tijekom tri godine, prodati 3 TWh električne energije godišnje. Kupci su švedsko državno poduzeće Vattenfall, koje će kupiti 2,2 TWh godišnje i Sydkraft 0,8 TWh. Energiju prodaje Notsk Krafteksport, sindikat od osam norveških proizvođača električne energije. Ako bi bilo potrebno, može doći i do obrnutog toka energije, tj. iz Švedske u Norvešku.

Water Power, god. 45(1993), br. 6

Mrk.

AUSTRIJA SUBVENCIONIRA UGRADNJU SUNČANIH KOLEKTORA

Vlada austrijske pokrajine Štajerske potiče ugradnju sunčanih kolektora za grijanje prostorija, pripremu tople vode i poljoprivredne sušare. U tu je svrhu odredila 15 milijuna ATS u 1992. godini. Do sada je već primljeno oko 800 prijava, a prvih 83 tražioca dobilo je 400 000 ATS. Najveći je doprinos po domaćinstvu 30 000 ATS.

ÖZE, god. 46(1993), br. 6

Mrk.

PROŠIRENJE HIDROSUSTAVA GRANDE DIXENCE

Počeli su radovi na povećanju instalirane snage velikog hidrosustava Grande Dixence u Švicarskoj. Sustav, izgrađen prije 30 godina, ima veliku akumulaciju od 400. 10 m³ (Lac des Dix), pregrađenu betonskom gravitacijskom branom visine 285 m, najvišom branom takvog tipa u svijetu. Vodom iz te akumulacije koriste se dvije elektrane, Fionnay-Nendaz i Chandoline, ukupne instalirane snage 680 MW. Kapacitet ove akumulacije jest 20% ukupno akumulirane vode za proizvodnju električne energije u Švicarskoj. Da se ona može što optimalnije iskoristiti, osobito u zimskim vrhovima opterećenja, gradi se i treća hidroelektrana, Brendrom, snage 1 100 MW. Ona će se koristiti padom od 1 883 m u trima Peltonovim turbinama od koje je svaka snage 400 MW. Ti će strojevi veličinom biti najveći na svijetu. Hidroelektrana će biti smještena u dolini Rone, nedaleko mjesta Sion. Razvoj električne energije iz elektrane ići će putem susjedne postojeće transformatorske i rasklopne stanice Chamoson, i to vodovima 220 kV i 380 kV.

Water Power, god. 45(1993), br. 6

Mrk.

ELEKTROENERGETSKO POVEZIVANJE NA BLISKOM ISTOKU

Ministri Sirije, Jordana, Egipta, Iraka i Turske potpisali su u lipnju 1993. u Amanu ugovor o izgradnji zajedničkog elektroenergetskog sustava koji će povezivati navedene zemlje. Ostvarenje ovog sustava procijenjeno je na 450 milijuna USD. Ugovor sadrži pravne i tehničke smjernice za zajedničku mrežu koja bi trebala ući u pogon 1998. Računa se da će ovo povezivanje donijeti uštedu od 2 do 3 milijuna USD godišnje.

ÖZE, god. 46(1993), br. 7/8

Mrk.

TREĆA SREDNJOEUROPSKA VEZA ISTOK – ZAPAD U POGONU

Početkom srpnja 1993. u redovni komercijalni pogon ušla je i treća istosmjerna veza zapadnoeuropske i istočnoeuropske povezane mreže. U stanici Wien-Süd-Ost (Beč — jugoistok) izgrađena je visokonaponska istosmjerna usmjerivačka stanica tipa leđa uz leđa, vršne snage 600 MW. Stanica je vodom 400 kV dugim 127 km vezana s mađarskom rasklopnom stanicom Györ. Još od 1983. Austrija je sličnom istosmjernom vezom, preko usmjerivačke stanice Dürnrohr, od 550 MW, spojena s češkom rasklopnom stanicom Slavetice. Također je 1993. završena visokonaponska istosmjerna usmjerivačka stanica u Bavarskom mjestu Etzenricht, snage 600 MW, putem koje je njemačka mreža vezana za češku rasklopnu stanicu Hradec. Važnost tih triju veza nije samo u tome što spajaju mreže spomenutih država, već što omogućuju izmjenu električne energije između dvaju jakih elektroenergetskih sustava koji ne mogu direktno sinkrono raditi.
Cijelo novo usmjerivačko postrojenje stajalo je ukupno 580 milijuna ATS.

ÖZE, god. 46(1993), br. 7/8

Mrk.

PLINSKA TURBINA NAJVEĆE SNAGE U SVIJETU

Francuska tvrtka GEC Alsthom isporučila je francuskoj elektroprivredi EdF, danas najsnažniju plinsku turbinu na svijetu, snage 215 MW. Turbina je izrađena u tvornici u Belfortu, a ugrađena u elektrani Gennevilliers kraj Pariza. Nakon neobično velikog broja ispitivanja (3 000 mjerenja) ući će potkraj 1993. u redovni pogon. Zbog izvanrednih osobina već je naručeno 26 takvih jedinica. Ona se može koristiti kako za pokrivanje temeljnog opterećenja, tako i vršnog, a ekološki je vrlo povoljna.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92(1993), br. 5

Mrk.

EUROPSKI PATENTI U SLOVENIJI

Predsjednik Europskog patentnog ureda (EPA) dr. P. Braendli i slovenski ministar za znanost i tehniku dr. R. Bohinc potpisali su u Ljubljani dogovor o suradnji na polju patenata. Dogovoreno je da će se ubuduće zaštita patenata podijeljenih od EPA protegnuti i na Sloveniju premda ona nije član europske patentne organizacije. Takav model suradnje privlačan je za male srednjoeuropske i istočnoeuropske zemlje koje nisu članice EPA, ali se mogu koristiti europskim patentnim ugovorima. Latvija i Litava žele uskoro uvesti takvu suradnju.

ETZ, god. 114(1993), br. 17

Mrk.

REALNE BRUTO-PLAĆE U ZEMLJAMA EZ

Premda je iznos bruto-plaća 1993. godine porastao prema 1992. u svim zemljama EZ, povećanje cijena nije svuda omogućilo i povećanje kupovne moći. Tako je kupovna moć povećana u Irskoj 3,6%, Portugalu 2,8%, Belgiji 1,8%, Španjolskoj 1,7%, Francuskoj 1,2%, Luksemburgu 1,2%, Danskoj 0,9% i Nizozemskoj 0,6%. Naprotiv, pad kupovne moći uslijedio je u Velikoj Britaniji za 1,3%, Italiji za 1,6%, Grčkoj za 1,9% i Njemačkoj za 2,0%.

ETZ, god. 114(1993), br. 17

Mrk.

PORAST POTROŠKA ENERGIJE U SVIJETU

Porast potroška energije u svijetu u 1992. godini porastao je prema prethodnoj za samo 0,2%, što praktički znači da je potrošak bio stabilan. No u različitim područjima promjene su bile vrlo različite. Zemlje u razvoju potrošile su 4,8% više energije. Posebno velik porast potrošnje zabilježen je na Filipinima, u Južnoj Koreji i Tajlandu. SAD i Japan bilježe porast, a europske industrijske zemlje pad. Znatan pad potrošnje energije dogodio se u zemljama bivšega istočnog bloka. U cijeloj bivšoj sovjetskoj državi prosječan pad bio je 7,5% (u Ukrajini npr. 18,3%). No budući da je nacionalni dohodak još više pao, može se zaključiti da je energetska učinkovitost znatno smanjena.

ÖZE, god. 46(1993), br. 9

Mrk.

ELEKTROVOZILA U SAD

U SAD se poduzimaju opsežne mjere da se u promet pusti što više automobila sa sniženom emisijom štetnih plinova. Kako taj uvjet najpotpunije ispunjava elektrovozilo, koje uopće ne zagađuje zrak, to se upravo nastoji što više povećati njegova upotreba, no za to treba ispuniti neke uvjete. Za takav novi proizvod mora se stvoriti i tržište. Samo razvojem tehnologije ne može se ništa učiniti. Danas je elektrovozilo skupo i manje prikladno za uporabu od benzinskog motora. Tehnološki razvoj mora teći usporedo s intenzivnim radom na motivaciji proizvodnje i prodaje. Uz to treba država poduzeti mjere da se tržište ostvari. Osim toga što ne onečišćuje zrak, uvođenje elektrovozila donosi SAD-u i druge prednosti. Smanjit će se uvoz nafte, a električna se energija proizvodi gotovo isključivo na temelju domaćih goriva. Osim toga, stvorit će se i nova radna mjesta. Navedene opće prednosti jasne su korisnicima, ali oni još ne vide neke prednosti za sebe osobno. Stoga je nužna državna intervencija u proizvodnji i kupnji, poboljšanju tehnologije, smanjenju cijene te sigurnog pogona izgradnjom potrebne infrastrukture. U tom smislu najviše je učinjeno u saveznoj državi Kaliforniji.

Program California Air Resources Boord predviđa da će se već od 1998. godine proizvođači vozila, za kalifornijsko tržište, morati orijentirati na motore s malim onečišćenjem atmosfere. Na temelju zakona o čistoći zraka iz 1990. i o energetskoj politici iz 1992. moguće su porezne olakšice za vozila koja su manji onečišćivači od današnjih standardnih. Računa se da će već 1997. u prometu biti 25% vozila koja imaju smanjenu emisiju štetnih plinova, a 2% s vrlo niskom štetnom emisijom. Do 1999. povećat će se postotak vozila s vrlo niskom emisijom na 7,5%, a s emisijom nula na oko 2%, a takvi su samo elektroautomobili. Od 2001. ne bi više bilo u prometu vozila s današnjim stupnjem zagađenja, a elektroautomobila bilo bi 10%. Ako bi od 1999. bilo 2% elektrovozila, to znači za Kaliforniju 24 000 vozila godišnje, od 2001. broj porastao bi na 61 000, a od 2003. na 122 000 vozila godišnje. No budući da i mnoge druge savezne države u SAD usvajaju ovakva ekološka nastojanja, može se računati za cijelu SAD godišnje 400 000 elektrovozila. Svjetska automobilska industrija ulaže velika sredstva za

razvoj ove nove tehnologije. U SAD upravo je u tijeku trogodišnji demonstracijski projekt dostavnog vozila na električni pogon. Mnogi poznati svjetski proizvođači automobila rade na konstrukciji sličnih prototipova. Nastoji se poboljšati aerodinamika, primijeniti lakši materijali i povećati korisnost pogona. Među najvažnijim problemima je razvoj baterija. Zbog što veće učinkovitosti razvojnog napora, američke autotvrtke, proizvođači baterija i elektroprivreda osnovale su 1991. uz pomoć države posebnu organizaciju US Advenced Battery Consortium (USABC). Srednjoročni program (1998) predviđa razvoj hibridnih nikal-metalnih, odnosno natrij-sumpornih i natrij-nikalnih baterija. Nakon godine 2000. u obzir dolaze litij-željezne odnosno litij-polimerne baterije. Osim toga, auto-industrija i elektroprivreda intenzivno rade na stvaranju infrastrukture nužne za uvođenje elektrovozila. Auto-industrija treba izgraditi servisnu mrežu, a elektroprivreda stanice za napajanje. Sve što je dosad učinjeno vodi do stvaranja tržišta elektrovozila.

ÖZE, god. 46(1993), br. 9

Mrk.

ISKUSTVA S ELEKTROAUTOMOBILIMA U NJEMAČKOJ

Poznata Njemačka tvrtka Volkswagen A.G. ima već dvadesetogodišnje iskustvo u gradnji i pogonu elektrovozila i elektrohibridnih automobila. Izrađeni su različiti tipovi i testirani s obzirom na upotrebljivost i prihvaćanje korisnika. Testovi su pokazali da su tehniku i voznu sposobnost vozači ocijenili pozitivno, ali smanjenje komfora nije prihvaćeno. Pojedine komponente elektrovozila, kao zagon, elektronika, a osobito baterije, imaju još značajke prototipova ili malih serija. Do sada nije postignuta dovoljna pouzdanost ni kvaliteta takvih vozila da bi se moglo prijeći na velike serije za široku upotrebu. Svakako su baterije najveći problem. Njihova kvaliteta varira od proizvođača do privređača. VW je već nakon godine dana, na temelju testiranja u Zürichu, uklonio iz daljnje upotrebe natrij-sumporne baterije i zamijenio ih olovo-gel i nikal-kadmijskim baterijama. Testiranja su pokazala da se za proizvodnju velikih serija još mora proći znatan razvojni put. Korisnici visokoindustrijaliziranih zemalja prihvatit će elektrovozila i elektrohibridne automobile ako oni zadovolje zahtjeve sigurnosti, kvalitete i komfora. Da će se postići željeni standard za zagon i elektroniku, to je sigurno, no glede baterija stručnjaci su skeptični.

ÖZE, god. 46(1993), br. 9

Mrk.

POVEĆANA VLASTITA POTROŠNJA TERMOELEKTRANA U NJEMAČKOJ

Prema izvještaju udruženja njemačkih elektrana VDEW, porastao je u zapadnom dijelu Njemačke vlastiti potrošak elektrana u 1992. na 7% od ukupne bruto-proizvodnje javnih elektrana. Taj je porast prouzročen povećanom ugradnjom uređaja za ekološku zaštitu. U istočnom dijelu Njemačke vlastiti potrošak iznosi 9% iako ima kudikamo manje zaštitnih uređaja. Takva razlika posljedica je zastarjelih regulacijskih uređaja, crpka i motora koji troše više energije nego slični uređaji na zapadu.

ETZ, god. 114(1993), br. 18

Mrk.

STVARANJE NOVIH PROIZVODA NAJBRŽE U JAPANU

Razlog japanskog uspjeha na svjetskom tržištu svakako je i njihova brzina u stvaranju novih proizvoda. Japanci razvijaju nov proizvod prosječno u 19,1 mjesec, Amerikanci trebaju za to 22,6, a europske tvrtke prosječno 23,4 mjeseca. Daljnji je faktor snaga inovacije i sposobnost osjećaja za impulse tržišta i brzog reagiranja. Zbog toga moraju europska poduzeća ubrzati razvojne procese i uključiti u razvoj proizvodnju, marketing i servis.

ETZ, god., 114(1993), br. 18

Mrk.

IZOBRAZBA KADROVA ZA RUSKO ENERGETSKO GOSPODARSTVO

Potkraj 1993. započelo je doškolovanje ruskih vodećih kadrova iz elektroprivrede u zemljama EZ. Program je rađen u sklopu pomoći zemljama ZED (bivšeg SSSR-a), a financirat će se svotom od 2,3 milijuna DEM. Ruski će stručnjaci biti upućeni na jednomjesečnu izobrazbu u elektroprivredne organizacije Francuske, Njemačke i Španjolske uz koordinaciju ruskog ministarstva za energetiku. Predviđeno je da tim programom bude obuhvaćeno 150 ruskih vodećih stručnjaka tijekom 10 mjeseci. Cilj je projekta da se pomogne Rusiji u izgradnji modernoga energetskoga gospodarstva. Od obuhvaćenih stručnjaka, 50 će ih biti iz uprave, 70 tehničkih rukovodilaca i 30 orijentiranih na tržišno gospodarenje energijom.

ETZ, god. 114(1993), br. 18

Mrk.

ANKETIRANJE KUĆANSTAVA U NJEMAČKOJ

Početkom 1991. godine svoje kućanske potrošače anketiralo je 27 njemačkih elektroprivrednih poduzeća. Oko 135 000 nasumce odabranih konzumenata dobilo je opširan upitnik s molbom za odgovor. Odgovorilo ih je 55%. Cilj je ankete bio da se snimi socijalno-ekonomska struktura kućanstava i utvrdi broj i upotreba električnih aparata. Uspoređujući slične podatke iz godine 1976, 1981. i 1986, može se dobiti uvid u razvojne tendencije ove grupe distributivnih potrošača. Ovdje su izneseni neki podaci iz rezultata spomenute ankete koji bi mogli biti zanimljivi i za naše čitatelje.

Iz podataka o veličini kućanstava vidi se da u Njemačkoj prevladavaju mala kućanstva. Čak 25,8% kućanstava čini jedna osoba, 35,4% dvije, 18,2% tri, a većih sa 4 i više osoba tek je oko 20%.

Prosječno kućanstvo ima 2,4 člana.

Priključeni stanovi, svrstani po kvadraturi, čine sljedeću postotnu zastupljenost:

do 40 m² 5,1%	81—100 m² 20%
41—60 m² 19,7%	101—120 m² 12%
61—80 m² 25,8%	121 i više m² 17,4%.

Vrlo su različiti mjesečni neto-prihodi po anketiranom kućanstvu. Srednji prihod iznosi 3 100 DEM. Procentualna zastupljenost prema prihodu iznosi:

do 600 DEM 1,1%	2 501—3 000 DEM 15,9%
601—1 200 DEM 7,7%	3 001—4 000 DEM 18,3%
1 201—1 800 DEM 13,3%	4 001—5 000 DEM 10,4%
1 801—2 500 DEM 21,6%	preko 5 000 DEM 11,7%.

Njemačka su kućanstva vrlo dobro opremljena električnim aparatima, što se vidi iz sljedećeg pregleda koji pokazuje kolik postotak kućanstava ima neki od najvažnijih aparata:

hladnjak	99%	zamrzivač	69%
usisač	97%	stroj za pranje posuđa	33%
stroj za pranje rublja	90%	sušilo za rublje	25%.
električni štednjak	88%		

Glede grijanja prostorija može se općenito reći da je 42% stanova grijano na bazi nafte, a 31% zemnog plina. Električno grijanje ima 11% stanova.
Oko 46% stanova ima za kuhinju i kupaonicu centralnu pripremu tople vode, dok od njih 9% ima i pojedinačne uređaje. Samo pojedinačno grijanje ima 52% stanova u kuhinji i 50% u kupaonici. Samo 1% nemaju tekuće tople vode. Kod pojedinačnog, decentraliziranog grijanja tople vode dominira elektrika sa 48% za kuhinju i 42% za kupaonicu.
Potrošak električne energije ovisi o mnogim faktorima, no svakako je najznačajniji broj članova kućanstva. Tijekom 1990. četvrtina kućanstava trošila je manje od 1 680 kWh, polovica manje od 2 750 kWh, a četvrtina više od 4 100 kWh. Gledajući pak prema broju osoba u kućanstvima, srednji godišnji potrošci iznosili su:

kućanstvo od	1 člana	1 639 kWh/g
	2 člana	2 919 kWh/g
	3 člana	3 835 kWh/g
	4 i više čl.	4 717 kWh/g

Srednji godišnji potrošak svih kućanstava bio je 3 121 kWh (2,4 člana po kućanstvu).

Elektrizitätswirtschaft, god. 92(1993), br. 5

Mrk.

NORVEŠKA HIDROENERGIJA ZA NJEMAČKU

Hamburško elektroprivredno poduzeće (HEW) i norveška grupa tvrtki Eurokraft Norge AS iz Osla potpisali su ugovor o prijenosu električne energije iz norveških hidroelektrana u Njemačku s početkom 1998. Ugovor mora još potvrditi norveška vlada i nadzorni organi poduzeća. Uvjet da se energija može prenijeti jest gradnja podmorskog kabela od Farsunda do Brunsbüttela. Troškovi su procijenjeni na 1 milijardu DEM, a morali bi biti završeni 1998. Prenosilo bi se 600 MW maksimalno. Ugovor predviđa da se ponajprije stavi na raspolaganje 300 MW tijekom 25 godina.

ETZ, god. 114(1993), br. 17

Mrk.

PROGRAM 1 000 KROVOVA

Kako je već na ovom mjestu u našem časopisu objavljeno (Energija, god. 40(1991), br. 1), godine 1990. započeo se u Njemačkoj realizirati tzv. »Program 1 000 krovova«. Tim se programom želio unaprijediti razvoj fotovoltaičkih ćelija i uređaja. Akcija je naišla na veliko zanimanje graditelja kuća i kućevlasnika. Državnu pripomoć tražilo je 48 024 molitelja za 2 250 uređaja. S obzirom na klimatske prilike, najviše je molitelja bilo iz južne Njemačke. U tom se dijelu na 10 m² fotovoltaičkih ćelija može godišnje dobiti 780 kWh do 1 070 kWh, a to je 74% više nego na sjeveru zemlje. Troškove od 20 000 do 30 000 DEM po uređaju do 70% pokriva država. Premda se program znatno proširio, još se uvijek ne mogu dobiti jeftini masovni proizvodi uređaja. Za učinkovito korištenje sunčane energije u domaćinstvu važna je dobra izolacija kuće. Povoljna je kombinacija dobro izolirana kuća, termosolarno korištenje topline i fotovoltaičke ćelije. Novi modeli ćelija, bez okvira, mogu se, kao obične staklene ploče, ugraditi na kućne fasade i tako skupljati energiju Sunca. Takvi uređaji od nekoliko kW danas daju energiju po cijeni 2 DEM/kWh, no smatra se da će za nekih 10 do 20 godina ona pasti na 0,7 DEM/kWh.

ETZ, god. 114(1993), br. 18

Mrk.

NAJNIŽE SVJETSKE CIJENE KAMENOG UGLJENA

Prema izvještaju njemačkih uvoznika kamenog ugljena, današnje su svjetske cijene ugljena niske kao nikada do sada. U prvom kvartalu 1993. bila je cijena ugljena iz Ruhra 288 DEM/t, što je gotovo četiri puta više od svjetske cijene uvoznog ugljena od 74 DEM/t. Još u početku devedesetih godina taj je odnos bio tri prema jedan, a polovicom osamdesetih dva prema jedan. Mišljenje o sigurnosti dobave i raspoloživosti domaćeg ugljena nije na mjestu jer na svjetskom tržištu postoje velike zalihe. U svijetu ima približno 20 000 rudnika ugljena, a niti jedan ne pridonosi više od 2% svjetskoj proizvodnji. Makar se govori o liberalizaciji tržišta, njemačka je vlada još daleko od toga jer je prošle godine direktna javna dotacija njemačkim ugljenokopima iznosila 10,7 milijardi DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92(1993), br. 19

Mrk.

PLANOVI ZA UKLANJANJE REAKTORA U ČERNOBILU

Ukrajina je angažirala francuski konzorcij koji se sastoji od poduzeća Congema, EDF i Andra, pod vodstvom Campenon-Bernard, za uklanjanje ostataka u katastrofi uništenoga nuklearnog reaktora u Černobilu.
U planu je izgradnja velikog kontejnera 200 m duljine i 100 m širine s visinom od 90 m, koji bi služio kao pokrivna dvorana.
Radioaktivne bi se komponente pomoću robota usitnile i kondicionirale za konačno odlaganje. Ukupni su troškovi procijenjeni na 5 milijardi DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92(1993), br. 19

Mrk.

U ŠVICARSKOJ 39 % STRUJE IZ NUKLEARKI

Prema podacima švicarskog Udruženja za nuklearnu energiju (SVA), 5 švicarskih nuklearnih elektrana proizvelo je 1992. 22,13 TWh (1991: 21,64 TWh), što iznosi 39% cjelokupne proizvodnje električne energije u zemlji. Iskorištenje je švicarske nuklearke u prosjeku 86%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92(1993), br. 19

Mrk.

SURADNJA ZAPADA S RUMUNJSKOM ELEKTROPRIVREDOM

Francuska elektroprivredna organizacija EDF i nizozemska Samenwerkende Elektriciteits Produktiebedrijven (SEP) utanačile su s rumunjskom elektroprivrednom organizacijom Regia Autonoma de Electricitate (Renel) ugovor o me-

đusobnoj suradnji. U sklopu ovog projekta Renel će se prestrukturirati u privredno tržišnu organizaciju. Daljnji je cilj stvaranje uvjeta za razvoj poduzeća i njegovu integraciju u europsko elektrogospodarstvo. To tročlano partnerstvo proteže se i na područje planiranja, proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, kao i na probleme ekologije. Obuhvaćena su također pitanja tarifa, osoblja i menažmenta.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92(1993), br. 20

Mrk.

OBNOVA SLOVENSKIH HIDROELEKTRANA NA DRAVI

Europska banka za obnovu i razvoj (EBRD) odobrila je Sloveniji zajam od 89 milijuna USD za obnovu elektrana na Dravi. U planu je obnova triju hidroelektrana, pet rasklopnih stanica i izgradnja automatskog kontrolnog centra. Obnovom će se dobiti 10% veća snaga generatora i trajnost za sljedećih 35 godina. Taj će projekt slovenska elektroprivreda sa 43% financirati iz vlastitih sredstava.

Water Power, god. 45(1993), br. 7

Mrk.

ISKORIŠTENJE HIDROENERGIJE U GRČKOJ

Iskorištenje grčkih vodnih snaga počelo je pedesetih godina pod okriljem elektroprivrednog poduzeća PPC (Public Power Corporation), koje je jedino nadležno za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije u Grčkoj. Razvoj je bio vrlo intenzivan osobito nakon ulaska Grčke u EZ 1981. godine. Teorijski hidropotencijal zemlje procijenjen je na 85 TWh/god. od kojih je 20 TWh/god. ostvarivo. Oko 25% hidropotencijala već je izgrađeno u 20 hidroelektrana. Od toga je 11 većih i 9 manjih, ispod 10 MW. Najveća je hidroelektrana Kremasta s 4 agregata po 110 MW i godišnjom proizvodnjom 700 GWh. Sada je u gradnji 5 hidroelektrana ukupne instalirane snage 751 MW i srednje godišnje proizvodnje 2 130 GWh. U svom petogodišnjem planu (1993—1998) grčka elektroprivreda predviđa, uz elektrane koje su u gradnji, još 4 veće i 5 manjih hidroelektrana. Najveća bi bila Ag. Nikolaos, snage 200 MW. Od ukupno planiranih investicija za hidroelektrane je namijenjeno 15,3% ili 0,9 milijardi USD. Mora se istaknuti da je posljednjih 5 godina PPC posvetila veliku pozornost malim hidroelektranama vezanima na višestruko korištenje vode (navodnjavanje, vodoopskrba). Takva kombinirana postrojenja smatraju se vrlo značajnim za narodnu ekonomiju, a imaju vrlo mali negativni ekološki utjecaj. Iz studije PPC (iz 1960) proizlazi da bi se u malim hidroelektranama moglo proizvesti godišnje 1 500 GWW električne energije na nekih 100 lokacija. Ukupno je sada u pogonu snaga malih hidroelektrana od 40,9 MW.

Water Power, god. 45(1993), br. 7

Mrk.

TEHNOMEHANIKA
MARIJA BISTRICA - CROATIA

PROIZVODNJA SPECIJALNIH KONSTRUKCIJA I HIDRAULIČNIH NADGRADNJI

Novosti iz »Tehnomehanike«

Dugogodišnji partner HEP-a u proizvodnji dizalica i platformi, »TEHNOMEHANIKA« iz MARIJE BISTRICE, je u cjelini modernizirala svoj proizvodni program.

Usvajanjem tehnologije varenja i obrade mikrolegiranih čelika, konstrukcija dizalica i platformi postaje bitno laganija. Takvi proizvodi su podesniji za ugradnju na manja vozila, pa im se područje upotrebe bitno povećava.

Dosad su po toj tehnologiji proizvedene, ispitane i stavljene u serijsku proizvodnju dizalice HAK-2S i HAK-11Š.

Pozitivan odgovor domaćeg i stranih tržišta nalaže da se i ostali proizvodi izrade tom tehnologijom. Tako će odsad dizalice »TEHNOMEHANIKA« po svojoj masi konkurirati uvoznima.





Usporedna tablica tehničkih karakteristika dizalica izrađenih novom i starom tehnologijom govori samo za sebe!

	PRIJE HAK-2	NOVO HAK-2S
1. Moment podizanja	2000 dNm	2000 dNm
2. Maksimalna visina podizanja	5,8 m	6 m
3. Maksimalni krak (od simetrale stupa)	3,6 m	3,8 m
4. Kut zakretanja	270°	270°
5. Moment okretanja	490 dNm	490 dNm
6. Vlastita težina mase standardne izvedbe	685 kg	380 kg
7. Primjena na vozila vlastite mase preko	1700 kg	1400 kg

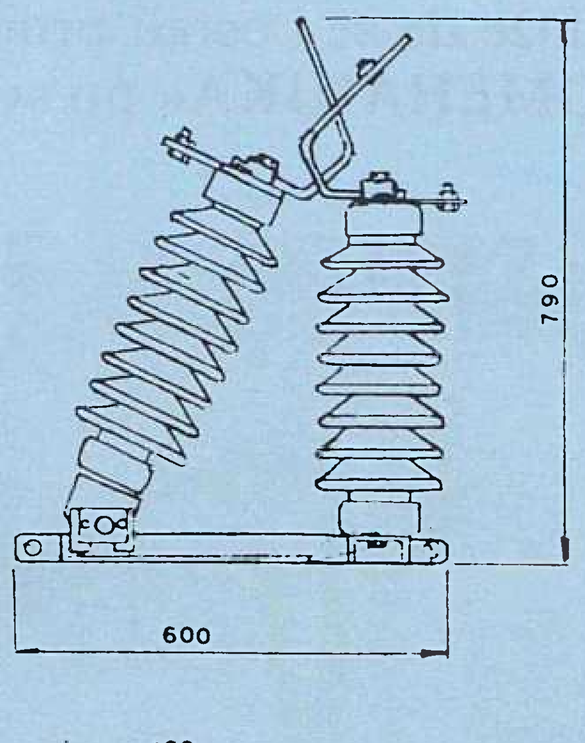
41246 Marija Bistrica, Stubička 4, Hrvatska

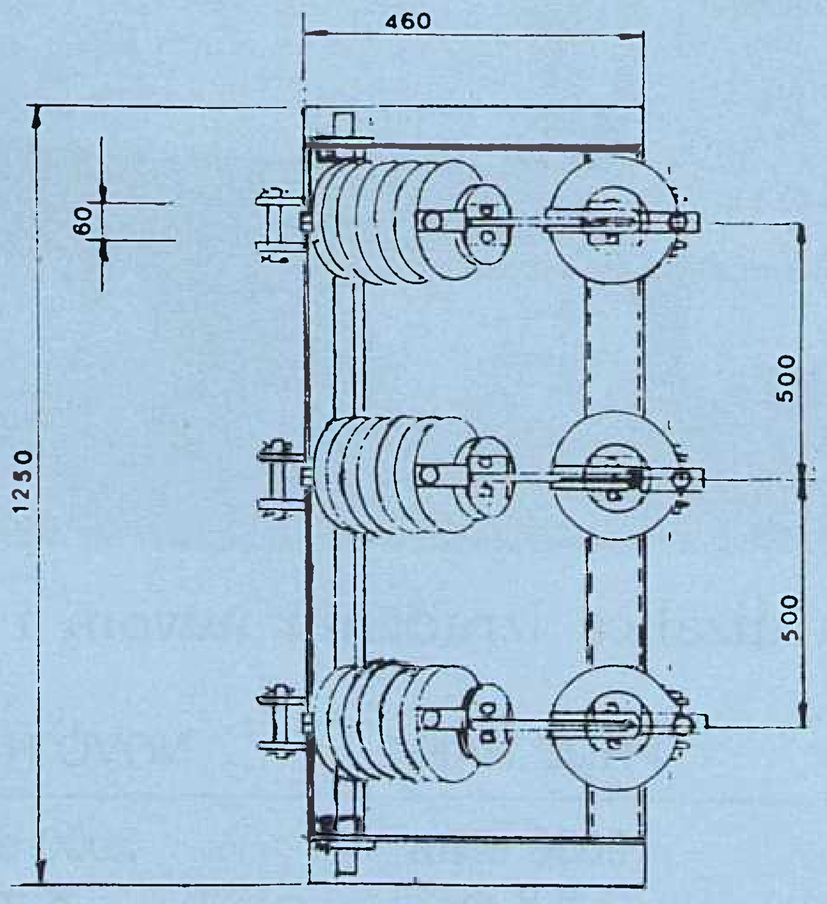
☎ 049/69-106, 69-126, 69-506, 69-516, 69-159 Fax: 69-087 Telex: 29227 TEHMAB
Predstavništvo: Zagreb, Vukovićeva 3, 041/174-284, Tel/fax: 041/174-264
Žiro račun: 35210-601-495 D. Stubica

RASTAVLJAČI ZA VANJSKU MONTAŽU 12-36 kV 630 A

5LRS-24-630-3

- DUG VIJEK TRAJANJA
- JEDNOSTAVNA IZRADA I RUKOVANJE
- BRZA IZMJENA REZERVNIH DIJELOVA
- HORIZONTALNA MONTAŽA
- NA DRVENI, BETONSKI ILI REŠETKASTI STUP
- ISPITAN I ATESTIRAN PREMA IEC 694;129 STAND.

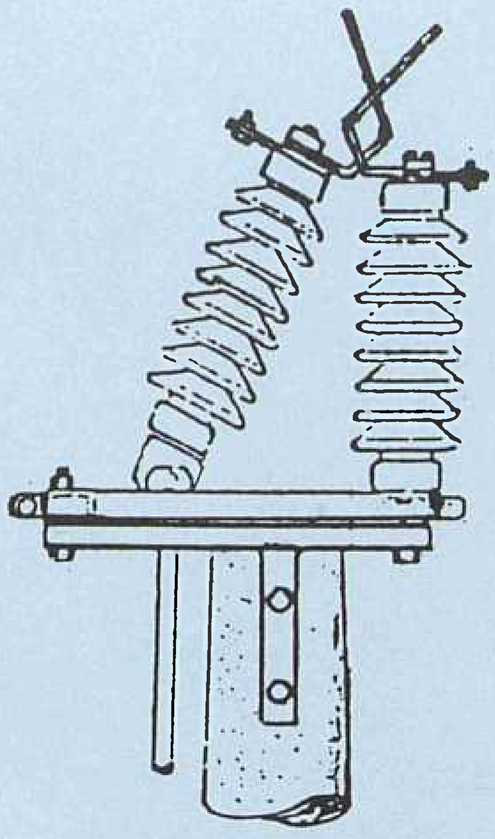




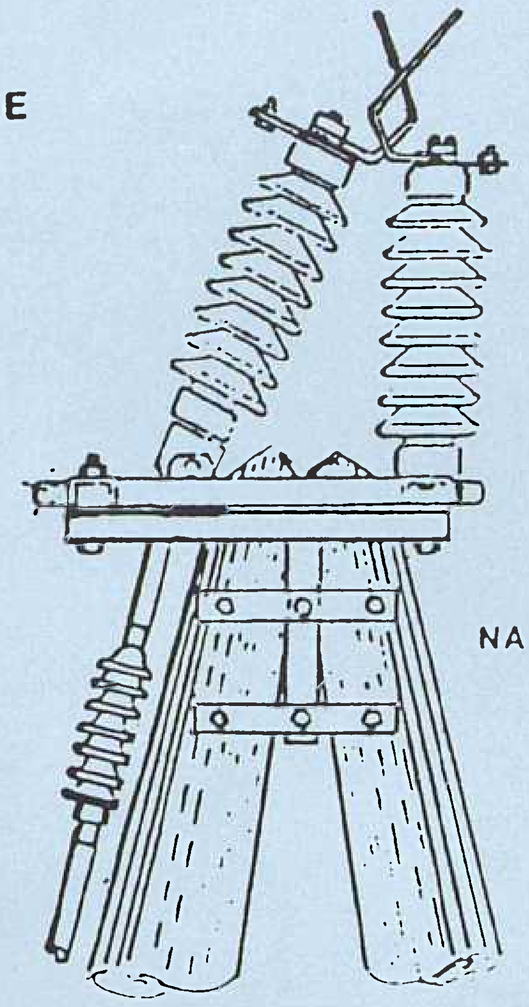
Kod ovog rastavljača karakteristično je da se uklop vrši preko 3 pokretna izotora pričvršćena na osovini koja se pokreće preko polužnog pogona, a kontakt se ostvaruje noževima tzv. "rogovima" koji ulazi jedan u drugi i tako postiže spoj.
Postolje i svi čelični dijelovi rastavljača su vruče i galvanski pocinčani, a bakreni niklani pa tako osiguravaju dug vijek trajanja. Izolatori su od smedje glaziranog porculana, a svi vodljivi dijelovi od elektrolitskog bakra.
Rastavljač se vrlo lako montira na drveni, betonski ili čelični stup u horizontalni položaj.
S obzirom na polnost izradjuje se jednopolna i tropolna izvedba.

ELEKTROPROIZVOD
41000 ZAGREB, SAVSKA 144c
Tel.: (041) 534-421 Fax.: (041) 534-421

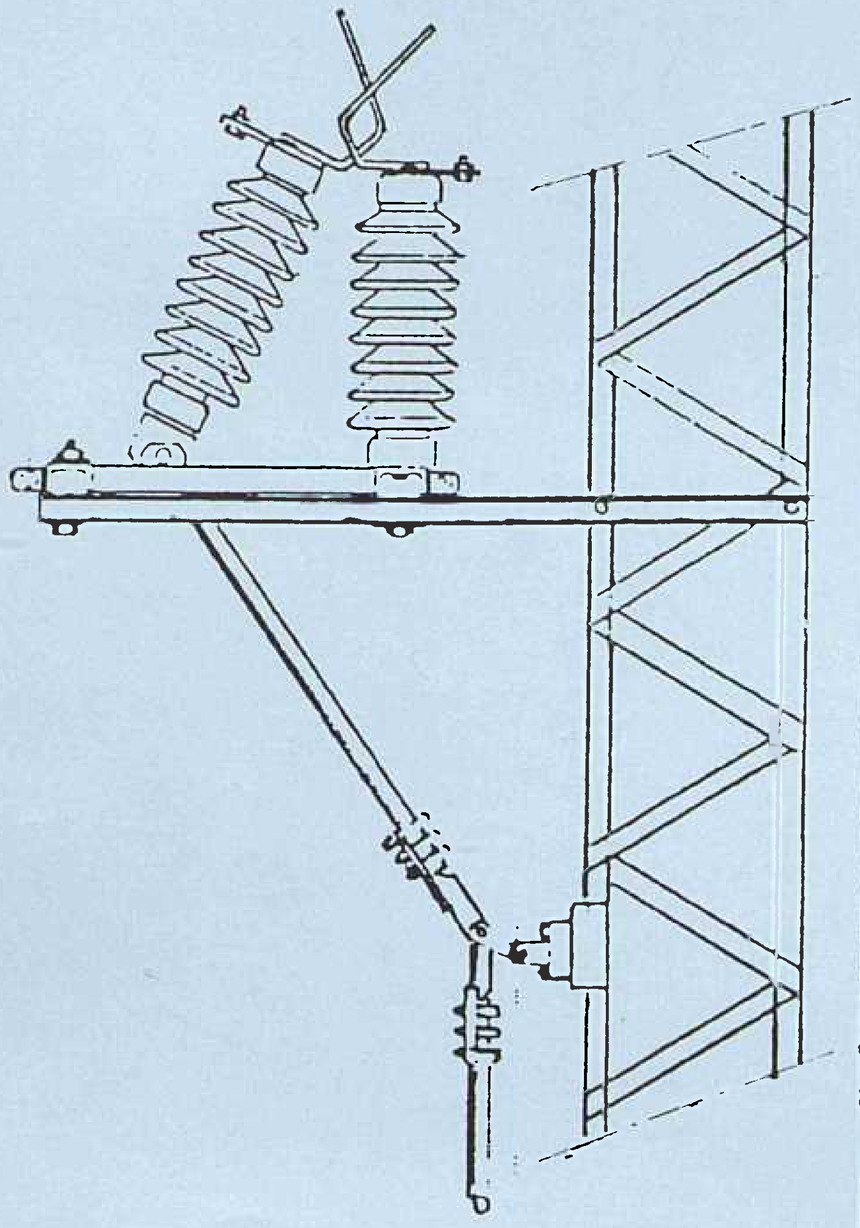
PRIMJERI MONTAŽE



NA BETONSKOM STUPU



NA DRVENOM STUPU



NA REŠETKASTOM STUPU

Usporedba prema typu drugih proizvođača

„ELEKTROPROIZVOD" Zagreb	Končar" Sombor	Energoinvest" Sarajevo
5 LRS 24-630-3	FT	LRE-C
5 LRSZ 24-630-3	FTZ	
5 LRSO 24-630-3	FTS 3	

U zatvorenom položaju ove sklopke mogu provoditi slijedeće nazivne struje:

Nazivni napon kV	Nazivna struja A	Podnosiva tjemena vrijednost struje kA	Kratkotrajna podnosiva struja kroz 1 s* kAef
12, 24, 38	200	25	10
	400	35	14
	630	50	20

* Pri trajanju kratkog spoja t između 1 i 5 sekundi, treba navedenu kratkotrajnu struju kroz 1 s pomnožiti sa $1/\sqrt{t}$.

KOD NARUDBE NAPIŠITE POTREBNE OZNAKE

5 LRS 24 630 31 500

- 5 — oznaka serije
- LRS — linijski rastavljač
- LRSZ — " " sa nožem za uzem.
- LRSO — " " sa osiguračem
- LRSZO — " " sa nožem i osiguračem
- 24 — nazivni napon 12; 24; 38;
- 630 — nazivna struja 200; 400; 630;
- 31 — polnost
- 500 — polni razmak

ELEKTROPROIZVOD

41000 ZAGREB, SAVSKA 144c
Tel.: (041) 534-421 Fax.: (041) 534-421

UDK 621.31

ENJAAC 43 (2) — (1994) 63 – 128

ISSN 0013-7448

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 43 (1994) Zagreb 1994 Br. 2

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro *Stanković,* dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zdenka *Jelić,* prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Slavica *Barta,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb — Anđelko *Dujmović,* dipl. inž., Direkcija za distribuciju, Osijek — Bruno *Šaina,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Prijenosno područje Opatija — Marijan *Kovač,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, PP Primorskog sliva, Tribalj — mr. Damir *Subašić,* dipl. inž., Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko *Cvetković,* dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić,* prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski sustavi«, dr. Goran *Granić,* dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl,* dipl. inž. — »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić,* dipl. inž. — »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković,* dipl. inž. — »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić,* dipl. inž. i Dasenko *Baldasari,* dipl. inž. — »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović,* dipl. ecc., Mladen *Mandić,* dipl. ecc. i Marijan *Magdić,* dipl. ecc. — »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša,* dipl. inž. — »Informatika«, Nikola *Lastrić,* dipl. inž. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko *Mališ* — Lektor — Lingvistic Adviser: Vladimir *Strojny,* prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko,* dipl. inž.

Redakcija završena 1994 — 02 — 24

SADRŽAJ

Radmilović B.: Elektroenergetski sustav Hrvatske — znamo kako dalje (Stručni članak) 65

Magdić M.: Društvenoekonomska opravdanost izgradnje elektroenergetskih objekata (Pregledni članak) 73

Puharić M. — Žutobradić S.: Suvremene tendencije u razvoju prenaponske zaštite distribucijskih postrojenja (Pregledni članak) 79

Šimatović I.: Mogućnost točnijeg određivanja simetričnih komponenti i pokazatelja nesimetričnosti napona i struja trofaznog sustava (Prethodno priopćenje) 87

Abramović B.: Hidraulički transport ugljene pulpe (Pregledni članak) 93

Vujević D.: Iskazivanje nesigurnosti u mjerenju (Pregledni članak) 105

Kelemen T.: Tercijar transformatora, što i kako s njim? (Izvorni znanstveni članak) 111

Vijesti iz elektroprivrede 119

Iz strane stručne literature 120

Nove knjige i časopisi 124

Slika na omotnoj strani
TE JERTOVEC

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Avenija Vukovar 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 625-328 i 625-111/328, telefax: 041/530-604

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 40 DEM, a za poduzeća i ustanove 80 DEM (za studente 20 DEM). Cijena pojedinog broja u prodaji 8 DEM.

Pretplata je iskazana u DEM, a uplaćuje se u dinarskoj protuvrijednosti na dan uplate.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

ELEKTROENERGETSKI SUSTAV HRVATSKE — ZNAMO KAKO DALJE

Božidar Radmilović, Zagreb

UDK 621.31
STRUČNI ČLANAK

Članak je potaknut tekstom Ive Vice Cukrova, dipl. ing. u Energiji broj 6/93. i daje odgovor na postavljena pitanja.

Ključne riječi: elektroenergetski sustav Hrvatske, prijenosna mreža Hrvatske, razvoj.

U božićno-novogodišnjem broju časopisa »Energija« (br. 6/1993) objavljen je članak »Elektroenergetski sustav Hrvatske — kako dalje« Ive Vice Cukrova, dipl. ing. elek., koji je u trenutku pisanja članka (travanj 1993) bio savjetnik za energetiku u Skupštini grada Zagreba. U navedenom stručnom članku (prema kvalifikaciji uredništva časopisa) pisac Ivo Vice Cukrov (u daljem tekstu I.V.C.) dao je prikaz tadašnjeg, uglavnom svima znanoga stanja elektroenergetskog sustava Hrvatske i napose njegove mreže za prijenos električne energije (s težištem na veleprijenosnu mrežu napona 220 i 380 kV), ilustrirao to dvjema već nekoliko puta viđenim shemama te na kraju postavio više pitanja za raspravu i donošenje odluke — kako dalje? Upravo ta pitanja, a posebice duh koji iz njih proizlazi, bili su poticaj da svoja osobna, no i profesionalna razmišljanja o ovoj vrlo važnoj problematici pokušam sistematizirati i formulirati te to objaviti u ovom uglednom časopisu.

Da bi se na pitanja za raspravu i odluke o daljem smjeru razvijanja elektroenergetskog sustava samostalne i suverene Hrvatske što ih je postavio I.V.C. moglo sustavno odgovoriti, nužno je prethodno pokušati definirati i pojasniti tri osnovna kompleksna pojma:

— Što je to Hrvatska elektroprivreda?
— Kakva je politika Republike Hrvatske s obzirom na svoje okruženje i prilike u istome?
— Dokle će trajati sadašnje ratno stanje i što, odnosno kako poslije?

Hrvatska je elektroprivreda, na osnovi zakona donesenog 26. 7. 1990. javno poduzeće za proizvodnju, prijenos, upravljanje elektroenergetskim sustavom i distribuciju električne energije, što ga je osnovao Sabor Republike Hrvatske. Elektroprivreda je, prema definiciji iz članka 1. navedenog zakona, djelatnost od posebnog društvenog interesa za Republiku, za osiguranje trajne i sigurne opskrbe potrošača kvalitetnom električnom energijom, a u svrhu cjelokupnog gospodarskog razvoja Hrvatske (čl. 8). Zakonom se predviđa mogućnost da se proizvodnjom i distribucijom električne energije mogu baviti, osim Hrvatske elektroprivrede, i građani, poduzeća i druge pravne osobe uz uvjete iz ovog zakona te iz njega izvedenih akata (čl. 7). No za djelatnosti prijenosa električne energije i upravljanja elektroenergetskim sustavom ta se mogućnost ne predviđa. Očito je da država taj esencijalni dio elektroenergetskog sustava u svakom slučaju želi zadržati pod svojom kontrolom.

Utjecaj države na djelovanje Hrvatske elektroprivrede (HEP), zbog njezina posebnog interesa za cijelo društvo, definiran je u čl. 10. zakona. To je:

— kontrola i određivanje cijene električne energije
— imenovanje dijela članova Upravnog odbora (6 od 9 članova)
— donošenje Tarifnog sistema i Općih uvjeta za isporuku električne energije
— usklađivanje razvoja elektroenergetskog sustava s razvojnim planovima republike i stvaranjem uvjeta za realizaciju planova
— iznalaženje drugih pogodnih načina kojima se osigurava siguran rad i funkcioniranje elektroenergetskog sustava utvrđenim u propisima
— utvrđivanje posebnog interesa pri izgradnji elektroenergetskih objekata (građevina)
— davanje suglasnosti na Statut Hrvatske elektroprivrede.

Prema navedenom Zakonu i Statutu, predsjednika Upravnog odbora HEP-a imenuje Vlada Republike Hrvatske (čl. 20), a također i generalnog direktora HEP-a; ovog na prijedlog ministra energetike i industrije (sada ministra gospodarstva, čl. 26. Statuta). Generalni direktor odgovoran je za svoj rad i zakonitost rada HEP-a Vladi Republike Hrvatske i Upravnom odboru, a za sigurnost i funkcioniranje elektroenergetskog sustava ministru energetike i industrije (sada ministru gospodarstva, čl. 29. Statuta).

Prema tome, Hrvatska elektroprivreda je državno poduzeće, a njezini djelatnici, radnici i ostali zaposleni su državni namještenici. Hrvatska elektroprivreda treba, dakle, poslovati u skladu sa zacrtanim i programiranim pravcima razvoja države — Republike Hrvatske. Zaposleni u HEP-u trebaju u poslovnom smislu djelovati i vladati se kao namještenici države,

iskazujući joj svoju odanost, povjerenje i lojalnost, dakle sve ono što se očekuje od svakog uposlenog u odnosu na svog principala i poslodavca. Od svih djelatnika Hrvatske elektroprivrede treba očekivati da se ponašaju i rade profesionalno, odgovorno i konstruktivno, u skladu s građanskim moralnim kodeksom te (a to napose vrijedi za rukovodni dio HEP-a) u skladu s političko-razvojnim intencijama i programima hrvatske države.

Politika (kratkoročna i dugoročna) Republike Hrvatske jasna je:

— Staviti pod svoju zakonsku, upravnu i sudsku vlast sve dijelove Hrvatske u sklopu njezinih međunarodno priznatih granica.
— Na svome cjelovitom prostoru djelovati kao pravna država na osnovi svojih zakona, a u skladu s civilizacijskim i demokratskim načelima uobičajenim u zapadnoj Europi kojoj Hrvatska tradicionalno i povijesno pripada već 13 stoljeća.

No da bi Hrvatska kao mala i nova država mogla egzistirati na svojem povijesnom prostoru, na prostoru na kojem se već stoljećima sukobljavaju svjetovi i ukrštaju različite kulture, civilizacije i religije, ali i interesi velikih, i ne samo velikih sila, treba toj Europi, a i ostalom svijetu, nešto ponuditi i dati, odnosno stvoriti svoj prepoznatljivi i svima prihvatljivi imidž. Samo navođenje naših povijesnih događaja, zasluga i datuma od godine 925. do 1990/91. godine, funkcije kada »reliquiae reliquiarum olim magni et inclyti regni Croatiae« bijahu »antemurale christianitatis« (što je još i danas), naše povijesne odrednice da »regnum regno non praescribit leges« neće u Europi, a još manje u svijetu, nikoga impresionirati. Ono što mi možemo (i trebamo) dati (zauzvrat za ono što mi očekujemo od svijeta) jesu posredovanje i komunikacije sjever — jug i, napose, istok — zapad. Komunikacije ljudi, robe, energija, usluga, ideja, svi mogući transporti i tranziti (cestovni, željeznički, riječni, cjevovodni, zrakoplovni, kombinirani morsko-kopneni, tranziti električne energije, informatički tranziti i ostalo) na sve strane, za sve partnere, čak i prema, odnosno za potrebe naših današnjih neprijatelja (dakako kada se za to stvore potrebne prilike i okolnosti). Prema tome, budućnost bi Hrvatske bila njezina potpuna otvorenost, transparentnost i komunikativnost. No to ni u kojem slučaju na štetu njezine državne samostalnosti i suverenosti!

To nije iskazivanje neke ex-YU nostalgije, to je samo ugledanje u neke veoma napredne i bogate europske zemlje, koje na taj način vrlo dobro žive i visoko kotiraju već stoljećima (npr. Švicarska). Zatvaranje Hrvatske u samu sebe, bavljenje samo svojim problemima i izoliranje od ostalog svijeta bilo bi ravno samoubojstvu!

A da bi to sve bilo moguće realizirati, treba prestati rat (ali i druge napetosti) te nastupiti mir kako na prostoru Hrvatske, tako i u njezinu susjedstvu i širem okruženju (Bosna i Hercegovina, Kosovo, Makedonija, Albanija, Grčka, no i Turska, Bliski istok itd.).

I sada dolazimo do ključnog problema i često (napose sa stajališta razvojnih službi) postavljenog pitanja: Dokle će ovaj rat trajati i kada će (i kako) završiti?

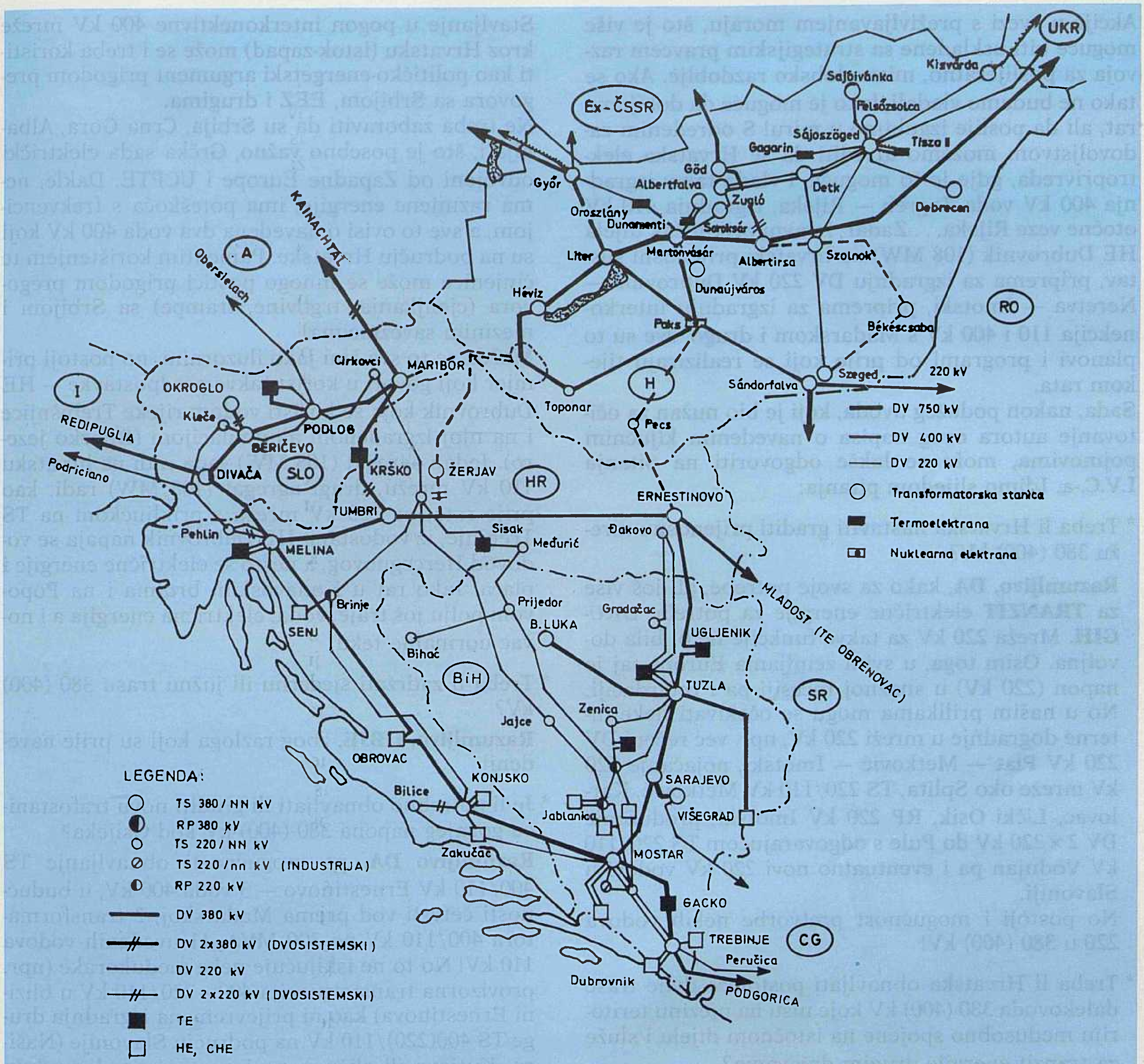
Na to se pitanje ne može egzaktno odgovoriti, no mogu se iz bliže i dalje povijesti analizirati neki slični primjeri. Povijest, napose ona našega, XX. stoljeća pruža u tom smislu, nažalost, mnogo uzoraka za usporedbu.

Erich Fromm u svojoj poznatoj knjizi »Anatomija ljudske destruktivnosti« navodi da ratovi traju najmanje 3—4 godine, jer je toliko vremena potrebno da ljudi koji žive u rovovima shvate da ih njihove vođe koriste za ciljeve koji nemaju ništa zajedničkog s obranom njihove domovine. I stvarno, neki su, vremensko bliski ratovi trajali do 4 godine: prvi svjetski rat, španjolski građanski rat, drugi svjetski rat (ali samo za ex-YU zemlje, za ostale je trajao 5—6 godina), rat u Koreji. No neki drugi, tzv. interni, lokalni ratovi, kod kojih je jak utjecaj vanjskih velikih sila koje u njima ne sudjeluju izravno, mogu trajati i duže, čak i desetljećima: izraelsko-arapski rat (od 1948. godine), ratovi u Indokini (od 1945. godine, s tim da neki traju još i danas), iračko-iranski rat (oko 7 godina), rat u Afganistanu (u tijeku je), tursko-grčki »ni rat ni mir« na Cipru (od 1963. godine). Ti povijesno-brojčani podaci djeluju veoma pesimistički, pogotovo ako se tome još doda 30-godišnji vjerski rat u Europi 1618—48. (protestanti — katolici), praktično permanentni rat Pakistan — Indija od 1947. godine (hindusi — muslimani) i neki drugi, koji imaju neke sličnosti sa stanjem u nas.

No pogledajmo, usporedbe radi, i neke druge vremenske pokazatelje:

— Ljudski radni vijek je 35—40 godina.
— Ljudski biološki vijek je oko 75 godina.
— Vijek trajanja energetskog transformatora gornjeg napona 110 kV je oko 40 godina, no i više (transformator 110/30 kV, 25 MVA u TS Rakitije — Zagreb proizveden je 1938. godine i još je u pogonu).
— Vijek trajanja jednog visokonaponskog voda je barem 70 godina (nakon toga je obično nužna njegova opsežna revitalizacija); ima vodova koje i prije toga vremena treba napustiti ili rekonstruirati (urbanističko-prostorni razlozi, ali i loša kvaliteta stupova, kao na pr. nekih betonskih stupova iz pedesetih godina), no s druge strane jedan od naših prvih vodova 110 kV (DV Brestanica — Zagreb, od 1943. godine) još je u pogonu iako je građen na drvenim stupovima!
— Vijek trajanja visokonaponskoga rasklopnog postrojenja praktički je neograničeno (uz odgovarajuće održavanje, zamjene, rekonstrukcije i modernizacije). Na primjer, prvo takvo postrojenje u Hrvatskoj je TS 110/30 kV (izvorno 130/50 kV) Matulji — Opatija, izgrađeno 1940. godine. Nakon 50 godina pogona (1990. godine) na toj je lokaciji izgrađena nova TS 110/20 kV Matulji.

Ili, provizorna TS 110/30 kV Klara — Zagreb bila je izgrađena 1946. godine za pogon od najviše 5 godina, no kvalitetno je radila 42 godine.



Slika 1.

TS 110/30 kV Rakitje — Zagreb u pogonu je od 1952. godine (dakle 42 godine) i sada se upravo nalazi pred velikom rekonstrukcijom — kompletnom zamjenom sabirnica 110 kV! To je postrojenje sada izgrađeno u opsegu od 16 polja 110 kV, s uvedenih 13 vodova te s predviđenim uvodom još 2 – 3 voda. Do sada su se u tome postrojenju promijenila 4 tipa prekidača, a predvidiva snaga kratkog spoja porasla je od početnih (1952. god) 1 500 MVA na sada predviđenih (> 2000. god.) 7 500 MVA!

— Vijek trajanja jedne elektrane — isto kao rasklopno postrojenje — praktički je neograničeno ako lokacijski te po snazi i tehnologiji zadovoljava, a primarni energent je na raspolaganju i dalje. Tako, na primjer, HE Ozalj I je u pogonu od 1905. godine, EL-TO Zagreb u pogonu od 1907. godine a HE Kraljevac na Cetini od 1912. godine. Sve razumljivo uz odgovarajuće održavanje, rekonstrukcije, zamjene, pa i nove izgradnje, ali na prvotnoj lokaciji.

U svakom slučaju elektroenergetski objekti i njihovi elementi nadživljuju i čovjeka koji ih je stvarao, ali i čovjeka koji ih ruši. Zato i tijekom najžešćeg rata treba misliti na budući razvoj svega, pa i elektroenergetskog sustava, iako je to koji put vrlo teško. U tim i takvim kritičkim trenucima treba djelovati i razmišljati dvojako:

— kako preživjeti momentalnu, koji put vrlo tešku (ali ipak vremenski ograničenu), kriznu situaciju te

— kako se dalje razvijati i usmjeravati kada jednog dana rat završi (a svi su se ratovi do sada i završili, iako s teškim posljedicama i privremenim zaostajanjem u razvoju).

Akcije u svezi s preživljavanjem moraju, što je više moguće biti usklađene sa strategijskim pravcem razvoja za poslijeratno, mirnodobsko razdoblje. Ako se tako ne budemo vladali, lako je moguće da dobijemo rat, ali da poslije izgubimo u miru! S određenim zadovoljstvom možemo utvrditi da se Hrvatska elektroprivreda, gdje je to moguće, i vlada tako: izgradnja 400 kV voda Zagreb — Rijeka, izgradnja 110 kV otočne veze Rijeka. . . Zadar, izravni priključak dijela HE Dubrovnik (108 MW) na hrvatski prijenosni sustav, priprema za izgradnju DV 220 kV Dubrovnik — Neretva — Imotski, priprema za izgradnju interkonekcija 110 i 400 kV s Mađarskom i drugo, sve su to planovi i programi od prije koji se realiziraju tijekom rata.

Sada, nakon podužeg uvoda, koji je bio nužan za očitovanje autora ovog napisa o navedenim ključnim pojmovima, može se lakše odgovoriti na pitanja I.V.C.-a. Idimo slijedom pitanja:

* Treba li Hrvatska nastaviti graditi prijenosnu mrežu 380 (400) kV?

  Razumljivo, DA, kako za svoje potrebe, ali još više za **TRANZIT** električne energije za potrebe **DRUGIH**. Mreža 220 kV za takve funkcije ne bi bila dovoljna. Osim toga, u svim zemljama Europe taj je napon (220 kV) u snažnoj recesiji pa i retardaciji. No u našim prilikama mogu se očekivati neke interne dogradnje u mreži 220 kV, npr. već rečeni DV 220 kV Plat — Metković — Imotski, pojačanje 220 kV mreže oko Splita, TS 220/110 kV Metković, Karlovac, Lički Osik, RP 220 kV Imotski, produženje DV 2 × 220 kV do Pule s odgovarajućom TS 220/110 kV Vodnjan pa i eventualno novi 220 kV vodovi u Slavoniji.

  No postoji i mogućnost pretvorbe nekih vodova 220 u 380 (400) kV!

* Treba li Hrvatska obnavljati postojeće dvije trase dalekovoda 380 (400) kV koje nisu na njezinu teritoriju međusobno spojene na istočnom dijelu i služe za tranzit energije drugim državama?

  Razumljivo DA, pri čemu će redoslijed obnove tih vodova ovisiti o razvoju ratne i poslijeratne situacije, kao i od rješenja kvalitetnog napajanja područja sjeveroistočne Hrvatske (Slavonije), gdje je vod 400 kV od Zagreba danas u provizornom pogonu pod 220 kV naponom s jednom provizornom i jednom »normalnom« TS 220/110 kV u Slavoniji. Trebalo bi težiti da se najprije stavi u funkciju »južni krak« (Podgorica — Trebinje — Gacko — Mostar — Konjsko — Obrovac — Melina — Divača), a tek poslije »sjeverni krak« (Obrenovac — Ernestinovo — Zagreb). Poprečni krak sjever — jug (Ernestinovo — Tuzla — Sarajevo — Mostar) bit će također tijekom vremena stavljen u funkciju, kao i dovršetak prirodne dijagonale Tuzla — Banja Luka — Zagreb, iako se to sve, s današnjeg aspekta, čini nevjerojatnim i nemogućim. No podsjetimo se: naš rat tek je ušao u **četvrtu godinu**, a elektroprivredne građevine su, praktički, **vječne**. I još jedna, danas možda teško prihvatljiva, tvrdnja: na kraju ipak pobjeđuje razum (čak i na bivšim YU-prostorima)!

Stavljanje u pogon interkonektivne 400 kV mreže kroz Hrvatsku (istok-zapad) može se i treba koristiti kao političko-energetski argument prigodom pregovora sa Srbijom, EEZ i drugima.

Ne treba zaboraviti da su Srbija, Crna Gora, Albanija i, što je posebno važno, Grčka sada električki odvojeni od Zapadne Europe i UCPTE. Dakle, nema razmjene energije, ima poteškoća s frekvencijom, a sve to ovisi o navedena dva voda 400 kV koji su na području Hrvatske. Pamentim korištenjem te činjenice može se mnogo postići prigodom pregovora (cjenjkanja, trgovine, trampe) sa Srbijom i njezinim saveznicima.

Možda se to sve čini jako iluzornim, no postoji primjer koji govori u korist takve predpostavke — HE Dubrovnik koja se koristi vodom rijeke Trebišnjice i na njoj izgrađenom akumulacijom (Bilećko jezero). Jedan agregat (108 MW) sada radi na hrvatsku 110 kV mrežu, drugi agregat (108 MW) radi, kao prije rata, na 220 kV mrežu s priključkom na TS Trebinje, iz vodostana HE Dubrovnik napaja se vodovod Hercegnovog, a nešto se električne energije i plaća! Iako rat u Konavoskim brdima i na Popovom polju još traje, voda, električna energija a i novac normalno teku!

* Treba li zadržati sjevernu ili južnu trasu 380 (400) kV?

  Razumljivo, OBJE, zbog razloga koji su prije navedeni!

* Je li potrebno obnavljati ili graditi novu trafostanicu gornjeg napona 380 (400) kV kod Osijeka?

  Razumljivo DA, po mogućnosti obnavljanje TS 400/110 kV Ernestinovo — 3 voda 400 kV, u budućnosti četvrti vod prema Mađarskoj, 2 transformatora 400/110 kV po 300 MVA, 11 uvedenih vodova 110 kV! No to ne isključuje neke međukorake (npr. provizorna transformacija 400 – 220/110 kV u blizini Ernestinova) kao ni prijevremena izgradnja druge TS 400(220)/110 kV na području Slavonije (Našice, Kutjevo ili slično), pa i ograničena dogradnja 220 kV mreže na tome području.

* Treba li Hrvatska podržati ulazak Mađarske u UCPTE i sudjelovati u izgradnji DV 380 (400) kV Mađarska — Hrvatska — Slovenija i Italija radi kupnje električne energije u Ukrajini i drugim državama na istoku?

  Razumljivo, DA, DA, DA i DA! To je primarni elektro-politički zahvat za Hrvatsku, a na osnovi uvodno navedenog prikaza karaktera i djelovanja naše zemlje unutar svoga okruženja. U tom smislu postoje već konkretne odluke, pregovara se s mađarskom elektroprivredom, pa je dogovoren početak (istovremeno) projektiranja voda i određenih studijskih istraživanja. U tom smislu uspostavljeni su i odnosi sa slovenskom elektroprivredom (ELES — Ljubljana), a u tijeku je uspostavljanje kontakata s talijanskom elektroprivredom (ENEL — Rim). To se odnosi na DV 400 kV s područja Balatona (Mađarska) do Zagreba (Žerjavinec); drugi 400 kV vod Mađarska — Hrvatska, NE Paks — Pecs — Ernesti-

novo dolazi kasnije, kada se stabilizira stanje u BiH.

* Je li potrebno nastaviti izgradnju trafostanice Žerjavinec (druga TS 400/110 kV na sjeveroistočnoj periferiji Zagreba)?

Razumljivo DA! Za prihvat 400 kV voda od Mađarske (predložena trasa od tromeđe H — HR — SLO pa preko Ludbrega, Novog Marofa, Jertovca do Žerjavinca), za postavljanje jedne transformacije 400/110 kV, 300 MVA te za uvod 3 – 4 voda 110 kV u I. etapi (mogućnost radijalno — otočnog pogona voda 400 kV H — HR do rješenja paralelnog pogona mađarske mreže s UCPTE-sustavom).

* Jesu li Hrvatskoj potrebni dalekovodi 110 kV prema Mađarskoj?

Razumljivo DA, i to što prije! Zbog sadašnje ratom oštećene i oslabljene mreže za napajanje Slavonije (300 MW) forsira se izgradnja dvaju novih poveznih vodova 110/120 kV između jugozapadne Mađarske i sjeverne Hrvatske. To su DV 120 kV Siklos — Donji Miholjac i DV 2 × 120 kV Szigetvar — Barcs — Virovitica.

U prvo vrijeme tijekovi energije bit će od sjevera prema jugu (Mađarska — Hrvatska), no nakon smirivanja ratnih djelovanja i obnove mreže mogu se očekivati i obratni tijekovi. Do toga će napose doći po izgradnji HE Novo Virje (~ 100 MW) i zatvaranje 110 kV mreže kroz Podravinu na potezu Virje — Virovitica.

Gotovost navedenih vodova očekuje se 1995. godine, no nastojat će se da DV Siklos — Donji Miholjac bude u pogonu do kraja 1994. godine. U tome smislu započele su i projektantske aktivnosti na obje strane jer pripreme brzo teku!

* Je li Hrvatskoj potrebna veza 220 kV Pula — Dubrovnik uz more?

DA, ali ne cijelim tokom uz more, nego kombinirajući postojeće i predvidive nove objekte (građevine) 220 kV. Tu se radi o izgradnji TS 220/110 kV Plat (projekti u tijeku), DV 220/kV Plat — Neretva — Imotski (projekti u tijeku), TS 220/110 kV Neretva (Metković) — locirano i idejno riješeno, DV 2 × 220 kV Plomin — Vodnjan (Pula), — isprojektirano i TS 220/110 kV Vodnjan (Pula) — nužno preprojektiranje. Kontinuitet razmatranog 220 kV »jadranskog voda« ostvaruje se postojećim DV 220 kV (Mostar) — Imotski — Konjsko te Konjsko — (Lički Osik) — Brinje — Melina — Pehlin. U ovo ne ulazi neka TS 220/110 kV Zadar jer za nju, zasad, nema opravdanja. Za jedan razvučeni konzum (Novalja — Pag — Nin — Zadar — Biograd), u predratnom iznosu 70 – 80 MW dovoljna su za napajanje 4 »aktivna« voda 110 kV (jedan od Šibenika, dva od Obrovca, vod »otočne veze« s pojačanjem od Karlobaga, ukupna prirodna snaga prijenosa 4 × 32 = 128 MW, ukupna termička snaga prijenosa 2 × 85 + 2 × 115 = = 400 MVA). Uz neki, danas vrlo optimistični porast potrošnje s godišnjim iznosom od 3,5 %, podvostručenje potrošnje na tome području (porast od 70 – 80 MW na 140 – 160 MW) može se očekivati za 20 godina ($1{,}035^{20} = 1{,}989$), do kada još zadovoljava opisana 110 kV mreža!

No pri projektiranju novog DV 110 kV Šibenik — Biograd — Zadar (kao zamjena za slabi te ratom i otprije oštećeni vod 110 kV) trebat će razmisliti da li ga graditi s dvije trojke i da li jednu trojku opremati za 220 kV!

U svakom slučaju, prirodno izvorište za napajanje konzuma Zadra i njegove okolice jest CHE — TS 400/110 kV Obrovac, uz TS 220/110 kV Bilice — Šibenik. Podvelebitski vod 220 kV ne dolazi u obzir zbog teških meteoroloških prilika i zbog njegova neuklapanja u prijenosni sustav Hrvatske na tom području!

Ipak, s obzirom na neizvjesni period smirivanja ratnih aktivnosti na području zadarsko-biogradskog zaleđa, te ponovnog aktiviranja vodova 220 i 400 kV kroz Liku i sjevernu Dalmaciju, Hrvatska elektroprivreda je istražila mogućnosti, rokove i potrebna financijska sredstva za izgradnju jednog 220 kV voda od Like preko Velebita do Zadra, o čemu je obaviješteno i hrvatsko vrhovništvo. No konkretnim zahvatima na realizaciji te veze prići će se tek po nalogu i ocjeni države da su oni nužni. Na osnovi nekih drugih aktivnosti koje se na razmatranom prostoru upravo obavljaju, ne može se očekivati da bi država u dogledno vrijeme mogla donijeti takvu odluku!

* Je li potrebno rasklopište 220 kV Brinje?

DA — i to zbog više razloga:

— postrojenje je ratom neoštećeno i spremno je za pogon
— to je čvorna točka 220 kV voda preko Like i sjeverne Dalmacije (priključak predvidive TS 220/110 kV Lički Osik) kao i 220 kV voda prema Zagrebu (priključak predviđene TS 220/110 kV Karlovac), točka za injektiranje energije iz HE Senj (2 × 72 MW/110 kV + 1 × 72 MW/220 kV).
— izvorišna točka za napajanje 35 kV mreže u zapadnoj Lici (TS 220/35 kV u Brinju je u projektiranju)
— mogućnost dogradnje RP 400 kV u svezi izgradnje i priključka HE Senj 2 na 400 kV mrežu.

* Napajanje otoka (kompleksno pitanje).

Na osnovi dosadašnjih iskustava i studija očito je da će veći otoci biti isključivo ili pretežno napajani iz mreže napona 110 kV i niže (35 i/ili 20 kV). Već više godina postoji kabelsko-zračna poluzamka preko srednjodalmatinskih otoka (Dugi Rat — Brač — Hvar — Korčula — Pelješac — Ston) s uključene 3 TS 110/x kV te, a u dogledno vrijeme još 2 – 3 takve stanice.

U gradnji je »otočni vod« 110 kV Melina/Senj — Krk — Rab — Pag — Zadar s uključenih (u definitivni) 6 – 7 transformatorskih stanica 110/x kV.

Za otočje zadarskog arhipelaga (Ugljan, Pašman, Dugi otok i drugi) postoji rješenje mreže 110 – 35 kV koja se etapno izvodi.

U sklopu napajanja novog LNG terminala u Omišlju (Krk) predlagalo se je pojačanje razmatranog

primorsko-kvarnerskog otočnog sustava 110 kV vodom Plomin — Cres, uz odgovarajuću RP (TS) 110 kV Cres. Takvo se rješenje oslanja na studiju o razvoju 110 kV mreže na području djelovanja DP »Elektroprimorje« Rijeka.
Ostaje otvoreno napajanje Lošinja i udaljenih većih otoka — Visa i Lastova isključivo od prijenosno-distributivne mreže ili to izvoditi na neki drugi način. Sigurno je da će na nekim lokacijama na otocima biti pogodno kombinirati napajanje iz mreže i iz lokalnih izvora (na primjer diesel-elektrana), pogotovo ako tamo postoje i pogodni potrošači toplinske energije. No pri vrednovanju sustava za napajanje otoka električnom energijom trebat će uzeti u obzir očekivani povratak dijela pučanstva na otoke (smanjenje industrije na kopnu, interes za zdravu hranu i drugo), pa visoko opterećenje neće trajati više 45 – 60 dana (samo za vrijeme turističke sezone) nego i cijele godine.

* Obnova i napajanje velepotrošača električne energije u Dalmaciji (kompleksno pitanje).
U Dalmaciji postoje tri industrijska kompleksa s velikom tradicijom, koji su velepotrošači električne energije s posebnim statusom.
To su:
— TEF Šibenik, maksimalna snaga potrošnje oko 40 MW, napajanje preko 2 voda 30 kV iz TS 220/110/30 kV Bilice
— Tvornica aluminija Ražine i TLM Ražine, maksimalna snaga potrošnje reda 150+20 MW, napajanje preko 4 voda 110 kV iz TS 220/110/30 kV Bilice
— Industrija »Dalmacija« Dugi Rat, maksimalna snaga potrošnje oko 60 MW, napajanje iz obližnje TS 110/30 — 110/15 kV Dugi Rat.

Za napajanje TEF Šibenik još je 1903. godine izgrađena na rijeci Krki HE Jaruga 2 sa snagom 2×4 MVA, koja je ujedno napajala i prvu tvornicu aluminija u Lozovcu. Za napajanje tvornice »Dalmacija« Dugi Rat građena je HE Kraljevac na rijeci Cetini u dvije etape, i to:

— god. 1912.	2×16 MVA
— god. 1932.	2×26 MVA
Ukupno	84 MVA/odnosno oko 66 MW.

U svakom slučaju napajanje tvornice »Dalmacija« D. Rat ne dolazi u pitanje (s pravne strane), jer je ona svojedobno izgradila elektranu za vlastite potrebe u opsegu njezine današnje potrošnje. Za aluminij u Šibeniku trebat će se na razini države procijeniti i odlučiti da li i koji dio te industrije zadržati, a elektroprivreda će samo moći izvijestiti koje količine električne energije može isporučivati, pod kojim kondicijama i po kojoj cijeni. Slično vrijedi i za TEF Šibenik (Crnica), koja je osim toga velik ekološki problem za grad Šibenik i njegovu okolicu.

* Stvaranje dioničarskih društava za proizvodnju i distribuciju električne energije u Hrvatskoj?

To nije tehničko pitanje, no ima reperkusije na razvoj prijenosne mreže 110, 220 i 400 kV.

Navedena mreža trebat će se tako razvijati da može omogućiti priključak novih TS 110/x kV za potrebe napajanja distribucijskih poduzeća te za priključak novih elektrana. Budući da je Hrvatska izgradila oko 1 000 MW u elektranama na području drugih republika bivše Jugoslavije (Srbija 300 MW, BiH 350 MW, Slovenija 332 MW) bit će to dijelom potrebno ponovno izgraditi na teritoriju Republike Hrvatske, povećano za elektrane za pokriće normalnog povećanja potrošnje te za zamjenu otpisanih jedinica. U ovom je trenutku nepoznata energetska osnova za te elektrane i tipovi istih (vjerojatno većinom termoelektrane različitih tehnologija) kao ni njihove lokacije ni jedinične snage.
Sigurno je, međutim, da će to biti elektrane uglavnom manjih i srednjih snaga, disperzirane po cijelom području Hrvatske. Mreža će trebati prihvatiti te elektrane, pri čemu je moguće (gledano okvirno):
— na mrežu 110 kV priključiti elektrane ukupne instalirane snage 100 MW
— na mrežu 220 kV priključiti elektrane ukupne instalirane snage do 250 do 300 MW
— elektrane većih snaga ili tamo gdje ne postoji odgovarajuća mreža 220 kV trebati će priključivati na mrežu 380 (400) kV.

Ovo je samo orijentacijski pregled (pretpostavljen priključak elektrane pomoću dva voda), no to uglavnom odgovara stanju i praksi u Hrvatskoj.

Zaključimo, dakle, ova razmatranja po provociranoj temi I.V.C. — elektroenergetski sustav Hrvatske, što će reći Hrvatska elektroprivreda, zna kako dalje! Ne u svim detaljima, pa koji put ni u krupnijim stvarima, ali se u načelu zna! To sigurno ne daljim amputiranjem mreže, njezinih funkcija i relacija kako nam to I.V.C. zabrinuto sugerira, nego osmišljenim pa i agresivnim razvojem u novonastalim okolnostima i novom geopolitičkom okruženju. Sve to uz uvjerenje da je i ovaj (kao i svi dosadanji) rat prolazan. No da bi se poslije živilo, treba preživjeti krizni period. Sve što činimo u elektroenergetskom sustavu u ovom vremenu preživljavanja mora biti u funkciji i u skladu s onim što želimo i očekujemo da će biti u poslijeratnom razdoblju. A da bi to i bilo tako:

— potrebno je prostudirati razvoj elektroenergetskog sustava Hrvatske, napose njegove mreže za prijenos električne energije 110, 220 i 380 (400) kV u novim geopolitičkim i gospodarskim prilikama ove zemlje
— razvoj mreže treba studirati uz sve unaprijed dane elektropolitičke zahtjeve, preporuke i ograničenja
— za prijelazno razdoblje, do potpunog smirivanja stanja, treba prostudirati međurješenja (eventualno i alternativno) koja se moraju konzistentno uključiti u poslijeratnu mrežu
— u studijama, a i na drugim mjestima i istupima, ne smije se polaziti s predpostavkom da se neće raspolagati s pojedinim dijelovima Hrvatske, sve dok državno vrhovništvo to drugačije ne definira

— krizna područja treba pokušati riješiti pomoću prije navedenih međurješenja, pa eventualno i nekih provizornih rješenja

— u svim navedenim i drugim zahvatima trebaju se svi sudionici vladati maksimalno profesionalno i odgovorno te, u strateškoj sferi, djelovati u skladu sa zacrtanom politikom Republike Hrvatske — stvarnog vlasnika Hrvatske elektroprivrede.

ELECTRIC POWER SYSTEM OF CROATIA — WE KNOW WHAT TO DO FURTHER

The paper is stimulated by the text of Ive-Vice Cukrov, B. Sc. from »Energija« number 6/93 and it gives answers to the questions posed.

DAS ELEKTROWIRTSCHAFTLICHE SYSTEM KROATIENS — WIR WISSEN WIE ES WEITERGEHT

Der Artikel entstand nach dem Text von Ivo Vice Cukrov, Dipl. Ing. der in ENERGIJA Nr. 6/93 veröffentlicht wurde. Er gibt Antwort auf die gestellten Fragen.

Naslov pisca:

Božidar Radmilović, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda Zagreb
Direkcija za razvoj i inženjering
41000 Zagreb, Avenija Vukovar 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-02-02.

HEP



ENERGIJA

INSTITUT
ZA ENERGETIKU
I
ZAŠTITU
OKOLIŠA

DRUŠTVENOEKONOMSKA OPRAVDANOST IZGRADNJE ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA

Marijan Magdić, Zagreb

UDK 621.311.1:338
PREGLEDNI ČLANAK

Kada se odabere projekt, taj odabir ima posljedice na potrošnju, štednju, devizni prihod, zaposlenost, distribuciju dohotka i na ostale relevantne društvene (nacionalne) ciljeve. Svrha je društveno ekonomske analize analizirati doprinose li sve te posljedice ostvarenju ciljeva nacionalnog gospodarstva. Nacionalni ciljevi su ujedno i nacionalni parametri analize. Osobitosti društveno ekonomske analize jesu: analiza svih ciljeva društvenoekonomskog razvoja, neposredni i posredni troškovi i koristi, ispravljene cijene inputa i outputa, društvena diskontna stopa.

Ključne riječi: svi ciljevi nacionalnog razvoja, direktni i indirektni troškovi i koristi, ispravljene cijene, društvena diskontna stopa

UVOD

Društvenoekonomska analiza opravdanosti izgradnje elektroenergetskih objekata jest makroanaliza sa stajališta društva, gdje riječ društvo predstavlja cjerokupnu nacionalnu privredu i stanovništvo jedne države. Društvena analiza opravdanosti svoj pravi smisao ostvaruje u privredama vlasničkog sustava, jer upravo takav sustav stvara pretpostavke za primjenu ove analize. Vlasništvu je imanentan princip racionalnosti i profitabilnosti ulaganja, što znači kvantitativno mjerenje rentabilnosti ulaganja.

Društvenoekonomskom analizom mjeri se društvena (nacionalna) profitabilnost analiziranog projekta, kao razlika između agregatnih društvenih koristi i agregatnih društvenih troškova, za razliku tzv. komercijalne profitabilnosti, gdje se profitabilnost utvrđuje i mjeri na razini projekta. Kvantificirati značenje elektroenergetskih objekata u privrednom i društvenom životu, te sa tog stajališta ocijeniti bonitet pojedinog objekta moguće je na temelju društvenoekonomske analize. Stoga bi ova analiza trebala poslužiti, zajedno s ostalim analizama, u sklopu investicijskog programa, za donošenje odluke o izgradnji.

U referatu se obrazlaže osnovna svrha i potreba društvenoekonomske analize opravdanosti izgradnje elektroenergetskih objekata, zatim osnovni metodološki postupak analize i kriteriji za ocjenu društvene profitabilnosti.

1. ZAŠTO DRUŠTVENOEKONOMSKA ANALIZA

1.1. Svrha i cilj

Svrha društvenoekonomske analize jest analizirati i utvrditi doprinos projekta ekonomskim ciljevima društvenoekonomskog razvoja i koncipiranje konzistentne i racionalne javne politike za ostvarenje postavljenih ciljeva. U koncepciji i strukturi ekonomskih ciljeva društva postoji više pristupa, ali se oni ipak mogu svrstati u sljedeće: agregatna potrošnja, redistribucija dohotka, stopa rasta nacionalnog dohotka, zaposlenost, samopouzdanje (neovisnost) i sl.

Agregatna potrošnja je ukupna potrošnja dobara jednog društva i direktni je pokazatelj standarda života stanovništva. Vezano za ukupnu potrošnju dobara potrebno je istaknuti redistribuciju dohotka, koja ima cilj pomoću državne politike i mjera omogućiti dostupnost svim slojevima društva korištenje proizvedenih dobara.

Nacionalni dohodak predstavlja dodatnu nacionalnu vrijednost koja se operacionalizira u ostvarenju profita (poduzetnička dobit, kamate, renta) i plaćama.

O značenju zaposlenosti, kao cilju društva pomoću kojeg se stvara agregatna potražnja (mogućnost kupnje), nije potrebno govoriti.

Ravnomjerni razvitak svih regija smanjuje ovisnost, čime se stvara samopouzdanje razvoja.

1.2. Državne ekonomske funkcije

Za ostvarenje prethodno naznačenih ciljeva društva potrebna je intervencija države, koja se operacionalizira putem njezinih ekonomskih funkcija.

Bez obzira na vlasništvo i slobodno tržište privređivanje, današnje moderne države ne egzistiraju bez utjecaja i upletanja u privredni život radi optimalnog ostvarenja prethodno navedenih društvenoekonomskih ciljeva. Načelo potpuno slobodne tržišne privrede (laissez-faire) davno je napušten kao neodgovarajuće: Davno je uvedeno načelo djelovanja: »zamijeniti nevidljivu ruku tržišta vidljivom rukom države«. Država svojom politikom stvara pretpostavke za ostvarenje i na taj način pridonosi ostvarenju ciljeva. Vezano za djelovanje države i stvaranje pretpostavki

za ostvarenje društvenog razvoja i ciljeva, državne ekonomske funkcije mogu se podijeliti na:[1]

— promicanje efikasnosti
— promicanje jednakosti
— poticanje makroekonomskog rasta i stabilnosti.

Utjecaj države na efikasnost privređivanja jest otklanjanje manjkavosti tržišta, jer manjkavosti tržišta dovode do neefikasne proizvodnje, odnosno potrošnje. Očiglednost manjkavosti tržišta iskazuje se pojavom nesavršene konkurencije (elementi monopola), eksternalija (pojava kad privredni subjekt uzrokuje trošak ili korist drugima, koje se ne valoriziraju putem cijena, tržišta), javnih dobara (javna dobra ne mogu egzistirati na načelu konkurencije, te su pod nadzorom države).

Ako tržišni mehanizam radi savršeno, što nije realno očekivati, može doći do nejednakosti odnosno do nepravde u raspodjeli dohotka. Nejednakost u raspodjeli dohotka uklanja se porezima, pomoćima, transfernim plaćanjima i sl.

Konačno, država potiče ekonomski rast. U svim naprednim industrijskim zemljama nalazimo mješovitu privredu, u kojoj tržište određuje većinu pojedinačnih cijena i količina, a s druge strane država upravlja cjelokupnom privredom pomoću programa oporezivanja, opće potrošnje, monetarne regulacije i sl.

1.3. Značenje elektroenergetskih objekata

Elektroprivredna djelatnost je tzv. infrastrukturna djelatnost. Kao proizvođač i distributer jednog oblika energije elektroprivreda je, putem svog outputa, materijalna pretpostavka ostalim privrednim granama. Zbog značenja električne energije u svim dijelovima privrednog i društvenog života, te zbog osobitosti monopola, nije moguće isključivo tržišno uređenje poslovanja elektroprivrede. Zbog toga se ekonomske funkcije države odnose i na elektroprivredu, odnosno potrebna je intervencija države, ali ne u mikroekonomsko poslovanje elektroprivrede, već u stvaranju ekonomskih pretpostavki odnosno ekonomskih okvira poslovanja elektroprivrede. Takva intervencija države potrebna je zbog značenja električne energije s jedne strane, a s druge strane zato što je elektroprivreda jedna grana cjelokupne energetike. Samo aktivnom ulogom države u području cjelokupne energetike moguće je optimalno i racionalno iskorištavanje energetskih resursa.

Za operacionalizaciju aktivne uloge države, operacionalizaciju državnih ekonomskih funkcija u energetici, a to znači i u elektroprivredi, potrebne su podloge na kojima će se temeljiti aktivnost države, na kojima će se temeljiti odluke. Te podloge su upravo društvenoekonomske analize, kojima se ocjenjuje doprinos pojedinoga elektroenergetskog (energetskog) projekta ciljevima društveno (nacionalno) ekonomskog razvoja.

U čemu bi se trebala sastojati ekonomska intervencija države u elektroprivredi (energetici)? To je prije svega poticanje efikasnosti poslovanja. Kojim ekonomskim mjerama može država ostvariti poticanje efikasnosti, odnosno racionalno korištenje energetskih resursa? To su društvena diskontna stopa (utvrđena direktno ili indirektno) i cijena električne energije. Cijena električne energije je posebno važna jer se putem cijene ostvaruje prihod elektroprivrede. Budući da je elektroprivreda jedna grana energetike, cijena treba biti utvrđena na realnom paritetnom principu u odnosu prema cijenama ostalih oblika energije. Na taj način definirana su dva osnovna ekonomska okvira koji se ubrajaju u ekonomske funkcije modernih država.

Cijenom električne energije definiran je prihod elektroprivrede, a društavenom diskontnom stopom definirana je granična rentabilnost ulaganja. Iz toga logično slijedi da bi se na temelju definiranog prihoda trebali odabirati projekti čija je društvena profitabilnost najmanje jednaka društvenoj diskontnoj stopi.

2. DRUŠTVENOEKONOMSKA ANALIZA OPRAVDANOSTI IZGRADNJE ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA

2.1. Općenito

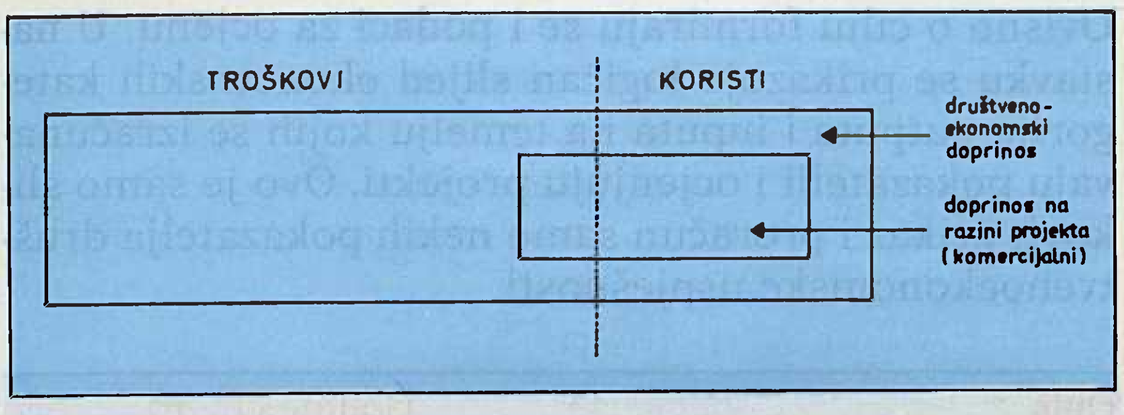
Elektroenergetski objekti su infrastrukturni objekti, što automatski ne znači da takvi objekti u postupku izbora ne trebaju dokazati ekonomsku opravdanost, svoj doprinos ciljevima društveno-ekonomskog razvoja, već da je za izgradnju dovoljna sama činjnica infrastrukturnosti. Ta konstatacija se ne smije ni u kojem slučaju doslovno shvatiti kao da se time želi isključiti korištenje električne energije na današnjem stupnju ljudskog razvoja. To bi bila katastrofalna pomisao. Međutim, pri odlučivanju o izgradnji bitno je izabrati najbolju alternativu proizvodnje (nabave), prijenosa i distribuciju električne energije. Sva dostupna tehnička rješenja ove djelatnosti ne pridonose jednako ciljevima društvenog (nacionalnog) razvitka. Njihov doprinos treba mjeriti i društvenim (nacionalnim) ekonomskim mjerilima i parametrima. Na taj način će se onda optimalno, sa stajališta društva, alocirati postojeći resursi.

2.2. Metodološki postupak analize

Za razliku od tzv. komercijalne (financijske) analize efikasnosti, gdje se marginalna efikasnost ulaganja utvrđuje na razini projekta, koristeći pri tome neposredne efekte i tržišne cijene, analiza društveno-ekonomske profitabilnosti utvrđuje marginalnu profitabilnost ulaganja određenog projekta na razini društva, koristeći pri tome neposredne i posredne efekte, ispravljene cijene i ispravljene tečajeve stranih valuta. Slikoviti prikaz nepodudarnosti komercijalne (financijske) i društvenoekonomske analize, odnosno različitost doprinosa nekog projekta ciljevima društvenoekonomskog razvoja i ciljevima na razini projekta,[2] iznesen je u nastavku.

[1] Samuelson, Nordhaus, *Ekonomija*, Mate, 1992.

[2] R.F.J. Dewhurst, *Business cost-benefit analysis*, Mc Graw Hill, 1972.



Slika 1. Društvenoekonomski i komercijalni doprinos projekta

Ovisno o tome koji se utjecaj želi analizirati utvrđuju se i kriteriji za ocjenu, kojih, dakako, ima više jer je društvenoekonomska ocjena kompleksna ocjena. Kao što je već rečeno, kriterij za ocjenu može biti društvena rentabilnost, čime se mjeri marginalna društvena rentabilnost ulaganja, i njemu kompatibilni kriterij društvena neto sadašnja vrijednosti. Kao podloga za proračun prethodnih kriterija služi efekt neto agregatne potrošnje, kao razlika između prihoda i troškova. Kao sljedeći kriterij koristi se dodatna vrijednost (profit plus plaće). Osim toga, često se kao kriterij koristi redistribucija dohotka, koja se očituje u plaćama zaposlenih i proračuna njihova multiplikativnog efekta.

Dakle, ova metoda ocjene koristi se kvantitativnim pokazateljima rentabilnosti ulaganja, kao mjerom nadoknade za uloženi kapital. To praktično znači da se izabire alternativa koja će ostvariti najveću nadoknadu (doprinos) za ulaganja. Osobitosti društvenoekonomske analize jesu: neposredni (direktni) i posredni (indirektni) troškovi i koristi, ispravljene cijene, te društvena diskontna stopa.

2.2.1. *Neposredni i posredni troškovi i koristi*

Neposredni efekti su prihodi koji se ostvaruju prodajom proizvoda kao rezultatom ove djelatnosti. Kod proizvodnih elektroenergetskih objekata to je prihod od prodaje električne energije. Prijenosni objekti ne ostvaruju neposredne efekte, te se oni prijenosni objekti koji se grade isključivo radi jedne elektrane pribrajaju troškovima izgradnje te elektrane. Za ostale prijenosne objekte, koji nisu neposredno vezani za određenu elektranu, ili se grade kao potreba cjelokupnoga elektroenergetskog sustava, ili su potreba modernizacije, rekonstrukcije i sl., efekte zahvata treba smatrati posrednima (indirektnima), te ih u tom smislu vrednovati.

Osim toga, pojavljuju se prihodi koji se ostvaruju izvan analiziranog projekta, odnosno nastaju djelovanjem analiziranog projekta, a oni se također trebaju vrednovati.

Analogno prihodima pojavljuju se neposredni i posredni troškovi. Neposredni troškovi su troškovi vezani direktno za analizirani objekt, a posredni troškovi nastaju izvan projekta.

Koliko će se široko analizom obuhvatiti posredni (indirektni) efekti i troškovi, ovisi o svrsi (koncepciji, namjeri) analize. Bitno je naglasiti da su u društvenoekonomskoj analizi jednakovrijedni neposredni i posredni efekti i troškovi.

2.2.2. *Ispravljene cijene*

Jedna od osnovnih odrednica, odnosno posebnosti društvenoekonomske analize jesu ispravljene cijene. Kada bi u svim segmentima privrede moglo djelovati tržište, tada bi se omogućilo funkcioniranje osnovnoga prirodnoga ekonomskog mehanizma glede formiranja cijena. Tada bi pri formiranju cijena bilo u potpunosti ostvareno načelo spremnosti (volje) potrošača za plaćanje cijene neke robe. Kako to nije moguće (vidjeti ekonomske funkcije države), onda su cijene koje postoje utvrđene na dva načina: slobodnim djelovanjem tržišta i intervencijom države. Cijene utvrđene intervencijom države nisu prirodno ekonomske cijene, ali je nužno njihovo postojanje radi ostvarenja ciljeva razvoja društva. Dakako, cijene utvrđene intervencijom države jesu cijene koje vrijede u toj državi.

Budući da je društvenoekonomska analiza ekonomska analiza, onda se u tom postupku koriste i ekonomske cijene inputa i outputa, zbog čega je potrebno sve cijene koje nisu formirane na načelu djelovanja tržišta prevesti, ispraviti u cijene kao da su formirane na ekonomskom tržišnom principu.

S druge strane, ova analiza se temelji na korištenju najpovoljnije varijante, kako na strani inputa, tako i na strani outputa tako da se koriste i cijene u vanjskotrgovačkoj razmjeni. To znači, ako su cijene inozemnih inputa manje od cijena domaćih, u analizi se koriste inozemne cijene. Obrnuto je ako je riječ o cijeni outputa.

Ispravljanje cijena složen je postupak koji traži seriozan pristup i mnogo podataka, odnosno postojanje datoteke cijena. Da bi se pojasnilo prethodno izlaganje, u nastavku se iznosi pristupni operativni postupak proračuna ispravljenih cijena.

Opis	Cijena
1. Outputi	
1.1. Dio outputa za izvoz	Izvozna cijena
1.2. Dio outputa za domaće tržište	Uvozna cijena uvećana za troškove nabave, ako je riječ o supstituciji uvoza; ako ne, onda je to cijena na domaćem tržištu ili troškovi proizvodnje, ovisno o tome koji je iznos veći
2. Inputi	
2.1. Materijalni inputi iz uvoza	Uvozna cijena uvećana za troškove nabave
2.2. Domaći materijalni inputi	Uvozna cijena uvećana za troškove nabave, ili cijena na domaćem tržištu, ovisno o tome koja je niža
2.3. Zemljište	Cijena na domaćem tržištu
2.4. Infrastrukturne usluge	Cijena na domaćem tržištu ili troškovi proizvodnje, ovisno o tome koji je iznos veći
2.5. Rad	Plaće uvećane za beneficije (ograničenje plaća)

2.2.3. *Društvena diskontna stopa*

Društvena diskontna stopa je kvantitativna procjena društvene vrijednosti budućih troškova i koristi. To znači da je to marginalna produktivnost (stvaralaštvo) ulaganja (kapitala). Marginalna zato što predstavlja dodatnu vrijednost na uloženi kapital.

Osnovna ekonomska uloga društvene diskontne stope jest alokacija kapitala, alokacija ulaganja. Ako je društvena diskontna stopa preniska, potražnja za investicijskim fondovima premašuje ponudu, te će se graditi mnogo objekata (velika investicijska aktivnost) jer je marginalna produktivnost kapitala niska. Obrnuto je ako je društvena diskontna stopa visoka. Iz toga slijedi da je društvena diskontna stopa osnovni pokretač (usporavatelj) investicijske aktivnosti, čija bi se veličina trebala formirati tako da se izjednači ponuda i potražnja za investicijskim resursima.

Što utječe na veličinu i kako se formira društvena diskontna stopa? Osnovni kriterij i polazište za određivanje društvene diskontne stope jest kamatna stopa po kojoj se pojedinoj državi odobravaju investicijski krediti, zatim visina kamatne stope na međunarodnom tržištu kapitala. Pri tome, isto tako, treba uzeti u obzir i konkretne varijante glede korištenje kredita (povlašteni međudržavni kredit, krediti za određene namjene i sl.).

S obzirom na značenje pojedine grane, na primjer elektroprivrede, uputno bi bilo utvrđivati diferencijalne društvene diskontne stope za pojedine grane, čime se izravno utječe na poticanje ili usporavanje razvoja te grane. Operativno to znači da općoj društvenoj diskontnoj stopi treba dodavati ili oduzimati određene premije kako bi se postigla željena društvena diskontna stopa pojedine grane.

2.2.4. *Ispravljeni devizni tečajevi*

Za pravilno vrednovanje inozemne komponente, bilo na strani inputa ili na strani outputa, potrebno se koristiti ispravljenim deviznim tečajem ako službeni ne odražava stvarnu vrijednost. Utvrđivanje realnosti deviznog tečaja nije jednostavno, ali se u praksi dosta koristi ispravljanje službenoga deviznog tečaja pomoću koeficijenta koji se izračunava na temelju platno bilančne situacije. Koeficijent se izračunava kao odnos vrijednosti robnih i nerobnih plaćanja prema vrijednosti robnih i nerobnih priljeva.

2.2.5. *Proračun kriterija za ocjenu*

Prema formi, društvenoekonomska analiza slična je analizi komercijalne (financijske) isplativosti, jer jedna i druga identificiraju koristi i troškove, te se odgovarajućim postupkom međusobnog uspoređivanja ocjenjuje rentabilnost ulaganja.

Komercijalna (financijska) analiza je prvi korak društvenoekonomske analize. Prema tome, prvi izvor informacija jesu podloge za izradu investicijskih programa ili sami investicijski programi elektroenergetskih objekata, koji podaci se pomoću prethodno navedenih postupaka transformiraju u podatke za potrebe društvenoekonomske analize.

Ovisno o cilju formiraju se i podaci za ocjenu. U nastavku se prikazuje logičan slijed ekonomskih kategorija outputa i inputa na temelju kojih se izračunavaju pokazatelji i ocjenjuju projekti. Ovo je samo slikovit prikaz i proračun samo nekih pokazatelja društvenoekonomske uspješnosti.

Opis	Godine (1... n)
1. Prihod neposredni	
1.a. Inozemni	
1.b. Domaći	
2. Prihod posredni	
1.c. Inozemni	
1.d. Domaći	
3. Investicija (troškovi izgradnje)	
Inozemni dio	
3.a. Materijal	
3.b. Plaće zaposlenih	
Domaći dio	
3.c. Nekvalificirani radnici	
3.d. Materijal	
3.e. Kvalificirani radnici	
4. Investicije (obrtni kapital)	
4.a. Inozemni	
4.b. Domaći	
5. Troškovi proizvodnje	
Inozemni dio	
5.a. Materijal	
5.b. Plaće zaposlenih	
Domaći dio	
5.c. Materijal	
5.d. Polukvalificirani radnici	
5.e. Nekvalificirani radnici	
6. Ostatak vrijednosti projekta	
6.a. Inozemni dio	
6.b. Domaći dio	
Neto-primici (1+2−3−4−5+6)	

Na temelju označenih pozicija u prethodnoj tablici naznačit će se proračun izabranih pokazatelja uspješnosti. Za proračun navedenih pokazatelja uspješnosti primjenjuje se postupak diskontiranja primjenom društvene diskontne stope, osim za proračun društvene stope rentabilnosti, gdje je društvena diskontna stopa rezultat proračuna.

Neto agregatna potrošnja
(Društvena neto sadašnja vrijednost)

$$MC = (1)+(2)-(3)-(4)-(5)+(6)$$

Društvena stopa rentabilnosti (rezultat proračuna)

$$SSR = (1)+(2)-(3)-(4)-(5)+(6)$$

Redistribucija dohotka

$$RD = (3c)+(3e)+(5e)+(5d)+(3b)+(5b)$$

Marginalna redistribucija dohotka

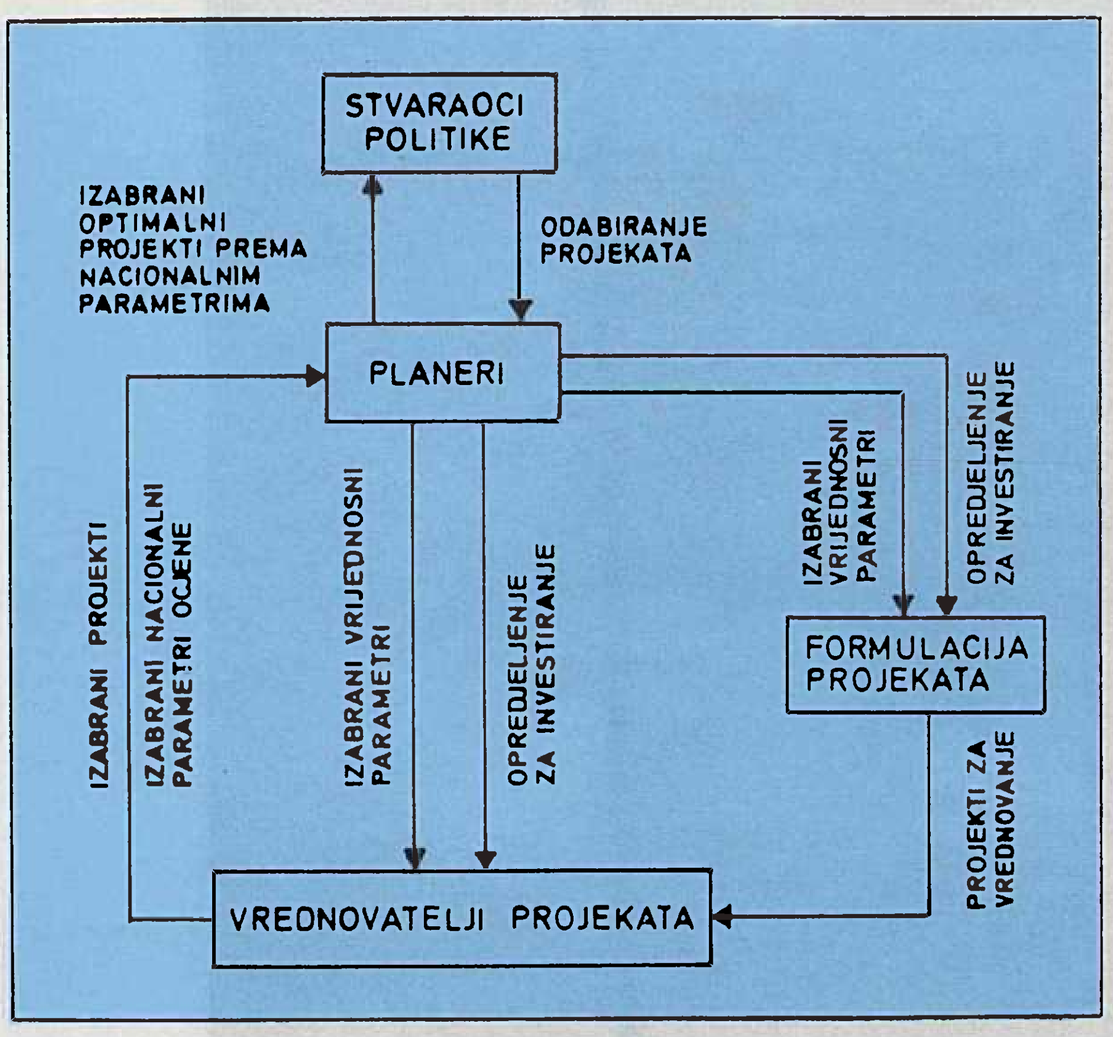
$$MRD = RD \times ((1/(1-m))$$

gdje je $((1/1-m))$ multiplikator dohotka

3. MEĐUSOBNA POVEZANOST SUDIONIKA DRUŠTVENOEKONOMSKE ANALIZE

Prema do sada iznesenom proistječe da pri utvrđivanju i ocjenjivanju doprinosa projekta ciljevima društvenoekonomskog razvoja sudjeluju kako državne institucije, tako i sami investitori. To znači da među njima postoji interakcija i da se među njima nepres-

tano razmjenjuju informacije. Time se ujedno uspostavljaju organizacijske veze, tj. logičan slijed aktivnosti, što dovodi do racionalnosti analize. Stoga se u nastavku iznosi shematski prikaz logičnih veza i redoslijeda radnji na izradi društvenoekonomske analize i ocjene.



Slika 2. Međusobna povezanost sudionika društvenoekonomske analize

LITERATURA

[1] SAMUELSON, NORDHAUS, »Ekonomija«, Mate, Zagreb, 1992.

[2] R. F. J. DEWHURST, »Business cost-benefit, analysis«, Mc Graw Hill, 1972.

[3] Guidelines for Project Evaluation, United Nation, New York, 1972.

SOCIAL BENEFIT – COST ANALYSIS OF ELECTRIC POWER STATIONS

When one project is chosen rather than another, the choice has consequences for consumption, savings, foreign exchange earning, employment, income distribution, and other matters relevant to national objectives. The purpose of social benefit-cost analysis is to see whether these consequences taken together are desirable in the light of the objectives of national economy. The national objectives are simultaneous to national parameters. The particulars of social benefit-cost analysis are: national objectives, direct and indirect benefit and cost, shadow price, social rate of discount.

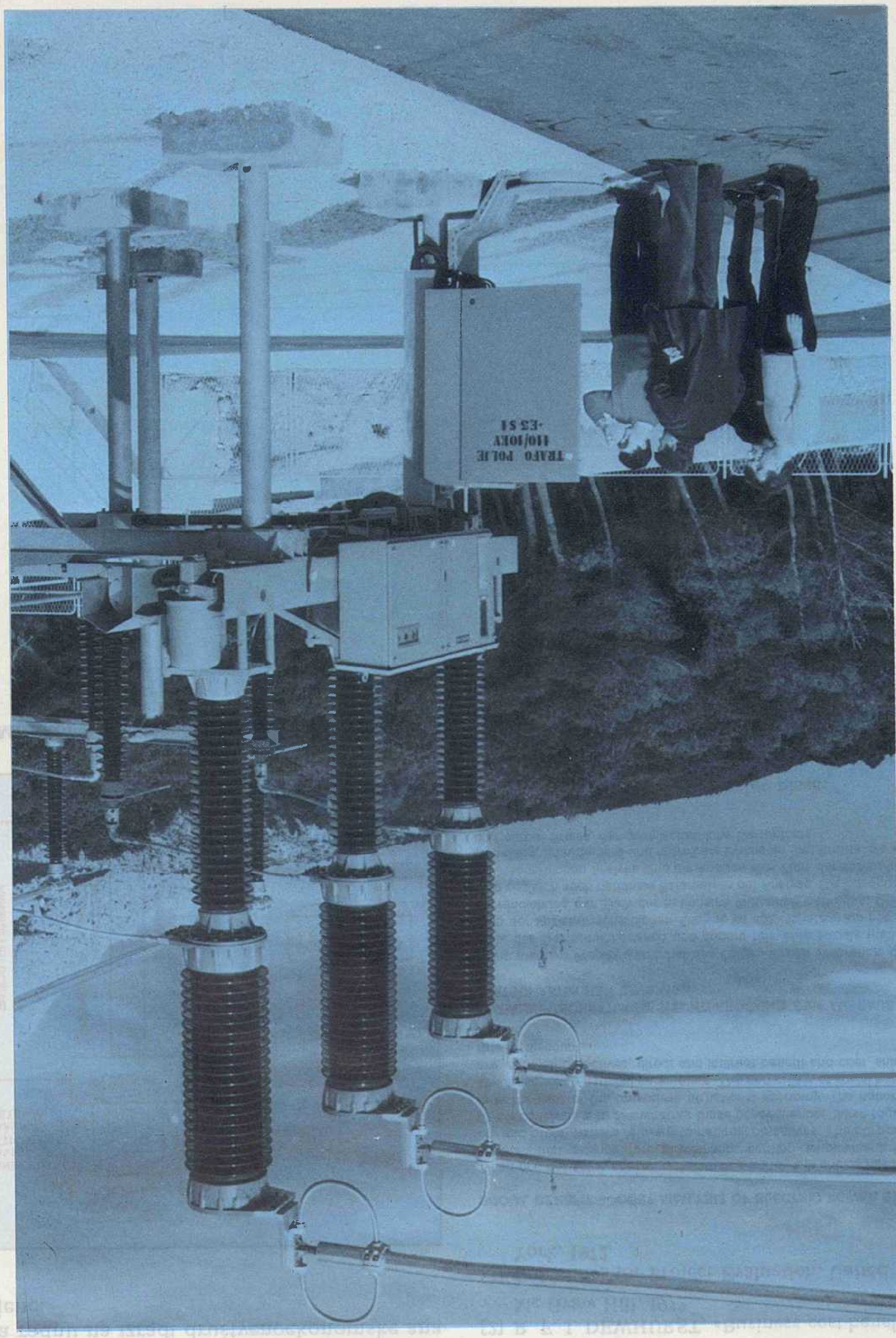
SOZIALWIRTSCHAFTLICHE RECHTFERTIGUNG DES AUSBAUS VON ELEKTROWIRTSCHAFTLICHEN OBJEKTEN

Wenn man ein Projekt wählt, hat das Folgen fürden Verbrauch, die Sparmassnahmen, das Deviseneinkommen und andere relevante soziale (nationale) Ziele. Der Sinn der sozialwirtschaftlichen Analyse ist abzuschätzen ob alle diese Folgen zur Verwirklichung der Ziele der nationalen Wirtschaft beitragen. Die nationalen Ziele sind zugleich auch nationale Parametren der Analyse. Die Besonderheiten der sozialwirtschaftlichen Analyse sind die Analyse aller Ziele der sozialwirtschaftlichen Entwicklung, unmittelbare und mittelbare Unkosten und Profite, die korrigierten input und output Preise, der gesellschaftliche Discontsatz.

Naslov pisca:

Marijan Magdić, dipl. ek.
Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d. Zagreb
41000 Zagreb, Avenija Vukovar 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993-12-10.


TRAFO POLE
110/10KV
-E3 S1

SUVREMENE TENDENCIJE U RAZVOJU PRENAPONSKE ZAŠTITE DISTRIBUCIJSKIH POSTROJENJA

Dr. Milan Puharić — dr. Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.316.93

PREGLEDNI ČLANAK

U članku su obrađena iskustva s primjenom prenaponske zaštite u nekim europskim zemljama. Prikazani su suvremeni trendovi u razvoju odvodnika prenapona. Na kraju je dan tehnoekonomski osvrt o opravdanosti primjene MO odvodnika prenapona u distribucijskim mrežama.

Ključne riječi: distribucijske mreže, odvodnici prenapona, prenaponska zaštita.

1. UVOD

Distribucijska mreža Hrvatske elektroprivrede po-najviše je nadzemna. Udjeli nadzemnih vodova po naponskim nivoima iznose:

— mreža 35(30) kV: 84%
— mreža 10(20) kV: 80%
— mreža niskog napona: 80%

Udio TS 10(20)/0.4 kV priključenih na nadzemnu mrežu iznosi otprilike 67%. Budući da je u nekim dijelovima Hrvatske prisutan relativno visok izokeraunički nivo (do 50 grmljavinskih dana godišnje), nužno je ostvariti kvalitetnu zaštitu elektroenergetskih postrojenja od štetnoga djelovanja atmosferskih prenapona.
S druge strane, u nas postoje određene nedoumice u svezi s primjenom prenaponske zaštite, a koje su uvjetovane:

— nezadovoljavajućim stanjem u našim distribucijskim mrežama
— različitim koncepcijskim rješenjima koja se koriste u razvijenim svjetskim distribucijama
— razvojem novih tehnologija.

Zbog toga su u ovom članku ukratko opisani neki značajniji noviteti iz područja prenaponske zaštite distribucijskih postrojenja.

2. DOSADAŠNJA PRAKSA U PRIMJENI PRENAPONSKE ZAŠTITE U HRVATSKOJ

Postojeće stanje prenaponske zaštite u srednjonaponskim mrežama u Hrvatskoj nije potpuno isto u svim distribucijskim područjima. No neki opći zaključci mogu se utvrditi za sva područja.

Prenaponska zaštita elektroenergetskih postrojenja redovito je ostvarena klasičnim, silicij-karbidnim (SiC) odvodnicima prenapona. Proizvođači su uglavnom bili s područja bivše Jugoslavije. Stariji odvodnici često imaju niže nazivne struje (5 kA); u novije vrijeme obično su se ugrađivali odvodnici nazivne struje 10 kA.

Kao dopunska zaštita u nekim 10 kV postrojenjima koriste se zaštitna iskrišta; i to najčešće u kombinaciji s odvodnicima.

Dosadašnja iskustva s primjenom SiC odvodnika prenapona prilično su loša; to se posebno odnosi na odvodnike nazivne struje 5 kA. Prema informacijama pogonskog osoblja, ti odvodnici često ostaju u stanju zemljospoja bez vidljivih tragova. Umjesto da obavljaju zaštitnu funkciju, korišteni odvodnici postaju jednim od najčešćih uzročnika kvarova u mreži. Zbog toga je ponegdje nužno godišnje zamijeniti do 20% instaliranih odvodnika!

S obzirom na loše karakteristike odvodnika prenapona, u pojedinim mrežama (uglavnom nazivnog napona 10 kV) ugrađena su zaštitna iskrišta. Pogonska iskustva s tim uređajima relativno su dobra.

Metaloksidni odvodnici prenapona počeli su se eksperimentalno koristiti tek zadnjih godina, pa još ne postoje velika iskustva.

Na temelju spoznaja iz eksploatacije distribucijskih postrojenja može se zaključiti da je postojeće stanje prenaponske zaštite u Hrvatskoj dosta loše, i to ponajviše zbog problematične kvalitete korištenih SiC odvodnika prenapona. Ovaj zaključak posebno se odnosi na mreže 10 kV. Zbog toga je nužno osigurati provedbu modernijih i kvalitetnijih rješenja u tom području.

3. PRAKSA U RAZVIJENIM INOZEMNIM DISTRIBUCIJAMA

3.1. Prenaponska zaštita u distribucijskoj mreži Francuske

Francuska srednjonaponska mreža uglavnom radi pod naponom 20 kV, a manjim dijelom pod napo-

nom 15 kV. Navedena mreža uglavnom pripada državnom elektroprivrednom poduzeću — EDF.

Prema podacima iz [1], struktura distribucijske mreže EDF-a bila je 1990. g. sljedeća:

— broj TS VN/SN: 1 700 kom., instalirane snage 65 000 MVA
— broj TS SN/NN: 610 000 kom., instalirane snage 97 000 MVA
— dužina vodova srednjeg napona : 540 000 km.

Udio stupnih TS SN/NN jest 49%, dok je udio nadzemnih vodova srednjeg napona 83%.

Prije desetak godina u EDF-u je pokrenuto istraživanje s namjerom statističkog praćenja kvarova i analize uzroka kvarova te poduzimanja mjera za poboljšanje kvalitete pogona. Sumarni rezultati iz tog istraživanja, koje je obuhvatilo približno 15 000 izvoda srednjeg napona, prikazani su u tabl. 1. [2].

Poduzete su sljedeće mjere za poboljšanje pogona:

— smanjenje dužine vodova interpolacijom novih stanica
— poboljšanje uvjeta rada lokaliziranjem kvarova i izoliranjem dijela mreže u kvaru uvođenjem linijskih rastavljača (daljinski upravljanih)
— postupna zamjena iskrišta za zaštitu transformatora, s metaloksidnim (MO) odvodnicima prenapona.

Do sredine osamdesetih godina odvodnici prenapona klasične izvedbe (SiC) bili su ugrađivani samo u zonama izrazito izloženim atmosferskim pražnjenjima. Zaštita od atmosferskih prenapona osiguravala se primjenom zaštitnih iskrišta.

Tablica 1. Rekapitulacija karakterističnih pokazatelja nadzemnih i mješovitih izvoda srednjeg napona

Dužina	Nadzemni izvod 52 km	Mješoviti izvod 32 km (7 km kabela)
Vršna snaga	2.7 MW	3.4 MW
Broj kvarova		
* kratkotrajnih	82	39
* polutrajnih	28	17
* trajnih	6	4.5
Učestalost kvarova		
* kratkotrajnih	158	154
* polutrajnih	55	67
* trajnih	11.5	14
Neisporučena energija/god.	6 850 kWh	5 430 kWh
Vrijeme trajanja kvarova/god.	5.9 h	3.7 h
Prosječno vrijeme trajanja kvara	52 min	45 min

Zahtjev za kvalitetnijim pogonom opravdava sustavno uvođenje MO odvodnika zbog najmanje tri razloga:

— smanjenja kratkotrajnih kvarova. Naime, nakon prorade iskrišta pojavljuje se luk podržavan strujom 50 Hz. Za eliminiranje takvog kvara potrebno je uključiti jedan ciklus APU-a, što se vrlo štetno održava na potrošače s elektronskim aparatima.
— smanjenja trajnih kvarova zbog vanjskih uzroka koji uzrokuju premoštenje na rogovima iskrišta: ptice, slama, lišće, inje itd.
— smanjenja rizika pojave visokog napona lokalnih uzemljivača zbog dugotrajnog luka koji je nakon prolaska prenapona podržan strujom 50 Hz.

Sve te činjenice rezultirale su novom politikom u EDF-u sa zadatkom da se u sljedećih 15 godina zamijene sva iskrišta s metaloksidnim odvodnicima prenapona. Uzimajući u obzir postojeće stanje i izgradnju novih TS SN/NN, može se procijeniti potreba za ugradnjom oko 120 000 MO odvodnika godišnje.

3.2. Prenaponska zaštita u distribucijskoj mreži Italije

Najveći dio talijanskih srednjonaponskih mreža nalazi se u vlasništvu državnog poduzeća — ENEL. Zastupljena su tri naponska nivoa: 10, 15 i 20 kV, s time što sva nova oprema ima izolaciju za nazivni napon 20 kV (stupanj izolacije 24 kV).

Prema podacima iz [3], struktura distribucijske mreže bila je 1986. g. sljedeća:

— broj TS VN/SN: 1 165 kom., instalirana snaga 50 000 MVA
— broj TS SN/NN: 248 000 kom., instalirana snaga 36 000 MVA
— dužina vodova srednjeg napona: 260 000 km.

Udio stupnih TS SN/NN jest 42%, dok je udio nadzemnih vodova srednjeg napona oko 77%.

Prema [3] u ENEL-u je definiran koncepcijski pristup koordinaciji izolacije, i to 1970. godine. Kao osnovni zaštitni uređaji od prenapona odabrana su **zaštitna iskrišta,** sa sljedećim podešenim razmacima:

15 mm (U_n = 10 kV)
20 mm (U_n = 15 kV)
28 mm (U_n = 20 kV).

Uporaba odvodnika prenapona u mrežama srednjeg napona predviđena je samo u specijalnim slučajevima, kao što su:

— područja s visokim kerauničkim nivoom
— područja niskoga kerauničkog nivoa, ali s visokom gustoćom opterećenja.

U ostalim slučajevima koriste se zaštitna iskrišta (kako za zaštitu TS SN/NN, tako na spojevima kabela i nadzemnih vodova).

U transformatorskim stanicama VN/SN odvodnici prenapona redovito se ugrađuju, i to:

— odvodnici nazivne struje 10 kA za zaštitu energetskih transformatora
— odvodnici nazivne struje 5 kA na odlaznoj strani vodnih polja srednjeg napona.

Prema podacima za 1986. odvodnici prenapona u srednjonaponskim mrežama bili su zastupljeni samo sa 20% u odnosu na zaštitna iskrišta koja su predstavljala udio od 80% zaštitnih uređaja od prenapona.

Pogonska iskustva sa zaštitnim iskrištima relativno su dobra. No uočeni su sljedeći nedostaci:

— Pri proradi iskrišta nastaje luk, koji se obično uklanja proradom relejne zaštite; iznimke su mreže s izoliranim zvjezdištem i malim kapacitivnim strujama zemljospoja
— Ako se u mrežama s izoliranim zvjezdištem dopusti trajanje luka na iskrištu, raste rizik od pojave opasnih dvostrukih zemljospojeva u mreži, jer se naponi ispravnih faza dižu na vrijednost linijskog napona.

Iskustva s odvodnicima prenapona upućuju da kod njih nema izloženih nedostataka koji su karakteristični za zaštitna iskrišta. Međutim, uočeni su problemi s promjenom karakteristika odvodnika zbog starenja. Statistika pokazuje da je vjerojatnost kvara odvodnika prenapona klasične izvedbe (SiC) u mreži ENEL-a:

$$\lambda = 2/100 \text{ kom. god.}$$

Današnja tendencija u distribucijskoj djelatnosti ENEL-a, jest povećano korištenje odvodnika prenapona u odnosu na zaštitna iskrišta. Takav trend je uvelike uvjetovan pojavom kvalitetnih i relativno jeftinih metaloksidnih (MO) odvodnika.

Od početka osamdesetih u ENEL-u se provode intenzivna istraživanja čija je svrha određivanje optimalnih karakteristika MO odvodnika prenapona. Zbog toga je u srednjonaponskim mrežama instalirano nekoliko tisuća MO odvodnika kako bi se dobila pogonska iskustva. Na temelju prikupljenih spoznaja definirani su koncepcijski zahtjevi ENEL-a na buduća rješenja odvodnika prenapona, kao što su:

a) mogućnost ugradnje MO odvodnika u kotlove transformatora. Time se postiže bolja zaštita transformatora i neosjetljivost odvodnika na zagađenje iz zraka. Jasno je da pouzdanost takvih odvodnika mora biti veoma visoka. To rješenje omogućuje smanjivanje izolacijskog nivoa transformatora.
b) uporaba odvodnika s kućištima od sintetičkih materijala. Ovo rješenje je posebno pogodno za korištenje u uvjetima povećanog zagađenja atmosfere. Osim toga, u slučaju kvara odvodnika nema opasnosti od eksplozije kao u slučaju uporabe keramičkih kućišta, kada krhotine mogu izazvati nesreću.

Posebna pozornost pridat će se istraživanju starenja MO odvodnika prenapona i mogućim promjenama karakteristika kućišta i varistora.
Dobiveni rezultati dovest će do usvajanja tehnoekonomski optimalnih rješenja za MO odvodnike prenapona u srednjonaponskim mrežama, koji će u budućnosti postupno zamijeniti zaštitna iskrišta.

3.3. Prenaponska zaštita u distribucijskoj mreži Njemačke

Distribucijska djelatnost u Njemačkoj organizirana je na razini regionalnih poduzeća, pa je zato teško govoriti o koncepcijskim rješenjima na isti način kao u Francuskoj i Italiji. Ipak, u [4] dane su neke reprezentativne informacije o ovoj problematici koje vrijede za sve njemačke distribucije.
Prema navedenom izvoru, prenaponska zaštita srednjonaponskih mreža ostvaruje se pomoću odvodnika prenapona. Zaštitna iskrišta koriste se samo iznimno. U novije vrijeme sve više se rabe metaloksidni odvodnici (MO) umjesto klasičnih odvodnika sa SiC otpornicima. Pri izboru MO odvodnika posebno se uzimaju u obzir unutrašnji prenaponi zbog zemljospojeva. Ti zemljospojevi obično traju duže vrijeme, jer većina srednjonaponskih mreža radi sa zvjezdištem uzemljenim preko kompenzacijske prigušnice.
Pri odabiru mjesta ugradnje odvodnika vrijede opća pravila da je nužno zaštititi:

— transformatore stupnih TS SN/NN
— nadzemne ulaze u vodna polja svih drugih transformatorskih stanica
— spojeve kabel — nadzemni vod.

U specifičnim slučajevima odvodnici prenapona primjenjuju se i na drugim lokacijama u nadzemnoj ili kabelskoj mreži. Dosadašnja pogonska iskustva s odvodnicima prenapona u srednjonaponskim mrežama su odlična. Zanimljivo je da se često koriste odvodnici niže nazivne struje — 5 kA.
Na kraju treba upozoriti na vrlo visoku pouzdanost korištenih odvodnika u njemačkim mrežama. Prema statističkim podacima, vjerojatnost kvara odvodnika nazivnog napona 24 kV iznosi svega:

$$\lambda = 0.2/100 \text{ kom. god.}$$

Prema [4], to je potpuno zadovoljavajuće sa stajališta kvalitete pogona.

4. SUVREMENI TRENDOVI U RAZVOJU PRENAPONSKE ZAŠTITE

4.1. Nova tehnološka rješenja

Razvoj novih tehnologija u proizvodnji metaloksidnih odvodnika prenapona odvijao se pretežno u dva pravca:

a) izradi kvalitetnih kućišta od keramike ili sintetičkih masa,
b) suvremenim tehnologijama proizvodnje MO blokova.

Potrebno je naglasiti da je posljednjih godina vrlo uznapredovala tehnologija proizvodnje kućišta od sintetičkih materijala koja posjeduju dosta prednosti pred keramičkim kućištima: odvodnici su i do 50% lakši, bolja je nepropusnost na vlagu (što je najčešći uzrok kvara kod odvodnika prenapona), otporniji su na onečišćenja, nema opasnosti od eksplozije. Međutim, tu se osobita pozornost treba obratiti ponašanju sintetičke ovojnice koja se lako zapali u slučaju kratkog spoja duljeg trajanja, pa je vrlo važno da dijelovi kućišta u tom slučaju ne padnu na zemlju. To je osobito važno u područjima gdje postoji opasnost od požara (šume, polja itd.). U tu svrhu predviđena su ispitivanja odvodnika na struje kratkog spoja od 1 kA, 3 kA te 6 kA.

Glede novih postupaka proizvodnje MO blokova u svijetu su razvijene razne tehnologije u ovisnosti o proizvođaču. Zapaženu novost na ovom području predstavlja postupak za proizvodnju ZnO blokova kod kojega se specijalnim postupkom postiže ravnomjernija raspodjela čestica u blokovima, čime se bitno poboljšavaju svojstva odvodnika [5]:

— postižu se niske odvodne struje uz male omske gubitke
— dobiva se nizak preostali napon
— postižu se malene promjene gubitaka nakon velikih udarnih struja od 65 kA ili 100 kA
— ostvaruje se visoka sposobnost apsorbcije energije.

Treba spomenuti mogućnost da se zbog što efikasnije i racionalnije izvedbe postrojenja, MO odvodnici prenapona iskoriste i kao potporni izolatori na stupnim TS 10(20)/0.4 kV. Uvjet je da odvodnici mogu podnijeti mehanička naprezanja od oko 60 Nm.

Za ispitivanje odvodnika prenapona, osim u svijetu prihvaćenih propisa IEC 99—4, u pojedinim zemljama primjenjuju se i interne norme, pa se tako u Francuskoj koriste HN norme (propisi francuske elektroprivrede (EDF)), a u Njemačkoj VDE propisi. Važno je istaknuti da su pojedine norme strože od IEC propisa, pa se za njihovo ispunjenje moraju zadovoljiti i određena ispitivanja kojima je cilj ostvarenje velike pouzdanosti i robusnosti metaloksidnih odvodnika prenapona.

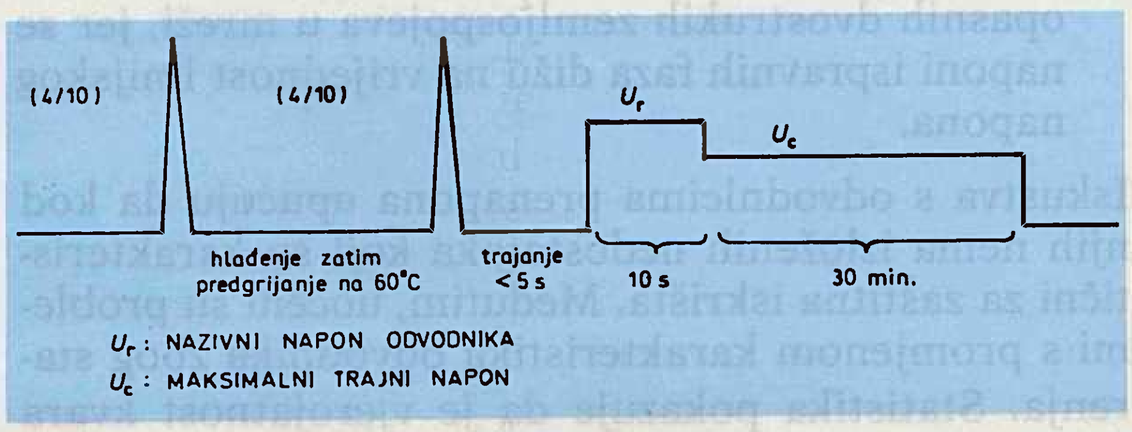
Kod problematike zagađenja treba naglasiti da je međunarodni standard IEC 1109 se odnosi na sintetičke izolatore sličan francuskom standardu koji obuhvaća odvodnike prenapona sa sintetičkim kućištima. Minimalni zahtjev prema IEC-u je ispitivanje odvodnika u trajanju od 1000 sati pri salinitetu od 10 kg/m³.

Glede štetnog utjecaja vlage, smatra se da je najrealniji način ispitivanja kvalitete brtvljenja odvodnika, njihovo ispitivanje u vodi.

4.2. Suvremeni pristup određivanju karakteristika odvodnika prenapona

Izbor trajnog radnog napona, kao i nazivnog napona MO odvodnika prenapona, određuje se pomoću procedure koja se može naći u katalozima proizvođača ili u materijalu radne grupe 33 CIGRE, a potanko je opisana u [6]. Pri izboru nazivne struje postoje dvije mogućnosti odabira: 5 kA i 10 kA (izuzetno za teške uvjete postoji mogućnost izbora 20 kA nazivne struje). Kod metaloksidnih odvodnika prenapona razlika u cijeni između 5 kA i 10 kA odvodnika jest malena (10—15%), tako da se s obzirom na nesumnjive prednosti 10 kA odvodnika (veća apsorbcija energije, niži preostali napon itd.) može preporučiti gotovo u potpunosti njihovo korištenje.

Dimenzioniranje odvodnika prenapona sastoji se u odabiru broja MO blokova odnosno njihova dijametra. Ovdje će se opisati način dimenzioniranja MO odvodnika prenapona prema francuskim preporukama. Po toj metodologiji, osim uobičajene provjere odvodnika na privremene prenapone, nužno je provesti i provjeru s obzirom na atmosferske prenapone. To je novost s obzirom na našu dosadašnju praksu, koja je uvedena u francusku metodologiju zbog mogućnosti udara gromova u neposrednoj blizini odvodnika. Takva situacija rezultira izrazito visokim udarnim strujama, odnosno energijama prilikom prorade odvodnika. Ispitivanje odvodnika na atmosferska naprezanja provodi se prema shemi na sl. 1.



Slika 1.

Energija razvijena u odvodniku prolaskom vala 4/10 μs intenziteta 40 kA iznosi približno 29 kJ [7], odnosno 52 kJ za amplitudu 65 kA. Ista je studija [7] pokazala da, uzimajući u obzir statističku raspodjelu amplituda i trajanja hrpta struja groma, vjerojatnost da energija groma nadmaši 29 kJ iznosi 35%, odnosno 18% za 52 kJ.

Ova su razmatranja potrebna da bi se pri odabiru odvodnika prenapona moglo opredijeliti za tip odvodnika s obzirom na udarnu struju 4/10 μs amplitude 40 ili 65 kA, dakako, ako proizvođači ponude takvu alternativu uz identične ostale značajke.

Da bi se odabrao tip odvodnika s obzirom na dopuštenu udarnu struju 4/10 μs, potrebno je obaviti proračun vjerojatnosti kvara za slučaj direktnog udarca groma u trafostanicu, odnosno u njezinu neposrednu blizinu. Koristeći se elektrogeometrijskim modelom [8], dobiva se sljedeći izraz za broj udaraca groma na dijelu voda u godini dana:

$$N_l = \frac{N_i}{4} \times H^{0.53} \times \frac{l}{100},$$

gdje je:

N_i — izokeraunički nivo područja;
l — dio razmatranog voda u km;
H — visina voda u metrima.

U literaturi se obično za bliski udarac groma od trafostanice uzima 100 m, pa se za slučaj prosječnog izokeraunačkog nivoa N_i u Hrvatskoj od 28/dana god. te visinu H od 10 m dobiva:

$N_l = 0.0237$ direktnih udara/god., TS.

Vjerojatnost uništenja odvodnika s obzirom na mogućnost da energija groma nadmaši 29 odnosno 52 kJ (uz pretpostavku da se struja dijeli na tri dijela, dakle preskok na sve tri faze) iznosi 0.00276 za odvodnike 40 kA (4/10 μs), odnosno 0.00142 za 65 kA (4/10 μs) odvodnike.

U Hrvatskoj je instalirano otprilike 13 000 nadzemnih TS 10(20)/0.4 kV, što bi uz pretpostavku da su svugdje instalirani odvodnici iznosilo 39 000 odvodnika. Proračun tada daje:

— 107 uništenja/godinu za odvodnike dimenzionirane za 40 kA

— 55 uništenja/godinu za odvodnike dimenzionirane za 65 kA.

Taj je proračun ilustrativno pokazao metodologiju dimenzioniranja metaloksidnih odvodnika prenapona. Na teritoriju Hrvatske izokeraunički nivo kreće se od 15 pa sve do 50 dana godišnje (područje Primorja). Izbor odvodnika prenapona je, dakle, vezan za određenu zonu, što bi značilo da je za područja s izokerauničkim nivoom koji iznosi oko 25 potrebno instalirati odvodnik tipske udarne struje od barem 65 kA. U izuzetno eksponiranim regijama ($N_i > 40$) potrebno je instalirati odvodnike koji podnose udarne struje od 100 kA (4/10 μs). Povoljna je okolnost što danas većina proizvođača nudi takve odvodnike kao standardno rješenje [5].

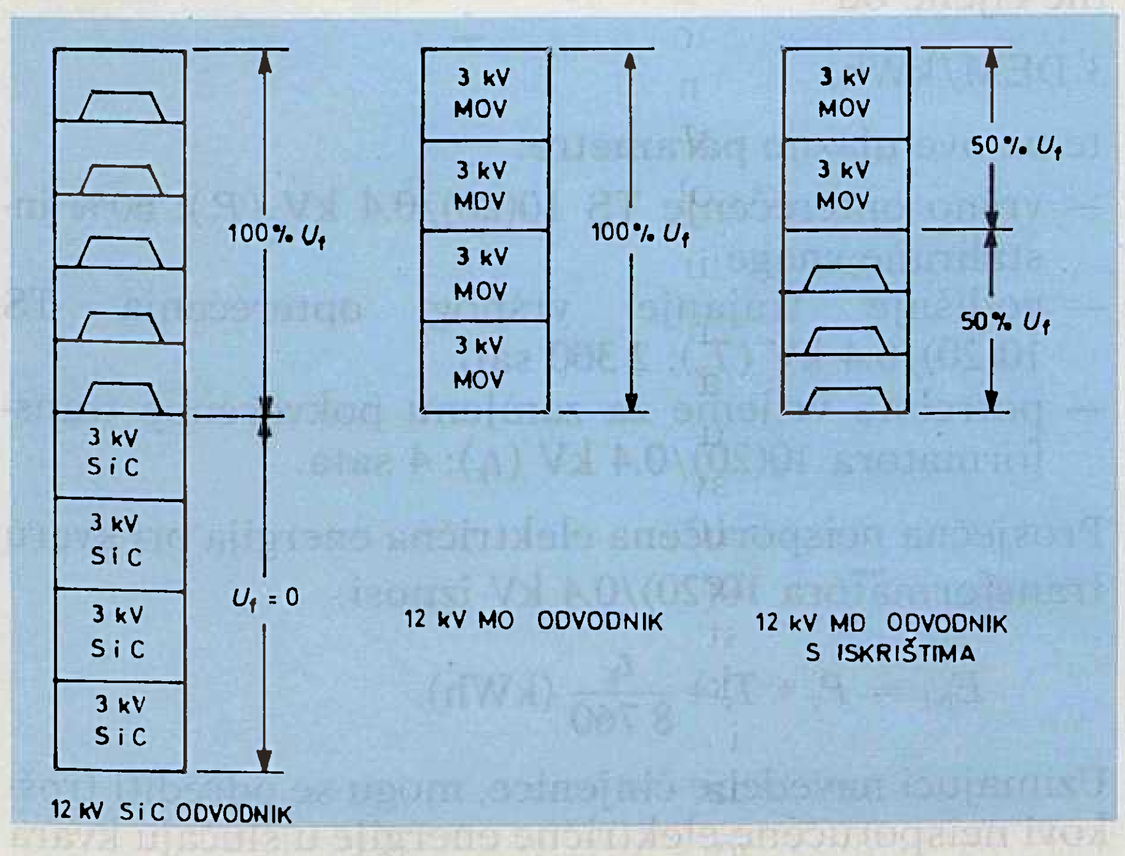
4.3. Metaloksidni odvodnici prenapona s ugrađenim iskrištima

U ovom poglavlju predstavit će se novo tehnološko rješenje izvedbe metaloksidnih (MO) odvodnika prenapona koje je opisano u [9]. Navedeno rješenje temelji se na serijskoj kombinaciji metaloksidnih varistora i elemenata s ugrađenim iskrištima. Ti elementi realiziraju se pomoću prstenova s nelinearnom karakteristikom, a koji su sastavljeni od silicij-karbida (SiC) i paralelnih iskrišta.
Razmatrani MO odvodnici s ugrađenim iskrištima posjeduju mnoge prednosti pred standardnim MO odvodnicima, kao što su:
— niži preostali napon
— veća izdržljivost na privremene prenapone
— bolja izdržljivost pri odvođenju velikih struja.

Navedene prednosti objasnit će se u daljnjem tekstu, uzimajući u obzir tri moguća pogonska stanja — normalan pogon, pojava privremenih prenapona i pojava atmosferskih prenapona.

Normalni pogon

U uvjetima normalnoga pogonskog stanja odvodnik prenapona nalazi se pod faznim naponom koji je proporcionalno raspodijeljen na iskrišta i metaloksidne varistore (sl. 2).

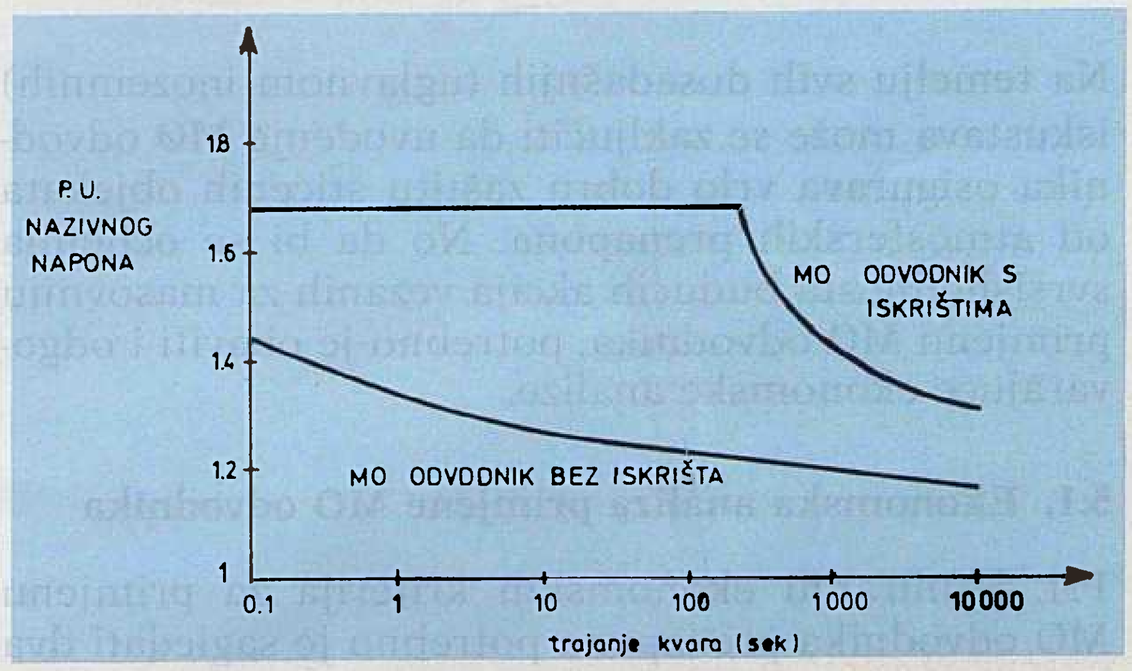


Slika 2.

Upravo ta raspodjela napona čini osnovnu razliku u odnosu prema dosadašnjoj tehnologiji. Kod klasičnih (SiC) odvodnika konstrukcija je takva da je u normalnom pogonu sav napon na iskrištima. Raspodjela napona na iskrišta i SiC blokove ne dolazi u obzir jer bi tada došlo do velikih gubitaka i termičke nestabilnosti odvodnika. S druge strane, standardni se MO odvodnici u normalnom pogonu stalno nalaze pod naponom.
Budući da se kod razmatrane nove tehnologije MO odvodnika koristi samo nekoliko ugrađenih iskrišta, ne postoje ozbiljni problemi s vanjskim zagađenjem kao kod klasičnih (SiC) odvodnika.

Pogon tijekom trajanja privremenih prenapona

Zahvaljujući bitno različitim nelinearnim karakteristikama metaloksidnih varistora i silicijkarbidnih elemenata, MO odvodnici s ugrađenim iskrištima veoma su »otporni« na privremene prenapone. Pri porastu napona na odvodniku napon na iskrištima raste brže nego na metaloksidnim varistorima. To je uvjetovano manjom nelinearnošću SiC prstenova u odnosu prema varistorima. Prema tome, s porastom napona veći dio napona raspoređuje se na iskrišta, a manji dio ostaje na varistorima.



Slika 3.

Na sl. 3. uspoređena je izdržljivost standardnih MO odvodnika, te MO odvodnika s ugrađenim iskrištima na privremene prenapone.

Pogon prilikom odvođenja atmosferskih prenapona

MO odvodnici prenapona sa ugrađenim iskrištima imaju bitno niži preostali napon, kako u odnosu na klasične (SiC) odvodnike, tako standardne MO odvodnike. Navedena činjenica vrijedi za sve struje odvođenja, te impulsne oblike. Primjera radi, u idućoj tablici dane su karakteristične veličine za tri izvedbe odvodnika nazivnog napona 9 kV [9].

Izvedba odvodnika	Preostali napon (kV) kod struje 10 kA	Preostali napon prema SiC odvod. (%)
SiC odvodnik	35	100
MO odvodnik	30	86
MO odvodnik s iskrištima	20	57

Kao što se vidi, preostali napon kod MO odvodnika s ugrađenim iskrištima izrazito je manji nego kod drugih izvedaba. Osim toga, treba napomenuti da kod navedene tehnologije nema opasnosti od oštećenja iskrišta zbog popratnih struja 50 Hz, kao kod SiC odvodnika. Metaloksidni varistori ne dopuštaju pojavu velikih popratnih struja nakon prorade odvodnika. Maksimalne očekivane struje iznose oko 5 A, pa zbog toga nema opasnosti od oštećenja iskrišta.

Iz navedenog opisa razabiru se velike prednosti nove tehnologije zasnovane na kombinaciji metaloksidnih varistora i iskrišta. Posebno treba upozoriti na mogućnost produženja životne dobi štićenih objekata zbog bitno nižih preostalih napona na razmatranim odvodnicima.

S druge strane, valja upozoriti da je riječ o tehnološkom rješenju koje će se morati još verificirati u eksploataciji. Tek nakon dobivanja pogonskih iskustava iz inozemstva i svestrane analize svih karakteristika opisanih odvodnika dolazi u obzir učestalija primjena.

5. TEHNOEKONOMSKI OSVRT NA PRIMJENU MO ODVODNIKA PRENAPONA U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA

Na temelju svih dosadašnjih (uglavnom inozemnih) iskustava može se zaključiti da uvođenje MO odvodnika osigurava vrlo dobru zaštitu štićenih objekata od atmosferskih prenapona. No da bi se ocijenila svrsishodnosta budućih akcija vezanih za masovniju primjenu MO odvodnika, potrebno je obaviti i odgovarajuće ekonomske analize.

5.1. Ekonomska analiza primjene MO odvodnika

Pri definiranju ekonomskih kriterija za primjenu MO odvodnika prenapona potrebno je sagledati dva aspekta:

a) štete na opremi distribucijskih postrojenja uzrokovane atmosferskim prenaponima,
b) štete zbog neisporučene električne energije pri kvarovima postrojenja uzrokovanih atmosferskim prenaponima.

Podrobnija analiza kriterija (a) izvršena je u [6]. Na temelju analize jednoga karakterističnog područja (»Elektroprimorje« Rijeka) utvrđeno je da najveće štete na opremi nastaju u mreži 35 kV, i to uglavnom na transformatorima 35/10 kV. Štete u 10(20) kV mreži znatno su manje, ali nisu zanemarive.

Odnosi troškova za prenaponsku zaštitu i vrijednosti štićene opreme ovise kako o cijeni odvodnika prenapona, tako o stvarnoj vrijednosti opreme. Zbog toga će se ovdje izložiti samo orijentacijske veličine za neke tipične slučajeve, preuzete iz [6].

Detaljniji proračuni pokazali bi da se udio cijene MO odvodnika u cijeni ukupnoga štićenog objekta nalazi u granicama **0.8...2 %** kod TS 35/10 kV. Udio cijene MO odvodnika u odnosu prema cijeni (novih) transformatora 35/10 kV nalazi se u granicama **2.5...5 %**.

Vrsta štićenog postrojenja	Udio troškova prenaponske zaštite u odnosu na:	
	štićeni objekt	transformatore
TS 35/10 kV, izvangradska, 2 × 4 MVA	0.9%	3.7%
TS 10/0.4 kV, stupna, 1 × 160 kVA	2.2%	7.5%

Dakako, viši udjeli odnose se na jeftinije TS 35/10 kV, odnosno transformatore 35/10 kV.

Na temelju izloženih veličina i raspoloživih podataka o štetama na objektima 35 kV mreže može se zaključiti da je za izgradnju novih TS 35/10 kV apsolutno opravdana ugradnja MO odvodnika prenapona. Isti zaključak vrijedi i za postojeće TS 35/10 kV koje su priključene na nadzemnu mrežu za koje se preporuča zamjena starih (SiC) odvodnika modernim MO odvodnicima prenapona.

Kod TS 10(20)/0.4 kV odluka je nešto složenija. Udio cijene MO odvodnika u cijeni stupne TS 10(20)/0.4 kV nalazi se u granicama **2...2.5 %**. Udio cijene MO odvodnika u odnosu prema cijeni (novih) transformatora 10(20)/0.4 kV u granicama je **5.3...15 %** (varirani su transformatori nazivne snage 50 kVA...250 kVA). Kao što se vidi, udjeli cijene prenaponske zaštite u ovom su slučaju viši nego kod TS 35/10 kV; osim toga, riječ je o višestruko većem broju štićenih objekata kod kojih su prisutne relativno manje štete nego u TS 35/10 kV. Zbog toga je provedeno dopunsko istraživanje u kojem su procijenjeni troškovi neisporučene električne energije zbog kvarova na transformatorima 10(20)/0.4 kV. Pri tome je osnovni problem u tome što u Hrvatskoj nisu definirani troškovi neisporučene električne energije, kao što se to radi u većini zemalja. Zbog toga je analiza učinjena na temelju dostupnih podataka iz literature, po kojima navedeni troškovi za **kućanstva** iznose:

— Norveška: 4.5 DEM/kWh
— Australija: 2.3 DEM/kWh
— Španjolska: 3.7 DEM/kWh
— Francuska: 4.0 DEM/kWh

Daljnji proračun izršeni su uz korištenje ekvivalentne cijene od

3 DEM/kWh,

te uz ove ulazne parametre:

— vršno opterećenje TS 10(20)/0.4 kV (P_v): 60% instalirane snage
— godišnje trajanje vršnog opterećenja TS 10(20)/0.4 kV (T_v): 2 300 sati
— potrebno vrijeme za zamjenu pokvarenog transformatora 10(20)/0.4 kV (t_k): 4 sata.

Prosječna neisporučena električna energija pri kvaru transformatora 10(20)/0.4 kV iznosi:

$$E_{NI} = P_v * T_v * \frac{t_k}{8\,760} \text{ (kWh)}.$$

Uzimajući navedene činjenice, mogu se odrediti troškovi neisporučene električne energije u slučaju kvara različitih transformatora 10(20)/0.4 kV:

Nazivna snaga transformatora	Trošak neisporučene električne energije po kvaru
50 kVA	96 DEM
100 kVA	192 DEM
160 kVA	307 DEM
250 kVA	480 DEM

Na temelju dobivenih rezultata određuju se približni omjeri troškova prenaponske zaštite i troškova neisporučene električne energije za razne transformatore:

Nazivna snaga transformatora	Omjer cijene prenaponske zaštite i troškova neisporučene energije
50 kVA	7.3
100 kVA	3.6
160 kVA	2.3
250 kVA	1.5

Kao što se vidi, kod transformatora male nazivne snage cijena prenaponske zaštite »pokriva« se nakon 7 kvarova; dok je kod transformatora snage 250 kVA to slučaj već nakon 2 kvara.

Izloženi rezultati upućuju na moguću strategiju primjene MO odvodnika kod TS 10(20)/0.4 kV:

- Za izgradnju novih TS 10(20)/0.4 kV opravdana je ugradnja MO odvodnika prenapona, a osobito u područjima visokog izokerauničkog nivoa
- Kod postojećih TS 10(20)/0.4 kV nazivne snage transformatora 50 i 100 kVA nije nužna zamjena sadašnje prenaponske zaštite MO odvodnicima, osim u slučajevima čestih oštećenja opreme zbog atmosferskih prenapona.
- Kod postojećih TS 10(20)/0.4 kV nazivne snage transformatora veće od 100 kVA preporučuje se postupna zamjena sadašnje prenaponske zaštite novim MO odvodnicima.

Dakako, sve izložene preporuke o zaštiti elektroenergetskih postojenja od atmosferskih prenapona odnose se na postrojenja uključena u nadzemnu mrežu.

5.2. Procjena potreba za MO odvodnicima prenapona

Na osnovi ekonomske analize iz prethodne točke te podataka o izgrađenosti distribucijske mreže u Hrvatskoj može se izvršiti procjena potrebnih količina MO odvodnika prenapona za poboljšanje zaštite TS 35/10 i TS 10(20)/0.4 kV od atmosferskih prenapona. Kao što je rečeno, brza zamjena postojeće prenaponske zaštite MO odvodnicima prenapona preporučuje se prije svega u:

- TS 35/10 kV priključenim na nadzemnu mrežu
- TS 10(20)/0.4 kV priključenim na nadzemnu mrežu s ugrađenim transformatorima veće snage od 100 kVA.

Na temelju analize dostupnih podataka dobivene su sljedeće veličine koje se odnose na čitavu distribucijsku mrežu Hrvatske:

- broj TS 35/10 kV priključenih na nadzemnu mrežu: 270 kom.
- broj TS 10(20)/0.4 kV priključenih na nadzemnu mrežu: 13 000 kom.
- broj TS 10(20)/0.4 kV priključenih na nadzemnu mrežu s ugrađenim transformatorima snage veće od 100 kVA: 4 100 kom.

Potreban broj MO odvodnika prenapona može se procijeniti iz navedenih podataka:

TS 35/10 kV

- MO odvodnici za zaštitu postrojenja 35 kV: 400 – 450 slogova
- MO odvodnici za zaštitu postrojenja 10 kV: 900 – 1 200 slogova.

TS 10(20)/0.4 kV

- MO odvodnici na 10(20) strani TS: 4100 – 4 500 slogova.

Potpuno točan podatak o potrebnim slogovima (1 slog = 3 odvodnika) teško je odrediti ovakvom globalnom analizom, jer on, između ostalog, ovisi o shemama TS 35/10 kV i načinu priključka TS 10(20)/0.4 kV na nadzemnu mrežu (izravno ili preko kabela).

6. ZAKLJUČAK

U članku je ukratko opisana dosadašnja praksa u primjeni prenaponske zaštite u distribucijskim mrežama razvijenih europskih zemalja — Francuske, Italije i Njemačke. Bez obzira na donekle različita koncepcijska rješenja može se zaključiti da je u tim mrežama ostvarena bitno bolja zaštita nego u našim mrežama. Osnovni uređaj za zaštitu postrojenja od atmosferskih prenapona danas je **metaloksidni (MO) odvodnik prenapona.** U svijetu je prisutna tendencija zamjene postojećih klasičnih (SiC) odvodnika te zaštitnih iskrišta suvremenim MO odvodnicima.
Suvremene tendencije u razvoju MO odvodnika prikazane su u poglavlju 4. ovog rada. Očito je da se u budućnosti mogu očekivati daljnja tehnološka unapređenja.
Na kraju je dan tehnoekonomski osvrt na primjenu MO odvodnika prenapona za zaštitu distribucijskih postrojenja. Iz iznesenih računica vidi se opravdanost ugradnje MO odvodnika ne samo kod novih elektroenergetskih objekata, nego i kod postojećih postrojenja.

LITERATURA

[1] MEMO edition, EDF Pariz, 1992.
[2] DELEPLACE P., GAIN E. i ost.; »La nouvelle politique de mise en oeuvre des parafoudres sur les reseaux de distribution d'EDF«, RGE, No. 11, 1988
[3] BARGIGIA A., BOATTO C., »Application of arresters on ENEL distribution networks — Present situation and future trends«, RGE, No. 11., 1988
[4] HEISS W., WECK K. i ost., »Surge arresters in German medium voltage power supply systems: selection and service experience«, RGE, No. 11, 1988

[5] MIKLI N., WISEMAN G. i ost., »Metaloksidni odvodnici prenapona sa kućištem od umjetne mase« (prijevod), Elektrizitatswirtschaft, 92, 1993

[6] HRS I., KOMEN V., ILIJANIĆ V., »Tehnoekonomska opravdanost uvođenja metaloksidnih odvodnika prenapona u distributivne mreže«, IE Zagreb, 1982

[7] ROUSSEAU A., »Determination des contraintes de foudre sur les parafoudres a oxyde de sinc pour reseaux a moyenne tension«, EDF, 1986

[8] GARY C. i ost., »Les proprietes dielectriques del'air et les tres hautes tensions,« knjiga, Eyroles, Pariz, 1984

[9] GONZALES D., BONNER J., GONZALES D., »Benefits of gapped MOV arrester to improve system« reliability and extend equipment life, CIRED, 1994

[10] BALZER G., »Application of arresters in distribution networks«, 21st ICLP, Berlin, 1992

CURRENT TRENDS IN DEVELOPMENT OF DISTRIBUTION STATIONS' OVERVOLTAGE PROTECTION

In this paper, experiences of overvoltage protection application in some European countries are worked out. Current trends in the development of overvoltage arresters are also shown. At the end, technical and economical analysis of MO overvoltage arresters application in the distribution networks is given.

MODERNE TENDENZEN IN DER ENTWICKLUNG DES VORSPANNUNGSSCHUTZES DER DISTRIBUTIONSANLAGEN

Im Artikel werden die Erfahrungen mit der Anwendung des Vorspannungsschutzes in einigen europäischen Ländern bearbeitet. Es werden auch die modernen Trends in der Entwicklung der Ableiter der Vorspannung geschildert. Am Ende gibt man einen technoökonomischen Rückblick der Rechtfertigung der Anwendung der MO Ableiter der Vorspannung in Distributionsnetzen.

Naslov pisaca:

Dr. Milan Puharić, dipl. ing.
Dr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d. Zagreb
41000 Zagreb, Avenija Vukovar 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 01 – 12.

MOGUĆNOST TOČNIJEG ODREĐIVANJA SIMETRIČNIH KOMPONENTI I POKAZATELJA NESIMETRIČNOSTI NAPONA I STRUJA TROFAZNOG SUSTAVA

Dr. Ivan Šimatović, Zabok

UDK 621.3.02:621.316.1
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Obrađeni su pokazatelji nesimetričnosti napona trofaznog sustava koji se određuju iz simetričnih komponenti ili najvećeg odstupanja od srednje vrijednosti linijskog napona. Razrađen je algoritam izjednačenja pogrešaka izmjerenih faznih i linijskih napona kojim se određuju usklađeni iznosi napona vektorskog dijagrama. Iz usklađenih napona računaju se fazni pomaci, a zatim simetrične komponente i pokazatelji nesimetričnosti. Zbog jednostavnosti i visoke točnosti metoda je zanimljiva za elektroprivredu, industriju, rudarstvo, brodarstvo te ispitne stanice i laboratorije.

Ključne riječi: nesimetričnost napona, nesimetričnost struja, pokazatelji nesimetričnosti, izjednačenje pogrešaka.

1. UVOD

Do nesimetričnosti napona i struja trofaznog sustava može doći zbog sljedećih skupina uzroka:
— nesimetrija u mreži
— nesimetrija tereta.

U prvu skupinu ulaze:

— nesimetričnosti izvora napona
— nejednakosti faznih impedancija
— transformatori u spoju Yy.

U drugu skupinu uzroka mogu se svrstati:

— jednofazni linearni i nelinearni tereti (*električna vuča, elektrolučne peći, tiristorski uređaji)*
— nesimetrični trofazni tereti
— pregorjeli osigurači kondenzatorskih baterija
— jednopolni i dvopolni kvarovi u mreži i instalacijama.

Svaka dugotrajnija naponska nesimetričnost ometa rad trofaznih trošila, a posebice električnih strojeva. Stoga treba nastojati da u trofaznim mrežama na koje su priključeni elektromotori ne dođe do nedopuštene nesimetričnosti napona tijekom vremena duljeg od 15 minuta ili trajno.
Simetričnost trofaznih izvora napona ima presudnu važnost također za ispitne stanice i laboratorije, jer u protivnom pri ispitivanju električnih strojeva i transformatora može doći do neželjenih utjecaja i znatnih sistematskih pogrešaka.

2. POKAZATELJI NESIMETRIČNOSTI NAPONA PREMA IEC standardu

U suvremenoj elektrotehničkoj regulativi utemeljenoj na **IEC-u** nesimetričnost napona i struja trofaznog sustava iskazuje se prema [1] na temelju simetričnih komponenti osnovnog vala sljedećim pokazateljima:

$$\delta_i = \frac{U_i}{U_d} 100\,\%, \qquad \delta_i = \frac{I_i}{I_d} 100\,\% \tag{1}$$

$$\delta_o = \frac{U_o}{U_d} 100\,\%, \qquad \delta_o = \frac{I_o}{I_d} 100\,\% \tag{2}$$

Pokazatelj nesimetričnosti δ_i iskazuje postotnu zastupljenost inverzne komponente, a pokazatelj neuravnoteženosti δ_o nulte komponente u odnosu prema direktnoj komponenti faznog napona ili struje. Oba su pokazatelja tehnički ispravno definirana, ali nisu pogodni za širu primjenu jer se zasnivaju na simetričnim komponentama koje je moguće izmjeriti samo posebnom i vrlo skupom mjernom opremom nedostupnom širem krugu stručnjaka u privredi.

3. POKAZATELJ NESIMETRIČNOSTI NAPONA PREMA NEMA standardu

Prema **NEMA standardu** [2] pokazatelj nesimetričnosti napona za osnovni val računa se iz najvećeg odstupanja linijskog napona ΔU_M prema srednjoj vrijednosti U_{sr} izrazom

$$\delta_{iN} = \frac{\Delta U_M}{U_{sr}} 100\,\% \tag{3}$$

u kojem se ΔU_M i U_{sr} određuju na sljedeći način:

$$\Delta U_M = \max\{|U_{12} - U_{sr}|, |U_{13} - U_{sr}| U_{23} - U_{sr}|\} \tag{4}$$

$$U_{sr} = \frac{U_{12} + U_{13} + U_{23}}{3}. \tag{5}$$

Ta definicija pokazatelja nesimetričnosti napona temelji se na činjenici da jednakostraničnost trokuta

linijskih napona može narušiti jedino inverzna komponenta, dok ga nulta komponenta napona samo translatira. To je iskustvena definicija koja nije fizikalno posve ispravno postavljena, ali je zato vrlo praktična i rasprostranjena u primjeni, jer se veličine ΔU_M i U_{sr} mogu jednostavno izračunati na temelju vjerodostojno izmjerenih vrijednosti linijskih napona na određenom mjestu mreže ili na priključnim stezaljkama električnih strojeva.

4. USPOREDBA IEC I NEMA POKAZATELJA NESIMETRIČNOSTI

Treba naglasiti da **IEC i NEMA** definicije pokazatelja nesimetričnosti nisu ekvivalentne. Prva se zasniva na simetričnim komponentama, a druga na najvećem odstupanju linijskog napona od aritmetičke srednje vrijednosti. Prema **NEMA** izrazu (3) dobivaju se uz istovjetne naponske prilike redovito nešto niže vrijednosti δ_i (cca 2 – 5 %) nego prema **IEC** izrazu (1). To znači da je **IEC** definicija nešto stroža. Da ne bi bilo nedoumice u iskazivanju i usporedbi podataka, treba uvijek navesti prema kojem standardu je određen δ_i. Pojedini nacionalni standardi još nisu usklađeni ni po načinu računanja pokazatelja nesimetričnosti ni po dopuštenim iznosima za δ_i. Tako se, primjerice, prema **IEC-u** dopušta trajna nesimetričnost napona na motorima 2 %, a prema **NEMA-i** samo 1 %. Za sinkrone generatore dopuštene vrijednosti pokazatelja nesimetričnosti struje znatno su veće i kreću se kod većine standarda u rasponu od 5 % do 10 %.

Do donošenja odgovarajuće **Hrvatske norme** može se glede definicije nesimetričnosti prihvatiti kriterij (1) prema **IEC standardu**, a s obzirom na dopušteni iznos također preuzeti vrijednost od 2 % kao trajnu granicu ukupne nesimetričnosti napona na stezaljkama motora.

Zbog neizbježnih pogrešaka pri mjerenju iznosa i faznih pomaka napona vektormetrom ili nekom drugom prikladnom metodom, uobičajenim grafičkim ili računskim postupcima vrlo je teško postići zadovoljavajuću točnost određivanja simetričnih komponenti napona uz tako nisko dopuštene vrijednosti δ_i. Osim toga, mjerna oprema koja se koristi za tu namjenu specifična je i nije dostupna širem krugu stručnjaka u privredi. Stoga je potrebno naći prikladniju, ali vjerodostojnu alternativnu metodu određivanja simetričnih komponenata koja se oslanja samo na jednostavno, nešto točnije mjerenje faznih i linijskih napona. Time bi primjena **IEC standarda** na području ispitivanja i provjere simetričnosti napona i struja bila dostupna vrlo širokom krugu zainteresiranih stručnjaka, posebice onim koji rade u operativi, bez ulaganja u složenu i skupu mjernu opremu.

4.1. Primjer određivanja δ_{iN}

Na sabirnicama niskonaponskog razvoda jedne industrijske TS 10/0.4 kV izmjereni su univerzalnim instrumentom klase 2,5 sljedeći fazni i linijski naponi:

$$U_1 = 224\ \text{V}, \quad U_2 = 224\ \text{V}, \quad U_3 = 224\ \text{V}$$
$$U_{12} = 375\ \text{V}, \quad U_{13} = 405\ \text{V}, \quad U_{23} = 375\ \text{V}.$$

Srednja vrijednost linijskog napona jest

$$U_{sr} = \frac{375 + 405 + 375}{3} = 385\ \text{V}.$$

Najveće odstupanje linijskog napona od srednje vrijednosti prema (4) iznosi

$$\Delta U_M = \max\{|375 - 385|, |405 - 385|, |375 - 385|\} = \max\{10, 20, 10\} = 20\ \text{V}.$$

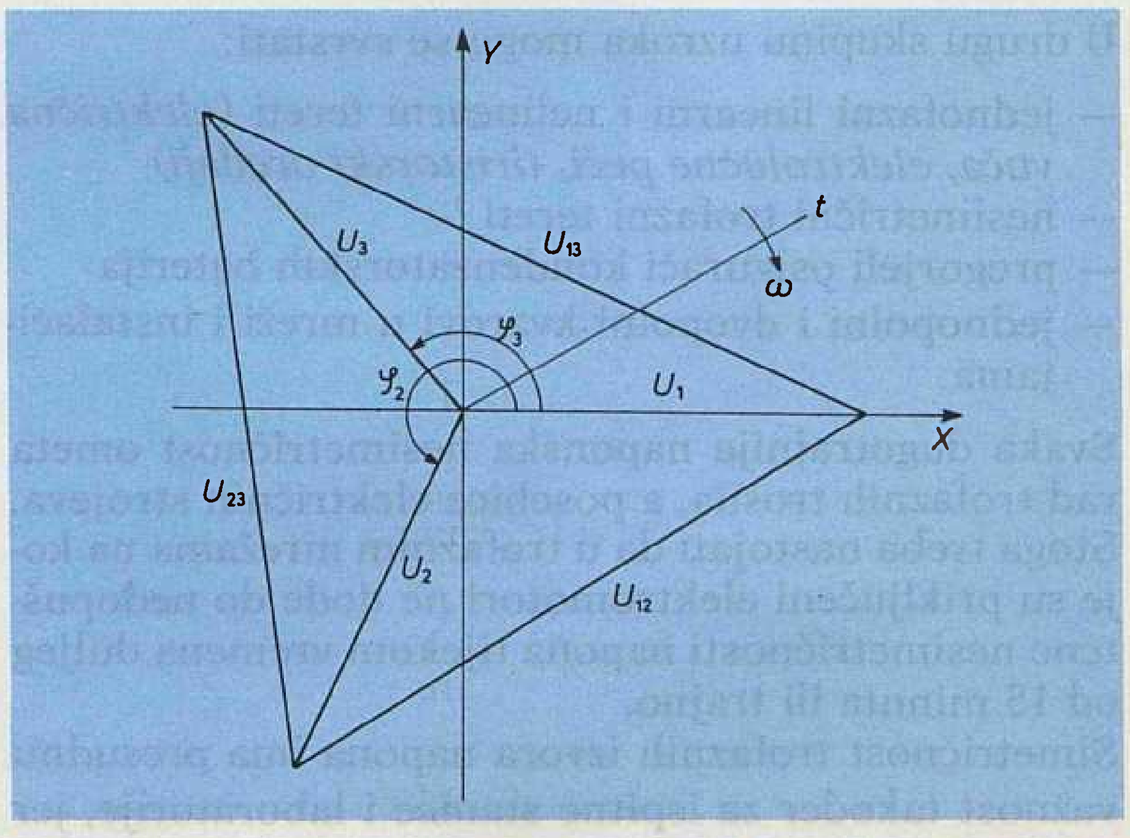
Pokazatelj nesimetričnosti napona prema **NEMA standardu** iznosi

$$\delta_{iN} = \frac{20}{385}\,100\,\% = 5{,}20\,\% > \textbf{dopuštenih 1 \%}.$$

Obrada tog primjera u skladu s **IEC standardom** dana je u tablici 1.

5. RAČUN IZJEDNAČENJA POGREŠAKA PRI MJERENJU FAZNIH I LINIJSKIH NAPONA

Fazni pomaci φ_2 i φ_3 vektora napona U_2 i U_3 prema referentnom naponu U_1, koji su nužni za proračun simetričnih komponenata, mogu se jednostavno odrediti iz vektorskoga dijagrama što ga tvore fazni i linijski naponi trofaznog sustava prikazani slikom 1. Da bi taj račun, koji je obrađen u poglavlju 6, bio jednoznačan i vjerodostojan, trebaju biti poznati točni iznosi svih napona. Izravnim mjerenjima zbog ograničene točnosti opreme, promjena napona tijekom mjerenja te niza ostalih neobuhvatljivih sistematskih i slučajnih utjecaja to nije ostvarivo. Zbog toga nije moguće s izmjerenim vrijednostima faznih i linijskih napona sastaviti skladan vektorski dijagram.



Slika 1. Vektorski dijagram faznih i linijskih napona

Izmjereni fazni naponi bit će preveliki ili premaleni da bi se točno poklopili s vrhovima trokuta linijskih napona, pa vektorski dijagram neće biti skladan. Optimalne popravljene vrijednosti svih napona koji tvore skladan vektorski dijagram mogu se odrediti na priznati način računom izjednačenja pogrešaka po metodi najmanjih kvadrata prema [3] i [4] (str. 28 – 36). U tu svrhu se vektori faznih i linijskih napo-

na mogu zamisliti kao bridovi tetraedra neznatne visine. Kvadrat njegova volumena može se prema [5] (str. 26) izračunati iz poznate dužine bridova razvojem simetrične determinante

$$V^2 = \frac{1}{288} \begin{vmatrix} 0 & U_1^2 & U_2^2 & U_3^2 & 1 \\ U_1^2 & 0 & U_{12}^2 & U_{13}^2 & 1 \\ U_2^2 & U_{12}^2 & 0 & U_{23}^2 & 1 \\ U_3^2 & U_{13}^2 & U_{23}^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}. \qquad (6)$$

Pri točnom mjerenju napona svi bridovi tetraedra bili bi komplanarni, pa mora biti zadovoljen uvjet $V^2 = 0$. Time je dobivena uvjetna jednadžba za račun izjednačenja pogrešaka po modelu uvjetnih opažanja. Uz izmjerene vrijednosti faznih i linijskih napona opterećene pogreškama može biti:

$V^2 > 0$ — ako su fazni naponi preveliki u odnosu na linijske,

$V^2 < 0$ — ako su fazni naponi premali u odnosu na linijske.

U oba slučaja nije moguće sastaviti skladan vektorski dijagram ($V^2 = 0$), pa vrijedi popravkom ω dopunjena uvjetna jednadžba

$$V^2 + \omega = 0. \qquad (7)$$

Iz nje se iterativnim postupkom mogu izračunati usklađene vrijednosti faznih i linijskih napona na sljedeći način:

1. Odrede se parcijalne derivacije uvjetne jednadžbe (6) po svim mjerenim naponima:

$$f_i = \frac{\partial V^2}{\partial U_i}, \qquad i = 1,2,3,12,13,23.$$

2. Izračunaju se vrijednosti svih parcijalnih derivacija f_i i iznos pripadnog V^2 za izmjerene vrijednosti napona U_i:

$$a_i = f_i\,(U_1, U_2, U_3, U_{12}, U_{13}, U_{23}), \quad i = 1,2,3,12,13,23$$
$$V = f_i\,(U_1, U_2, U_3, U_{12}, U_{13}, U_{23}) = -\omega.$$

3. Izračuna se korelata k koja uz pretpostavljenu jednaku težinu mjerenja faznih i linijskih napona iznosi:

$$k = -\frac{V^2}{\sum_i a_i^2}, \qquad i = 1,2,3,12,13,23.$$

4. Popravci faznih i linijskih napona iznose:

$$v_i = a_i \cdot k, \quad i = 1,2,3,12,13,23.$$

5. Popravljene vrijednosti faznih i linijskih napona jesu:

$$U_i' = U_i + v_i, \quad i = 1,2,3,12,13,23$$

6. Izračuna se pomoćna veličina p radi provjere postizanja zadane točnosti proračuna popravaka:

$$P = \sum_i \left| \frac{v_i}{U_i'} \right|, \quad i = 1,2,3,12,13,23.$$

7. Postupak se ponavlja od točke 2 uz popravljene vrijednosti napona U_i' sve dok se ne zadovolji zadana točnost proračuna prema kriteriju

$p \leq 6 \cdot 10^{-6}$ ($\leq 0{,}001$‰ po U_i),

što se redovito postiže već nakon dvije do četiri iteracije.

8. Na temelju konačnih usklađenih vrijednosti svih faznih i linijskih napona U_i' izračuna se srednja kvadratna pogreška jednog mjerenja napona prema izrazu

$$m = \sqrt{\frac{1}{r} \sum_i (U_i - U_i')^2}, \quad i = 1,2,3,12,13,23,$$

u kojem je r broj uvjetnih jednadžbi. Za taj algoritam je $r = 1$ jer je korišten samo jedan uvjet.

Srednja kvadratna pogreška daje uvid u točnost mjerenja faznih i linijskih napona, a izrazito ovisi o:

— klasi točnosti mjernog instrumenta
— promjenama napona tijekom mjerenja
— udjelu viših harmonika u faznim i linijskim naponima
— iskustvu i pažljivosti mjeritelja
— neobuhvatljivim utjecajima okolice.

6. ODREĐIVANJE FAZNIH POMAKA I SIMETRIČNIH KOMPONENTI NAPONA

Iz konačnih popravljenih vrijednosti faznih i linijskih napona U_i' koji tvore skladan vektorski dijagram, mogu se vrlo točno izračunati po kosinusovu poučku fazni pomaci φ_2 i φ_3 vektora napona U_2' i U_3' prema referentnom vektoru napona U_1' izrazima:

$$\varphi_2 = 2\pi - \arccos \frac{U_1'^2 + U_2'^2 - U_{12}'^2}{2 \cdot U_1' \cdot U_2'}, \qquad (8)$$

$$\varphi_3 = \arccos \frac{U_1'^2 + U_3'^2 - U_{13}'^2}{2 \cdot U_1' \cdot U_3'}, \qquad (9)$$

Usklađeni vektori faznih napona mogu se prikazati kompleksnim brojevima u eksponencijalnom obliku:

$$U_1 = U_1', \; U_2 = U_2' \cdot e^{j\varphi 2}, \; U_3 = U_3' \cdot e^{j\varphi 3}. \qquad (10)$$

Pripadne simetrične komponente faznih napona određuju se prema [6] (str. 34 – 37) kompleksnim izrazima:

$$U_d = \frac{1}{3} \cdot (U_1 + a \cdot U_2 + a^2 \cdot U_3) \qquad (11)$$

$$U_i = \frac{1}{3} \cdot (U_1 + a^2 \cdot U_2 + a \cdot U_3) \qquad (12)$$

$$U_o = \frac{1}{3} \cdot (U_1 + U_2 + U_3) \qquad (13)$$

u kojima je $a = e^{j2\pi/3}$ oznaka operatora rotacije. Iznosi simetričnih komponenti potrebni za iskazivanje pokazatelja nesimetričnosti i neuravnoteženosti napona jesu:

$$U_d = |U_d|, \qquad U_i = |U_i|, \qquad U_o = |U_o|. \qquad (14)$$

Prikazani postupak izjednačenja pogrešaka izmjerenih faznih i linijskih napona te proračun simetričnih komponenti i pokazatelja nesimetričnosti u biti je jednostavan i lako se isprogramira na računalu vrlo skromnih mogućnosti. U tablici 1. i 2. dani su karakteristični primjeri obrade mjerenja faznih i linijskih napona u obliku **izvješća o ispitivanju.**

Tablica 1.

HEP — DP Elektra Zabok
Mjerenje i zaštita

Izvješće br. 17/91 — Analiza simetričnosti trofaznog sustava napona

Konzum: TS 10/(20)/0.4 kV keramika I.
NN razvod
Mjerio: Bratković I. Mjereno: 1991 – 03 – 18
Dan u tjednu: ponedjeljak Vrijeme: 09. 23
Obradio: Črnjević D. Obrađeno: 1991 – 03 – 19

Napon	Izmjerena vrijednost (V)	Optimalna popravka (V)	Popravljena vrijednost (V)	Fazni pomak
L1 – N	224.0	–0.97	223.03	0°
L2 – N	224.0	–0.81	223.19	245.41°
L3 – N	224.0	–0.97	223.03	130.83°
L1 – L2	375.0	+0.47	375.47	—
L1 – L3	405.0	+0.61	405.61	—
L2 – L3	375.0	+0.47	375.47	—

Srednja kvadratna pogreška pojedinačnog mjerenja	1.83 V	
Direktna komponenta zvijezde napona U_d u L1	222.42 V	/ 5.41°
Inverzna komponenta zvijezde napona U_i u L1	11.76 V	/ 305.41°
Nulta komponenta zvijezde napona U_o u L1, L2, L3	12.53 V	/ 245.41°
Indeks nesimetričnosti:		
$100 \cdot U_i / U_d$ — IEC	5.29%	
$100 \cdot \Delta U_M / U_{sr}$ — NEMA	5.21%	
Indeks neuravnoteženosti		
$100 \cdot U_o / U_d$	5.64%	

Zaključak: Trofazni sustav napona NIJE simetričan prema standardu IEC 34 – 1 jer je indeks nesimetričnosti veći od 2%

Mjerio ..... Obradio .....

Tablica 2.

HEP — DP Elektra Zabok
Mjerenje i zaštita

Izvješće br. 18/91 — Analiza simetričnosti trofaznog sustava napona

Konzum: TS 10/0.4 kV Hum Zabočki
strujni krug GRDENCI — kuća br. 71c
Mjerio: Črnjević D. Mjereno: 1991 – 07 – 04
Dan u tjednu: četvrtak Vrijeme: 13. 41
Obradio: Črnjević D. Obrađeno: 1991 – 07 – 05

Napon	Izmjerena vrijednost (V)	Optimalna popravka (V)	Popravljena vrijednost (V)	Fazni pomak
L1 – N	233.0	+0.53	233.53	0°
L2 – N	217.0	+0.55	217.55	237.43°
L3 – N	242.0	+0.52	242.52	116.90°
L1 – L2	396.0	–0.33	395.67	—
L1 – L3	406.0	–0.29	405.71	—
L2 – L3	400.0	–0.32	399.68	—

Srednja kvadratna pogreška pojedinačnog mjerenja	1.07 V	
Direktna komponenta zvijezde napona U_d u L1	231.13 V	/ 358.11°
Inverzna komponenta zvijezde napona U_i u L1	3.37 V	/ 274.90°
Nulta komponenta zvijezde napona U_o u L1, L2, L3	11.20 V	/ 78.50°
Indeks nesimetričnosti:		
$100 \cdot U_i / U_d$ — IEC	1.46%	
$100 \cdot \Delta U_M / U_{sr}$ — NEMA	1.34%	
Indeks neuravnoteženosti		
$100 \cdot U_o / U_d$	4.85%	

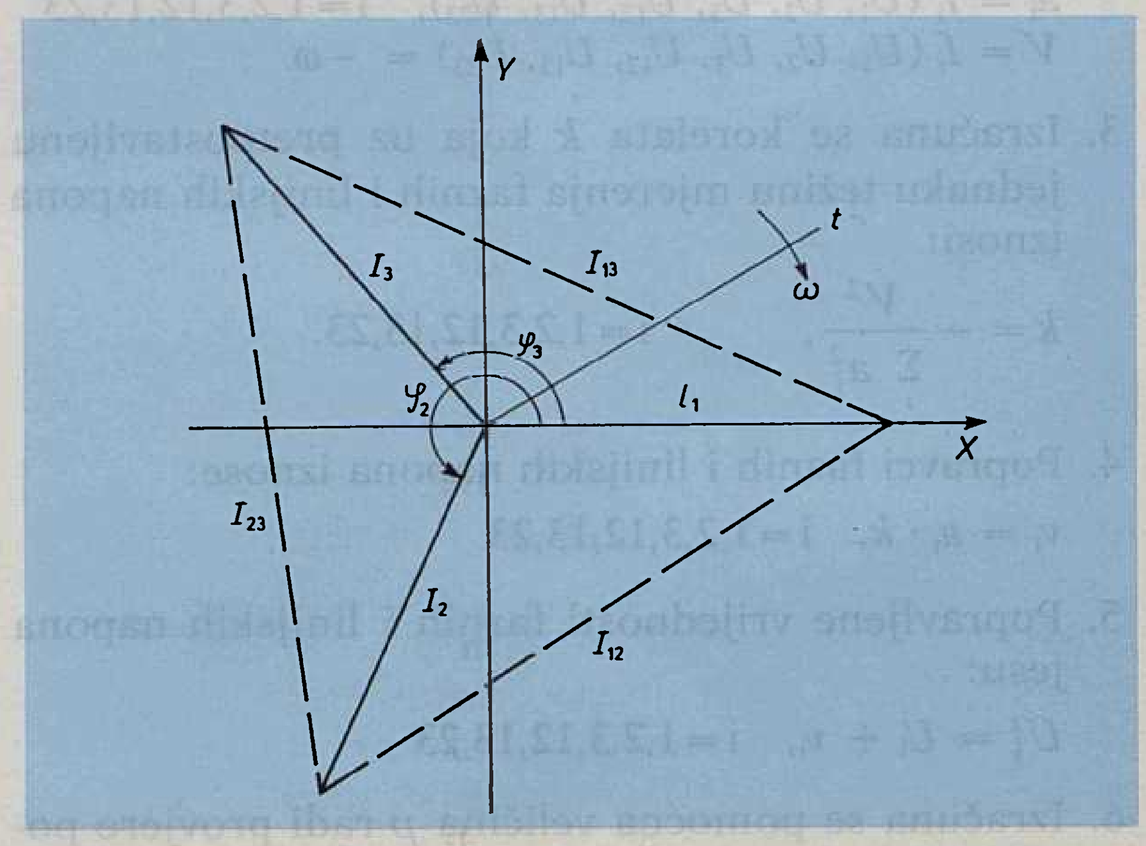
Zaključak: Trofazni sustav napona JE simetričan prema standardu IEC 34 – 1 jer je indeks nesimetričnosti manji od 2%

Mjerio ..... Obradio .....

7. ODREĐIVANJE FAZNIH POMAKA I SIMETRIČNIH KOMPONENTI STRUJA

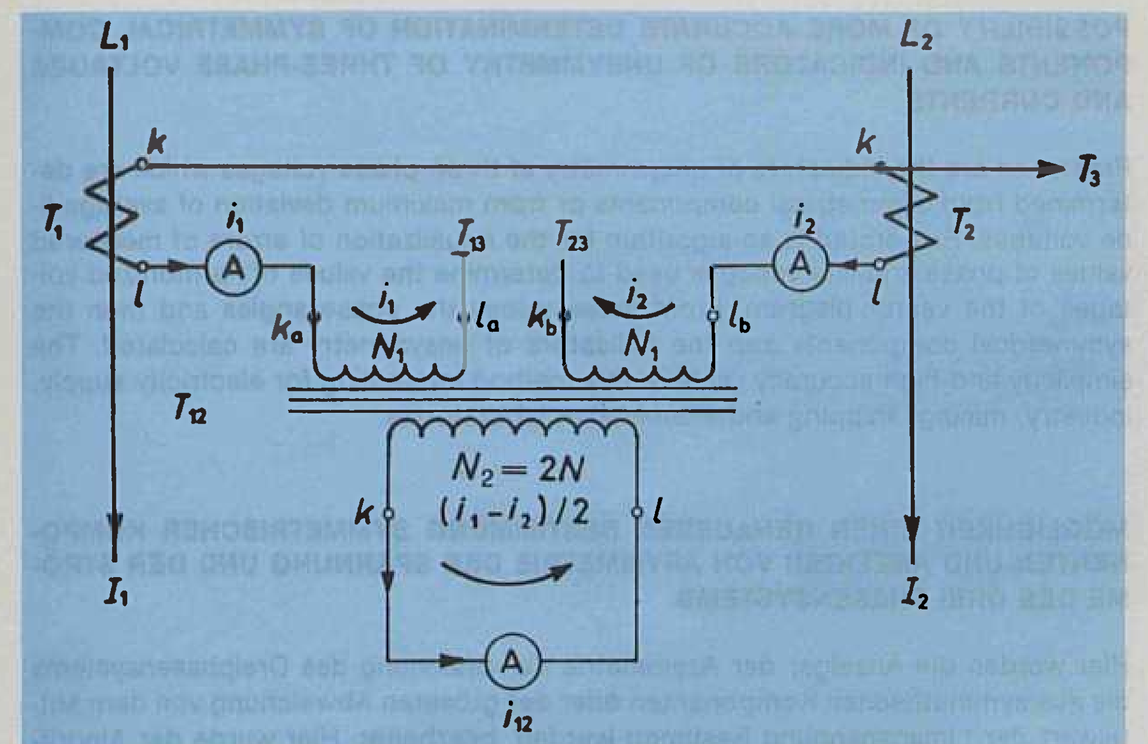
Određivanje faznih pomaka i simetričnih komponenti struja trofaznog sustava moguće je u osnovi na istovjetan način kao i pri naponima. U tu svrhu potrebno je zvijezdu primarnih faznih struja I_1, I_2 i I_3 dopuniti trokutom »linijskih struja« I_{12}, I_{13} i I_{23} kako bi se dobio cjelovit strujni vektorski dijagram prema slici 2, koji omogućuje proračun usklađenih vrijednosti svih struja izjednačenjem pogrešaka mjerenja po metodi najmanjih kvadrata.

Te struje, za razliku od linijskih napona, nemaju nikakav tehnički smisao, već su samo pomoćne veličine za potrebe algoritma izjednačenja pogrešaka. Stoga su na vektorskom dijagramu prikazane isprekidanom crtom. One se mogu izmjeriti slogom od tri strujna transformatora (T12, T13, T23) uključena u sekundarne krugove glavnih strujnih transformatora (T1, T2, T3). Na isti način mogu se odrediti, uz nešto veću mjernu nesigurnost, također sve fazne i linijske struje u mrežama bez povratnog vodiča u kojima se često ugrađuju samo dva strujna mjerna transformatora (*faze* [1] *i* [3]).



Slika 2. Vektorski dijagram faznih i pomoćnih linijskih struja

Pomoćni strujni transformatori imaju dva jednaka primarna namota sa po N_1 zavoja, u koje se sekundarne fazne struje dovode na protivne strane, te sekundarni namot s $N_2 = 2 \cdot N_1$ zavoja (slika 3). Prijenosni omjer im je, ovisno o sekundarnoj nazivnoj



Slika 3. Načelo mjerenja pomoćnih linijskih struja

struji glavnih strujnih transformatora, (10+10)/5A ili (2+2)/1A, kako bi se za mjerenje linijskih struja, koje su teorijski $\sqrt{3}$ puta veće, mogli iskoristiti ampermetri uobičajenoga mjernog opsega 5(6)A ili 1(1,2)A.

Budući da su amperzavoji faznih struja u primarnim namotima pomoćnih strujnih transformatora (T12, T13, T23) protivni, vrijede, uz zanemarenje neznatne struje magnetiziranja, sljedeće jednadže ravnoteže:

$$N_1 \cdot (i_1 - i_2) = N_2 \cdot i_{12} - \text{za T12} \quad (15)$$

$$N_1 \cdot (i_1 - i_3) = N_2 \cdot i_{13} - \text{za T13} \quad (16)$$

$$N_1 \cdot (i_2 - i_3) = N_2 \cdot i_{23} - \text{za T23.} \quad (17)$$

Na sekundarnim namotima tih transformatora dobivaju se stoga pomoćne linijske struje kao vektorske razlike dviju faznih struja.

Sekundarne iznose svih faznih i pomoćnih linijskih struja treba prije obrade preračunati na primarnu stranu. Da bi se smanjile pogreške mjerenja linijskih struja (*dvostruko neizravno mjerenje*), poželjno je da su pomoćni strujni transformatori izvedeni u klasi točnosti minimalno 0,2.

8. UVJETNE JEDNADŽBE ZA IZJEDNAČENJE POGREŠAKA PRI MJERENJU STRUJA TROFAZNOG SUSTAVA

Račun izjednačenja pogrešaka pri mjerenju struja u osnovi je isti kao i pri mjerenju napona, ali treba, prema potrebi, prihvatiti neke specifičnosti mreže dodatnim uvjetima.

U mrežama s povratnim vodičem (*NN mreže*) uvijek je moguća nulta komponenta struje, pa se uz osnovnu uvjetnu jednadžbu $V^2 = 0$, kojom se zahtijeva komplanarnost vektora faznih i pomoćnih linijskih struja, ne postavljaju nikakvi dodatni uvjeti. Stoga je cijeli proračun istovjetan kao i za napone (*poglavlja 5. i 6*).

U mrežama bez povratnog vodiča (*neuzemljene i uzemljene VN mreže*), u kojima u normalnim okolnostima nulta komponenta struje nije moguća ili je zanemariva, uz osnovnu uvjetnu jednadžbu $V^2 = 0$ postavlja se još sljedeći dodatni uvjet u kompleksnom obliku:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 3 \cdot I_0 = 0, \quad (18)$$

koji se za potrebe računa izjednačenja pogrešaka nadomješta dvama ekvivalentnim skalarnim uvjetima (*projekcije I_o na osi X i Y*):

$$3 \cdot I_{ox} = I_1 + I_2 \cdot \cos \varphi_2 + I_3 \cdot \cos \varphi_3 = 0 \quad (19)$$

$$3 \cdot I_{oy} = I_3 \cdot \sin \varphi_3 + I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 0. \quad (20)$$

Tako postavljenim dodatnim uvjetima uklanjaju se moguće neželjene posljedice pogrešaka pri mjerenju struja, koje mogu u obradi podataka dovesti do formalnog utvrđivanje nulte komponente I_o koja stvarno ne postoji. Time se dobiva korektan algoritam izjednačenja pogrešaka, prilagođen naravi mreže bez povratnog vodiča, koji je u startu nešto složeniji od algoritma prikazanog u poglavlju 5, jer sadrži tri uvjetne jednadžbe. Sažeti pregled uvjetnih jednadžbi za navedene tipove mreža dan je tablično.

Vrsta mreže	Nulta struja	Uvjetne jednadžbe strujnog dijagrama
mreža sa povratnim vodičem	$\lvert I_o \rvert > 0$	$V^2 = 0, \quad r = 1$
mreža bez povratnog vodiča	$\lvert I_o \rvert = 0$	$V^2 = 0$ $I_{ox} = 0, \quad r = 3$ $I_{oy} = 0$

9. ZAKLJUČAK

Prikazana metoda izjednačenja pogrešaka pri mjerenju faznih i linijskih napona te struja trofaznog sustava po metodi najmanjih kvadrata u biti je vrlo jednostavna i vjerodostojna. Ona može znatno unaprijediti postojeću praksu na području mjerenja napona i struja trofaznog sustava, a posebice određivanje simetričnih komponenti te pokazatelja nesimetričnosti u skladu s **IEC i NEMA standardom,** jer se temelji na usklađenim vrijednostima napona i struja, koje izravnim mjerenjima zbog neminovnih pogrešaka nije moguće odrediti. Zbog toga se pri određivanju pokazatelja nesimetričnosti napona po **NEMA standardu** također preporučuje mjeriti fazne napone kako bi se izjednačenjem pogrešaka po metodi najmanjih kvadrata dobile vjerodostojne usklađene vrijednosti linijskih napona. Stoga ta metoda omogućuje pouzdanu analizu i pri vrlo malim nesimetričnostima napona i struja po definicijama obaju standarda.

To je učinkovita i dalekosežna softverska metoda koja ne zahtijeva skupocjenu mjernu opremu i složeni mjerni postupak, već se oslanja isključivo na nešto točnija rutinska mjerenja napona i struje. Čitav algoritam, iako na prvi pogled djeluje složeno, u osnovi je jednostavan, pa se može lako isprogramirati i na računalu vrlo skromnih mogućnosti. Opisana metoda stoga je pristupačna najširem krugu stručnjaka, a posebice operativcima.

Na toj softverskoj metodi mogu se razviti i izraditi elektronički mjerni uređaji s mikroprocesorom i disketnom jedinicom za zapis podataka koji se po potrebi mogu dalje analizirati na računalu, kao i digitalni

uređaji nadstrujne i nadnaponske signalizacije i zaštite od inverzne komponente.
Zbog navedenoga ta je alternativna metoda podjednako prihvatljiva za određivanje simetričnih komponenti i provjeru nesimetričnosti napona i struja u:

— mrežama i postrojenjima elektroprivrede svih naponskih razina
— industrijskim, rudarskim i brodskim mrežama
— trofaznim mrežama iz kojih se napaja monofazna ili istosmjerna vuča
— elektroprivrednim i industrijskim elektranama
— ispitnim stanicama i laboratorijima
— znanstvenoistraživačkim institucijama.

LITERATURA

[1] IEC Publication 34 – 1

[2] NEMA Standard MG1 – 14.34

[3] V. BEGO, »Račun izjednačenja pogrešaka pri mjerenju faznih i linijskih napona trofaznog sistema«, »Elektrotehnika« 2/1972., SEITH Zagreb

[4] V. BEGO, »Mjerna tehnika-pogreške električnih mjerenja«, Sveučilište u Zagrebu, 1966.

[5] D. BLANUŠA, »Viša matematika I/2«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1965.

[6] H. POŽAR, »Visokonaponska rasklopna postrojenja«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1978.

POSSIBILITY OF MORE ACCURATE DETERMINATION OF SYMMETRICAL COMPONENTS AND INDICATORS OF UNSYMMETRY OF THREE-PHASE VOLTAGES AND CURRENTS

Presented are the indicators of unsymmetry of three-phase voltages which are determined from symmetrical components or from maximum deviation of average line voltages. Elaborated is an algorithm for the equalization of errors of measured values of phase and line voltages used to determine the values of harmonized voltages of the vector diagram. From these values the phase angles and then the symmetrical components and the indicators of unsymmetry are calculated. The simplicity and high accuracy renders this method interesting for electricity supply, industry, mining, shipping and examination laboratories.

MÖGLICHKEIT EINER GENAUEREN BESTIMMUNG SYMMETRISCHER KOMPONENTEN UND ANZEIGER VON ASYMMETRIE DER SPANNUNG UND DER STRÖME DES DREI PHASENSYSTEMS

Hier werden die Anzeiger der Asymmetrie der Spannung des Dreiphasensystems die aus symmetrischen Komponenten oder der grössten Abweichung von dem Mittelwert der Linienspannung bestimmt werden, bearbeitet. Hier wurde der Algorithmus der Angleichung der Fehler der gemessenen Phasen und Linienspannungen mit denen die angeglichenen Werte der Spannung des Vektordiagramms bestimmt werden, ausgearbeitet. Aus den angegblichenen Phasen Spannungen werden Phasenabweichungen berechnet, sowie symmetrische Komponenten und die Anzeiger der Asymmetrie. Wegen der Einfachheit und grosser Genauigkeit ist die Methode für die Elektrowirtschaft, Industrie, den Bergbau, Schiffsbau sowie die Prüfstationen und Laboratorien interessant.

Naslov pisca:

Dr. Ivan Šimatović, dipl. ing. el.
HEP — DP »Elektra – Zabok«
41210 Zabok, Ul. Matije Gupca 57, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993 – 12 – 14.

HIDRAULIČKI TRANSPORT UGLJENE PULPE

Bojan Abramović, Zagreb

UDK 621.311.22:662.87
PREGLEDNI ČLANAK

U članku je dan prikaz suvremenog stanja i razvoja hidrauličnog transporta ugljena na veće udaljenosti. Ukratko su izneseni razlozi primjene, te prednosti i nedostaci ovog načina transporta. Navedeni su postojeći i planirani projekti u svijetu. Opisana je tehnologija transporta i tehnologija pripreme za izgaranje ugljena transportiranog hidrauličkim putem. Na osnovi toga procijenjena je perspektiva i mogućnost njegove primjene u Hrvatskoj elektroprivredi.

Ključne riječi: ugljena pulpa, ugljena suspenzija, stabilnost pulpe, pseudohomogeni režim strujanja.

1. UVOD

Prva razmatranja o uporabi vode u sustavu transporta ugljena datiraju iz prošlog stoljeća. Ideja se osnivala na tome da se sitno samljeveni ugljen transportira vodom, kao »nosiocem«, cjevovodom do odredišta, da bi se na kraju transportnog puta odvojila kruta od tekuće faze. Voda se zatim bistri i ispušta ili vraća na početak (ovisno o eventualnoj isplativosti, tj. postojećim zalihama vode i dužini transportnog puta). U početku se hidrotransport primjenjivao na vrlo kratke udaljenosti (uglavnom u sklopu postrojenja za pripremu goriva pri samom rudniku), da bi njegova primjena za transport ugljena na dužim relacijama bila ostvarena tek nakon drugoga svjetskog rata. Razloge tome treba tražiti, između ostaloga, i u postojanju drugih transportnih mogućnosti na danim relacijama. No s vremenom su se stekli uvjeti u kojima su prednosti ovog načina transporta dolazile sve više do izražaja.

Sve veći zahtjevi tržišta, dakle stalno povećanje količina transportiranog ugljena kao i transportnih distanci rezultiralo je porastom frekvencije prometa, a samim time i zagušenjem postojećih prometnica. Troškovi konvencionalnih transportnih sredstava neprestano rastu, mijenjaju se odnosi cijena različitih pogonskih energija, a donose se i sve oštriji propisi iz područja ekologije. Sve to, kao i intenzivan razvoj (u zadnjih desetak godina) tehnologije izgaranja mješavina ugljena prašine i vode (tzv. ugljenih suspenzija) dovodi do povećanog zanimanja za ovaj način transporta.

S vremenom se spoznalo da potrebna veličina čestica samljevenog ugljena, kao i odnos kruto/tekuće, ovise u prvom redu o reološkim svojstvima mješavine (karakteristikama strujanja) i namjeni transportiranog ugljena. Ako kao produkt želimo »suhi« ugljen, postoji potreba odvajanja krute faze od tekuće i, gledano s tog stajališta, povoljnije je da su čestice ugljena što krupnije. No s povećanjem veličine čestica smanjuje se maksimalno dopušten (sa stajališta reologije) odnos kruto/tekuće. Iskustva su pokazala da je za gornju granicu krupnoće zrna 1,19 mm, optimalni odnos kruto/tekuće 50:50%. Pri tome se, kao i u daljnjem dijelu članka, misli na maseni odnos. Takva kašasta masa zove se ugljena pulpa i predstavlja poluprerađeni proizvod koji sadrži samljevene, ali neraspadnute čestice ugljena.

2. HIDRAULIČKI TRANSPORT UGLJENE PULPE

Termin »ugljena pulpa« treba razlikovati od termina »ugljena suspenzija« pod kojim se razumijeva mješavina ugljene prašine i vode s većom koncentracijom mikroskopski sitnih čestica ugljena. Takve 70–80%-tne suspenzije (pri tome se također misli na maseni odnos) direktno izgaraju u ložištu. Međutim, suspenzija kao gorivo ima veću perspektivu u procesima rasplinjavanja (Texaco, Dow), jer ova tehnologija, koja se intenzivno razvija u posljednjih 15–20 godina, pruža niz prednosti u odnosu prema potpunom izgaranju.

Cjevovodni sustavi za transport ugljene pulpe na veće udaljenosti pokazali su se tamo gdje su primijenjeni ne samo konkurentnim, nego i uspješnijim od ostalih načina transporta, i to zahvaljujući sljedećim svojim prednostima koje su u novim uvjetima bivale sve značajnije:

- relativno niski investicijski i pogonski troškovi
- kontinuirani i mehanizirani, tj. potpuno automatizirani utovar i istovar, odnosno cjelokupni pogon
- visoka pouzdanost sustava
- mogućnost velikog kapaciteta
- najmanja podložnost efektima inflacije
- velika prilagodljivost terenskim prilikama i neosjetljivost na klimatske faktore (uključujući vrlo niske temperature uz neke jednostavne mjere)
- jednostavnost projekta, izgradnje i eksploatacije
- u usporedbi s klasičnim načinima transporta ug-

ljena (kamionski, željeznica...) utjecaj cjevovodnog transporta na okoliš manje je štetan.

Dakako, potrebno je spomenuti i nedostatke hidrauličkog transporta ugljene pulpe koji su usporavali (više ili manje) njegov razvoj:

- boravak ugljena u vodi može rezultirati u međusobnim reakcijama čiji utjecaj na kemijski sastav i ugljena i vode raste s vremenom trajanja transporta
- potreba odvajanja vode iz ugljena na kraju transportnog puta
- zadržavanjem dijela vlage u ugljenu (i nakon procesa razdvajanja krute od tekuće faze) smanjuje se njegova ogrjevna moć
- potreba za velikim količinama slatke, tehničke vode
- optimalni način transporta (optimalna brzina, odnos solid/voda) je unutar malih promjena kapaciteta i stoga je cjevovodni transport manje prilagodljiv, u odnosu na kamionski, željeznički i pomorski, u pogledu promjenjivosti kapaciteta, kao i destinacije (odredišta)
- problem otpadnih voda.

Niz faktora, kao i prethodno spomenute prednosti i mane znatno utječu na razvoj i primjenu ovog načina transporta. Danas se u svijetu mnogo projekata nalazi u raznim fazama planiranja/izgradnje. Osnovu za to pružaju opsežna eksperimentalna istraživanja, ali i dosadašnja iskustva, odnosno dosadašnja komercijalna primjena takvih sustava. Najstariji hidraulički sustav za transport ugljena izrađen je 1952. godine na relaciji Merlebach – St. Avold (Francuska). Zapravo, tijekom vremena instalirano je nekoliko cjevovoda čiji je radni vijek bio 6 – 8 godina. Do kraja 1981. godine ukupno je transportirano 19.9 Mt ugljena. Daljnji razvoj ovih sustava tekao je u smjeru povećanja kapaciteta i transportne udaljenosti, što je i razumljivo jer su time spomenute prednosti dolazile u potpunosti do izražaja. U tablici 1. dani su postojeći i planirani cjevovodi za transport ugljena na duge udaljenosti [1].

Prvi projekt hidrauličkog transporta ugljena na duže udaljenosti — OHIO Pipeline (SAD) bio je u pogonu od 1957. do 1963. god. Cjevovod je izgrađen za potrebe termoelektrane EASTLAKE, i to zbog ucjenjivačkog odnosa željeznice. Sustav je radio uspješno i jeftinije, tako da je željeznica snizila cijenu ispod cijene

Tablica 1. Cjevovodni sustavi za transport ugljena

Cjevovod	Država	Kapacitet Mt/god.	Dužina km	Promjer m	Medij	Status
MERLEBACH — ST. AVOLD	Francuska	1.5	9	0.4	pulpa	u pogonu
OHIO	SAD	1.2	174	0.25	pulpa	konzerviran
BLACK MESA	SAD	4.4	439	0.45/0.3	pulpa	u pogonu
ETSI	SAD	26	2 250	0.96/1.06	pulpa	planiran
COAL STREAM	SAD	25-40	2 400	0.91	pulpa	projektiran
SNAKE RIVER	SAD	14	1 770	0.4/0.66	pulpa	projektiran
VIRGINIA	SAD	4.5	600-750	0.48/1.09	pulpa	projektiran
POWDER RIVER	SAD	35	3 100	1.06	pulpa	projektiran
ALTON (ukupno): — CIJEV 1 — CIJEV 2	SAD SAD SAD	10.5 2.3 8.2	— 117 294	— 0.3/0.22 0.55/0.5	pulpa pulpa pulpa	projektiran projektiran projektiran
TEXAS EASTERN	SAD	20-25	2 050	0.91	pulpa	projektiran
SAN MARCO	SAD	9	1 440	0.6	pulpa	projektiran
PACIFIC BULK COMMOD.	SAD	9	1 046	0.66	pulpa	projektiran
LOVERIDGE MINE	SAD	n.p.	308	0.3	pulpa	u pogonu
ALBERTA-BRITISH COLUMB.	Kanada	10.2	1 016	0.61	pulpa	planiran
KATOWICA-BRNO--LINZ	Poljska-Austrija	5	380	n.p.	pulpa	planiran
SIBIR	bivši SSSR	5	256	0.508	suspenzija	u pogonu
KUZBAS-URAL	bivši SSSR	16.5	3 700	0.965/0.9	pulpa	planiran
ZHUNGER	Kina	30	850	0.71	pulpa	projektiran
za TE Xincheng/TE Dagang	Kina	3.6/2	500/820	n.p.	suspenzija	planiran
DHANBAD-BHATINDA	Indija	26	1 000	n.p.	pulpa	planiran

hidrotransporta i izbacila ga iz uporabe. Zbog osiguranja od eventualnog novog ucjenjivanja željeznice, postrojenje je konzervirano i zadržano u funkcionalnom stanju, tako da se, prema potrebi, može vrlo brzo staviti ponovno u pogon. Tijekom pogonskog razdoblja ukupno je transportirano 6,4 Mt kamenog ugljena maksimalne granulacije 1.168 mm (16 – 20% < 0,044 mm). Za svladavanje ukupne udaljenosti bile su potrebne tri crpne stanice, od kojih je jedna bila rezervna.

Cjevovodom Black Mesa (također u SAD) transportira se kameni ugljen iz rudnika sa zapadnih padina Stijenjaka (Rocky Mountains) do termoelektrane Mohave u Nevadi. To je najduži cjevovod (439 km, 4 crpne stanice) za transport ugljene pulpe na svijetu u eksploataciji. Izgrađen je 1970. godine i do danas je u pogonu. Iako je projektiran za 4,8 Mt/god., sustav je prosječno radio s 80%-tnim kapacitetom. Unatoč određenim pogonskim problemima može se reći da je cjevovod Black-Mesa pouzdan i efikasan sustav transporta ugljena.

Evidentno je da se u razvoj ove tehnologije transporta najviše ulagalo (i ulaže) u SAD. Osim cjevovoda danih u tablici 1, projektiran je niz drugih sustava za transport ugljena cjevovodnim putem na udaljenosti dužoj od 1 000 km, kapaciteta i do 40 Mt/god. Tako, je na primjer, za cjevovod Powder River projektom predviđen transport 35 Mt/god. na udaljenost 3 100 km. Najveće prepreke koje za sada koče komercijalnu primjenu projektiranih sustava u SAD su nedovoljne zalihe vode i željeznica. Ona iz straha da ne izgubi dogovorene i buduće poslove onemogućava razvoj cjevovodnog transporta ugljena, i u tome zahvaljujući sklopljenim ugovorima i utjecaju koji ima, djelomično uspijeva.

Manje impresivni glede kapaciteta i udaljenosti jesu planirani cjevovodi za transport ugljena u Europi. Osim sustava kojim bi se transportirao ugljen iz središta poljskog ugljenog rudarstva Katowica do Linza (Austrija), nekoliko drugih projekata (Francuska, Njemačka, Nizozemska) nalazi se u raznim fazama planiranja/izgradnje.

Interes za cjevovodni transport ugljena pokazuje i nekoliko zemalja Azije (Kina, Japan, Indija, bivši SSSR). Za potrebe termoelektrane u Novosibirsku izgrađen je 1988. godine cjevovod kojim se transportira približno 5 Mt ugljene suspenzije godišnje na udaljenost 256 km. To je prvi cjevovodni sustav u svijetu izgrađen za transport mješavine koja izravno izgara u ložištu. Za sada se u svijetu planiraju još dva takva sustava (vidjeti tablicu 1). U bivšem Sovjetskom Savezu postoji i nekoliko sustava hidrauličkog transporta ugljene pulpe (uglavnom kraće udaljenosti) s niskom koncentracijom (< 20%) krupno mljevenog ugljena (< 50 mm).

Danas u svijetu pojedine zemlje razvijaju i sustave cjevovodnog transporta krupno mljevenog ugljena na duže udaljenosti. Osim toga, razmatraju se rješenja transporta gusto-faznih pulpi (čestice ugljena veličine do 20 mm u suspenziji ugljena i vode), te zamjena vode drugim »nosiocima«, kao na primjer tekući CO_2, etanol tekući prirodni plin, morska voda (ugljen se pakira u plastične vreće i kapsule) itd. Međutim, spomenuta nova rješenja za sada imaju više teorijska nego praktična značenja.

2.1. Tehnologija transporta

Svaki sustav za transport ugljene pulpe sastoji se od slijedećih komponenti:

— postrojenje za pripremu pulpe
— objekti skladištenja (pulpe i ugljena)
— crpne stanice
— cjevovod
— postrojenje za razdvajanje krute od tekuće faze.

Stupanj složenosti opreme sustava, odnosno svake pojedine komponente ovisi, između ostaloga, i o namjeni transportiranog ugljena, transportnoj udaljenosti, tipu ugljena, kapacitetu, zahtjevima zaštite okoliša, traženoj kvaliteti pulpe i dr.

2.1.1. *Priprema ugljene pulpe*

Iskustva su pokazala da isplativost ulaganja energije u pulpu radi poboljšanja svojstava strujanja, odnosno smanjenja otpora strujanja raste s povećanjem transportne udaljenosti. Tako će nužna priprema ugljena za hidraulički transport biti relativno jednostavna za kraće udaljenosti (na primjer u sklopu postrojenja radnika), dok će se važnost i složenost pripreme povećavati kako se povećava transportna udaljenost, tj. kako rastu zahtjevi za boljim reološkim svojstvima pulpe. Budući da je najvažniji aspekt prilikom projektiranja zaštita od mehaničkog blokiranja sustava (zbog nataloženih čestica ugljena), reološka svojstva pulpe (kao i uvjeti strujanja) trebaju održavati gibanje čestica cijelom dužinom cijevi. Da bi ta problematika bila što jasnija, potrebno je objasniti neke pojmove vezane za kvalitetu pulpe.

a) Stabilnost ugljene pulpe

To je vrlo bitno svojstvo kako za sami transport, tako i za skladištenje. Pod stabilnom pulpom razumijeva se takva mješavina u kojoj ne nastupa taloženje čestica ugljena neovisno o tome je li sustav u pogonu. Stabilnost pulpe ovisi prije svega o raspodjeli veličina čestica, koncentraciji ugljena, temperaturi i vrsti dodanih aditiva tzv. stabilizatora.

b) Raspodjela veličina čestica

Raspodjela veličine čestica jest parametar koji ima vrlo velik utjecaj na kvalitetu pulpe. Veći postotak sitnijih čestica znači stabilniju pulpu i smanjeni intenzitet habanja stijenke cijevi i dijelova ostale opreme koja dolazi u izravan kontakt s pulpom. No sitnija granulacija ugljena ujedno povećava viskozitet pulpe i čini postupak razdvajanja krute od tekuće faze složenijim.

Općenito, zahtjevi u pogledu raspodjele veličina čestica ugljena postaju stroži s povećanjem transportne udaljenosti. Tako, na primjer, iskustva iz SAD pokazuju da je za ekonomičan transport na velike udaljenosti potreban ugljen sljedeće granulacije:

70% < 0,074 mm, 16 – 23% < 0,044 mm (pri tome se kao i u nastavku studije misli na maseni postotak), pri gornjoj granici krupnoće zrna 1,19 mm (za odabrani maseni odnos kruto/tekuće 50 : 50%). Kako se smanjuje transport udaljenost, moguće je povećavati postotak krupnijih čestica.

c) Odnos kruto/tekuće

Općenito, odnos ugljen/voda prije svega ovisi o namjeni ugljena. Ako se mješavina tj. suspenzija ugljenih čestica direktno rasplinjava ili potpuno izgara u ložištu, moguće je s aspekta samog transporta povećavati sadržaj krute tvari i preko 70% uz, dakako, istovremeno smanjenje veličina čestica ugljena.
Što se tiče ugljene pulpe, iskustva su pokazala da je optimalni maseni odnos ugljen/voda 50 : 50%. Pri tome je uz određenu raspodjelu veličina čestica moguće postići ekonomski isplativ transport uz istodobno efikasno razdvajanje krute od tekuće faze.

d) Viskozitet

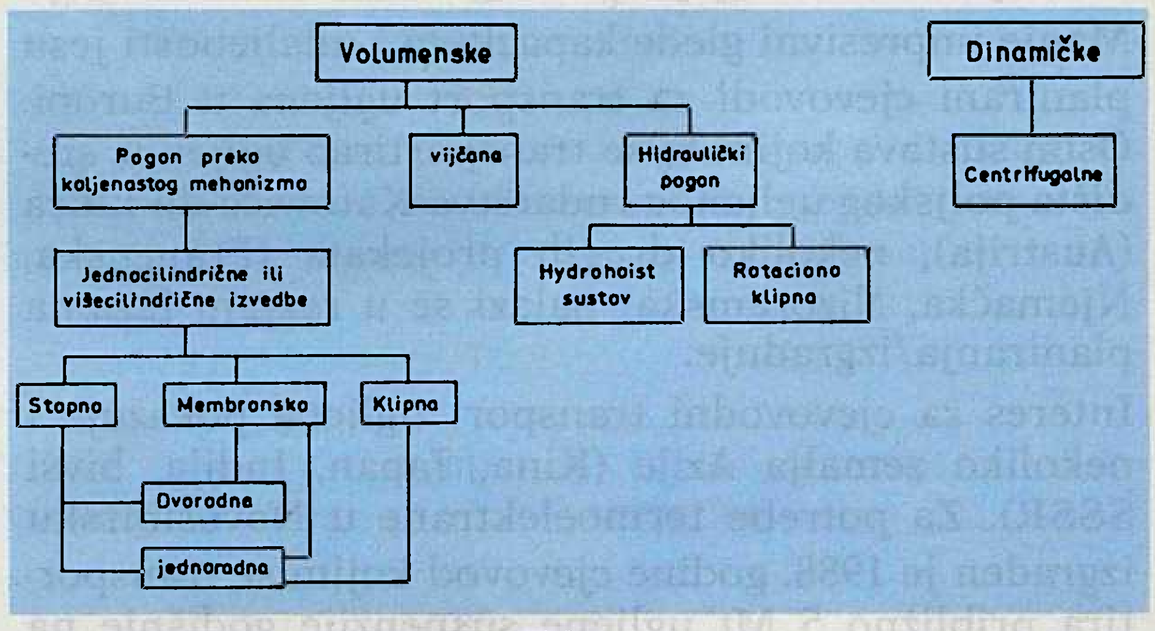
Viskozitet ugljene pulpe ovisi prije svega o odabranom odnosu kruto/tekuće i raspodjeli veličina čestica. Nadalje, bitno je istaknuti da se mješavine čestica i vode ponašaju kao nenjutnove tekućine što je potrebno uzeti u obzir tijekom projektiranja sustava. Općenito, za određivanje ponašanja pojedinih mješavina, odnosno promjene viskoznosti tijekom transporta praktično je napraviti reogram, tj. krivulju ovisnosti između smičnog naprezanja i brzine deformacije. Radi poboljšavanja reoloških svojstava, odnosno reduciranja viskoznosti pulpi se dodaju aditivi (disperzanti).
Može se zaključiti da su pojedini zahtjevi koje treba zadovoljiti kvalitetna pulpa (ako promatramo sustav u cjelini) međusobno kontradiktorni i zbog toga se teži optimiranju parametara. Konkretno, za svaku eventualnu primjenu potrebno je u tom pogledu obaviti analizu koja se ponajprije treba temeljiti na dosadašnjim iskustvima sa sustava sličnih karakteristika (transportna udaljenost, namjena i tip ugljena i slično).

2.1.2. *Skladištenje*

Spremnici ugljene pulpe na početku transportnog puta, osim skladištenja, imaju i funkciju pripreme (miješanja) pulpe. Najčešća metoda pripreme jest kontinuirano mehaničko miješanje u rezervoaru s rotorom. U novije vrijeme primjenjuje se u tu svrhu i recirkulirajuće miješanje pomoću mlazova pulpe, što može biti ekonomski povoljnije (potrebno je manje energije za miješanje). Daljnja mogućnost jest uporaba cirkulatora sa zračnim ubrizgavanjem, no podaci o efikasnosti i isplativosti te metode nisu dostupni.
Pri startanju sustava mogu nastupiti teškoće zbog nataloženih čestica ugljena u cjevovodu i stoga je potrebno izbjegavati kratkotrajne prekide pogona (na primjer u slučaju sitnijih kvarova prateće opreme na pojedinim dionicama). Zbog toga su nužni spremnici ugljene pulpe i na lokacijama crpnih stanica duž trase cjevovoda. Spremnici na spomenutim objektima također moraju biti takve izvedbe koja omogućuje kontinuirano miješanje kako bi se spriječilo taloženje čestica.
Za održavanje pogona u termoelektrani u slučaju prekida samog transporta mogu se koristiti otvoreni bazeni ugljene pulpe. S povećanjem kapaciteta tih bazena smanjuje se potrebna veličina deponija »osušenog« ugljena koja je i u tom slučaju nužna kao određena rezerva u slučaju kvara na postrojenju za razdvajanje krute i tekuće faze. Karakteristike i prednosti jednog takvog sustava (TE Mohave, SAD) bit će opisane u jednom od sljedećih poglavlja.

2.1.3. *Crpke*

Optimalan izbor tipa crpke nije jednostavan i sastoji se od tehničkih, ekonomskih i pogonskih razmatranja. Osim kapaciteta i visine dobave vrlo bitni faktori su, u tom pogledu, reološka i korozivna/abrazivna svojstva pulpe. Različiti eksploatacijski uvjeti (u usporedbi s onima koji vladaju pri transportu konvencionalnih tekućina) doveli su do razvoja većeg broja crpki, čime je omogućena njihova primjena za transport mješavina ugljenih čestica i vode. U osnovi crpke koje se koriste u tu svrhu mogu se podijeliti u dvije grupe: volumenske i dinamičke (vidjeti sl. 1). U volumenskim crpkama mehanička pogonska energija pretvara se u energiju tlaka fluida periodičkim promjenama volumena radnog prostora ispunjenog fluidom. Dinamičkim crpkama fluid se prenosi silama koje na njega djeluju u prostoru što je neprekidno povezan s usisnim i tlačnim osnovnim cjevovodom.



Slika 1.

a) Volumenske crpke

Ovisno o tipu crpke različita su područja primjene volumenskih crpki (s obzirom na maksimalni radni tlak i maksimalnu veličinu čestica ugljena). Klipna crpka je pogodna za tlakove preko 150 bar i za maksimalnu veličinu čestica 3 mm. Uz uporabu specijalnih ventila može raditi i s česticama do 6 mm, ali pri manjim tlakovima. Stapne crpke upotrebljavaju se za radne tlakove do 150 bar i veličinu čestica ugljena do 6 mm. Za krupnije čestice također su potrebni specijalni ventili.
Razvoj spomenutih crpki tekao je u smislu smanjivanja intenziteta habanja. To je rezultiralo razvojem

membranskih crpki čije su glavne prednosti mehaničko odvajanje (membranom) pojedinih dijelova crpke od pulpe i mogunost nižih brzina tlačenja. Stapnomembranske crpke primjenjive su za radne tlakove do 160 bar.

U grupi volumenskih crpki s hidrauličkim pogonom (izvedbe koje uključuju dodatnu pogonsku crpku, uglavnom centrifugalnu čije karakteristike limitiraju sustav) izdvaja se zbog sve veće primjene tzv. hydrohoist sustav tlačenja. Važna karakteristika ovih tipova crpki jest mogućnost kontroliranja količina dobave kod višecilindričnih ili višekomornih izvedaba čime se eliminira pulzacija dobave. I razvoj ovih crpki ide u smjeru smanjivanja intenziteta trošenja, ali uz istovremeno povećanje veličina čestica ugljena i koncentracije ugljena u pulpi. Radi toga kod ovih se crpki pokušava smanjiti, prisutno razrjeđivanje pulpe vodom.

Od rotornih volumenskih crpki, čija je glavna karakteristika da se periodične promjene volumena radnog prostora ostvaruju rotacijskim gibanjem radnog tijela i da nemaju ventile, potrebno je izdvojiti samo vijčanu crpku. Općenito, vijčane crpke imaju vrlo široko područje primjene s obzirom na viskoznost i abrazivnost pulpe. No ako promatramo transport mješavina ugljena i vode, upotrebljavaju se uglavnom za transport ugljene suspenzije. Najčešća izvedba je jednostrujna jednovijčana crpka. S jednom takvom izvedbom, tzv. moynovijčanom crpkom, mogu se postići radni tlakovi do približno 70 bar.

b) Dinamičke (centrifugalne) crpke

U zadnjih 15 – 20 godina intenzivan je razvoj centrifugalnih crpki radi njihove prilagodbe za transport mješavina kruto — tekuće. Ipak, još uvijek nisu objavljeni kompletni podaci u vezi s transportom ugljene pulpe centrifugalnim crpkama, uključujući i faktore koji omogućuju optimalnu primjenu ovih crpki. Stoga je potrebno tražiti podatke od proizvođača i kombinirati ih sa zahtjevima cjevovodnog transporta, uključujući čak i testiranja prije konačnog izbora crpke.

Granice primjene ovise o materijalu kojim su obloženi pojedini dijelovi crpke i sposobnošću kućišta crpke da podnose opterećenja zbog tlaka. U usporedbi s volumenskim crpkama centrifugalne nemaju stroga ograničenja u pogledu veličine čestica ugljena. No, s druge strane, maksimalni radni tlak može iznositi do 50 bar. Istraživanja u novije vrijeme pokazala su da je moguće postići tlak i do 69 bar, ali to bi zahtijevalo najmanje šest crpki u seriji.

I kod primjene centrifugalnih crpki za transport ugljene pulpe potrebno je pri projektiranju voditi brigu o intenzitetu trošenja i posljedicama koje ono ima na svojstva crpke. Prema tome, projektne i izvedbene značajke trebaju omogućiti optimalan rad crpke u smislu smanjenja intenziteta i posljedica trošenja uz istovremeno (za određeni sadržaj krutih čestica u pulpi) maksimalno mogući stupanj iskorištenja. Nedavno je objavljeno analitičko modeliranje centrifugalnih crpki za ugljenu pulpu, kao i eksperimentalno dobiveni podaci o protoku pulpe i njezinom abrazivnom djelovanju. Uporaba programa na računalima pri tome omogućuje brzi proračun optimalne rotacijske brzine, koncentracije pulpe i raspodjele habanja na unutrašnjoj presvlaci crpke.

U usporedbi s volumenskim crpkama centrifugalne crpke imaju niže investicijske troškove, ali veću specifičnu potrošnju energije zbog niže mehaničke i hidrauličke efikasnosti. Pri izboru crpke (volumenske ili centrifugalne) potrebno je stoga, osim ograničenosti područja primjene s obzirom na maksimalni radni tlak i veličinu čestica ugljena, obratiti pažnju i na usporedbu ukupnih troškova. Tako, na primjer, za primjenu cjevovodnog transporta na velike udaljenosti, ukupna cijena (investicija + pogonski troškovi) nekoliko relativno skupih volumenskih crpki mora biti uspoređena s ukupnim troškovima većeg broja jeftinijih centrifugalnih crpki.

2.1.4. *Cjevovod*

U projektu cjevovoda za mješavine ugljena i vode bitno je odabrati i uskladiti pretpostavke koje su potrebne za dobivanje i usvajanje veličina cjevovoda za bilo koju danu primjenu. Samo pozicioniranje crpnih stanica ovisi o terenu preko kojeg je položena trasa cjevovoda, dužini trase i ekonomskoj optimizaciji između broja stanica i projektiranih maksimalnih trakova. Dimenzije cijevi (debljine stijenke i promjer) su konstantne duž jedne dionice, odnosno duž dijela cjevovoda između dviju susjednih crpnih stanica. Dok je primjer cijevi primarna funkcija kapaciteta, debljina stijenke ovisi o materijalu cijevi i radnom tlaku. Pri odabiranju debljine stijenke obvezatno se mora uzeti u obzir i trošenje zbog trošenja.

Glede izbora trase cjevovoda potrebno je razmotriti više faktora iz svakog područja inženjerskoga, ekološkoga i ekonomskoga. Gledano s ekonomskog aspekta, trasa treba da bude kraća što je više moguće. Zatim je treba uskladiti sa stajališta izgradnje cjevovoda i održavanja. Vanjska ograničenja mogu uzrokovati odstupanja od najkraće trase da bismo dobili konačni projektni put. U slučaju prirodnih smetnji cjevovod može ići okolo, preko, ispod ili čak kroz takve smetnje, ako je uključena potrebna zaštita. Cijevi se spajaju pomoću fleksibilnih spojki koje omogućuju otklon od 2° 23' po spojnom mjestu i okretanje cijevi oko uzdužne osi radi ravnomjernije raspodjele trošenja. Pravila koja moraju biti razmatranja pri projektiranju s inženjerskog gledišta:

1. izbjegavati pretjerano ukopavanje cjevovoda u prvom redu radi smanjenja troškova zemljanih radova i lakšeg pristupa,
2. obratiti pozornost na maksimalni nagib cjevovoda, koji iznosi općenito od 0,15 do 0,20 rad, što ovisi o pojedinom slučaju,
3. izbjegavati prelaze preko velikih vodenih površina, a gdje to nije moguće izbjeći, upotrijebiti postojeće prijelaze (željezničke, cestovne ...).

U određenim specifičnim okolnostima može se već postojeći cjevovodni sustav primijeniti za transport

ugljene pulpe. Razmatrane su izmjene koje su potrebne za takvu pretvorbu iz cjevovoda projektiranih za transport nafte ili plina. U mnogim slučajevima postojeći tipovi crpki biti će nepogodni i potrebna će biti zamjena. Također je potrebno osigurati adekvatna postrojenje za skladištenje pulpe.

2.1.5. *Karakteristike strujanja mješavina ugljena i vode*

Strujanje mješavina ugljena i vode znatno se razlikuje od strujanja jednofaznih homogenih tekućina. Pod pojmom »homogena tekućina«, odnosno »homogeno strujanje« razumijeva se takvo strujanje što ga karakteriziraju jednaka fizikalna svojstva tekućine u poprečnom presjeku cijevi. Ovisno prije svega o brzini strujanja, odnosno kruto/tekuće, raspodjeli veličina čestica i tipu ugljena pri strujanju ugljene pulpe/-/suspenzije može nastupiti taloženje čestica, odnosno heterogenost (nejednolika raspodjela krutih čestica, a samim tim i različita fizikalna svojstva u poprečnom presjeku cijevi). Za određivanje kritične brzine strujanja pri kojoj nastupa taloženje i proračun pada tlaka u cjevovodu potrebno je poznavati režime strujanja koji se mogu uspostaviti tijekom strujanja ovakvih mješavina.

a) Pseudohomogeno strujanje

Karakterizirano je turbulentnim strujanjem u kojem čestice krute tvari imaju jednoliku raspodjelu u poprečnom presjeku. No ako je brzina strujanja dovoljno malena, čestice će se početi taložiti, i zato se ovaj režim strujanja naziva pseudo (lažno) homogenim.

b) Heterogeno strujanje

To je također turbulentno strujanje, ali s nejednolikom ili asimetričnom vertikalnom raspodjelom krutih čestica u cijevi s horizontalnim strujanjem čak i kod velikih brzina strujanja. Heterogeno strujanje se ponaša kao dvofazno (dvije faze: kruto i tekuće). Heterogene pulpe imat će nižu koncentraciju ugljena i veće količine čestica nego pseudohomogene pulpe. Postoji još i poluheterogena pulpa. Karakteristično je za takav tip pulpe da je ona heterogena pri malim brzinama i pseudohomogena pri velikim brzinama.

c) Heterogeno strujanje s klizajućim slojem

Općenito, kod heterogene pulpe postoji kritična brzina strujanja kod koje će se čestice izdvajati (taložiti) iz heterogene smjese i to će rezultirati u kombinaciji heterogene smjese i klizajućeg sloja. Dakle, turbulencija i brzina strujanja ne održavaju heterogeno strujanje, ali su u mogućnosti održavati stalnu brzinu klizajućeg sloja.

d) Stacionarni sloj

Nastupa kada brzina strujanja i turbulencija nisu dovoljni da održavaju nataloženi sloj čestica pokretnim. Brzina strujanja kod koje klizeći sloj prelazi u nepokretni naziva se brzinom stacionarnog sloja.

e) Gustofazno (laminarno) strujanje

Gustoća mješavine je takva da je nemoguće postići turbulentno strujanje. Karakteristično za gusto-fazno strujanje je kontinuirani kontakt između čestica i minimum »međupukotina« u mješavini. Čestice ne mogu klizati jedna preko druge. Zbog toga se jezgra strujanja u cijevi može promatrati kao masa čestica koje se gibaju zajedno. Tekući medij imati će brzinu neznatno veću od brzine jezgre krutih tvari. Ta povećana brzina ekvivalentna je brzini probijanja tekućina kroz zrnati medij. Međutim, ta razlika je zanemariva ako se usporedi s efektima relativnog gibanja koje nastaje u ograničenom prstenastom sloju pri stijenki cijevi.

U literaturi objavljeni eksperimentalno dobiveni rezultati, a vezano za ovaj tip strujanja, uglavnom se odnose na mješavinu s većom koncentracijom (50 – 70%) sitno mljevenih ugljenih čestica (<1 mm) i nisu primjenljivi za grublje mljeveni ugljen. Pokazalo se da je ovaj tip strujanja vrlo pogodan (relativno mali gubici strujanja) za strujanje stabilnih mješavina s 70 – 80%-tnom koncentracijom mikroskopski sitnih čestica ugljena (<0,1 mm). Zbog toga se u tom smislu velika pozornost posvećuje takvim gustofaznim ugljen-voda i ugljen-nafta suspenzijama. Prvi u svijetu izgrađen cjevovod za transport ugljene suspenzije na veće udaljenosti jest već spomenuti Novosibirsk-cjevovod. No opširniji podaci iz kojih bi se moglo saznati nešto više, a vezano za ovu problematiku još uvijek nisu dostupni.

2.1.5.1. Strujanje ugljene pulpe

U dosada primijenjenim ili planiranim projektima cjevovodnog transporta ugljene pulpe uobičajenih karakteristika (50 %-tna koncentracija ugljena maksimalne granulacije 1,2-1,5 mm) izbjegavaju se problemi vezani za taloženje čestica ugljena ili heterogeno strujanje. Zbog svega toga pseudohomogeni režim strujanja, povezan s turbulentnim strujanjem, postaje početna točka u proceduri projekta za transport na velike udaljenosti ugljene pulpe spomenutih karakteristika.

U projektu cjevovoda s pseudohomogenim režimom uobičajeno je nekoliko koraka:

1. izbor početnog promjera cijevi,
2. proračun kritične brzine za turbulentno strujanje (V_T),
3. pretpostavka kritične brzine taloženja (V_D),
4. provjera projektne brzine (da li je dovoljno veća od V_D, odnosno V_T),
5. proračun projektnih gubitaka zbog trenja,
6. određivanje hidrauličkog gradijenta cjevovoda,
7. određivanje potrebnog radnog tlaka.

Da bi pojedine faze u projektu bile jasnije, u nastavku se daje kratko objašnjenje pojedinih pojmova.

— Kritična brzina taloženja (V_D):

Kritična brzina taloženja jest ona brzina strujanja kod koje počinje taloženje čestica. Iako su zbog značaja režima strujanja za cjevovodni transport uglje-

ne pulpe provedena brojna istraživanja za definiranje kritične brzine taloženja, još uvijek ne postoje konačne eksperimentalno-teorijske spoznaje za tu svrhu koje bi obuhvaćale sve promjenljive utjecajne parametre. Najutjecajniji parametar je raspodjela veličina čestica ugljena, no eksperimentalno je pokazano da V_D može imati istu vrijednost za različite koncentracije ugljena u pulpi pri jednakoj raspodjeli veličina čestica. Ostali relevantni faktori jesu gustoća ugljena, odnosno pulpe, viskozitet pulpe, promjer cjevovoda i dr.

— Kritična brzina za turbulentno strujanje (V_T):

To je prijelazna brzina, odnosno brzina strujanja pri kojoj laminarni sloj prelazi u turbulentno strujanje. Njezina vrijednost ovisi o reološkim svojstvima i ima tendenciju porasta s viskozitetom pulpe. Definira se kritičnim Reynoldsovim brojem.

— Pad tlaka u cjevovodu zbog trenja

Za proračun gubitaka strujanja razvijene su metode koje uzimaju u obzir efekte nenjutnovskog ponašanja mješavina ugljena i vode. Eksperimentalno je dokazano da su ti efekti zanemarivi ili ih uopće nema ako se uspostavi potpuna turbulencija, tj. ako je brzina strujanja dosta veća od V_T. Za uobičajene projektne brzine između 1,2 i 2,2 m/s to nije slučaj i prema tome potrebno je uzeti u obzir spomenute efekte.

2.1.5.3. Pokusi strujanja krupno mljevenog ugljena

Od ranih 60-ih godina postoji praktični interes za cjevovodni transport ugljene pulpe s grubim ugljenom (maksimalna veličina čestica 50 mm). Posljednjih 15-ak godina povećano je zanimanje za primjenu hidrotransporta takve pulpe u rudarstvu, transportu na veće udaljenosti i utovaru i istovaru brodskih rasutih tereta. Eksperimentalna ispitivanja pokazala su da cjevovodni transport pulpe s grublje mljevenim ugljenom uključuje režim heterogenog strujanja s raspodjelom veličina čestica koja nema velik postotak finih čestica. U najgorem slučaju pogoršanje strujanja može rezultirati u stvaranju klizećeg sloja s heterogenim strujanjem pulpe iznad sloja.

2.2. Pogonski problemi s postojećim sustavima cjevovodnog transporta ugljene pulpe

Pogonski problemi koji se pojavljaju u cjevovodnim sustavima za transport ugljena vrlo često su vezani za taloženje čestica tijekom pogona i za vrijeme zastoja i zbog toga eventualno začepljenje cijevi. Tako, na primjer, cjevovodom OHIO transportirala se u početku pulpa sa 47 – 50% ugljena maksimalne granulacije 1,168 mm (16 – 20% < 0,044 mm). Nakon mirovanja pogona sustav se pokretao, zbog nataloženih čestica, povećanim protokom čiste vode kroz cijevi. Kasnije se transportirala stabilizirana pulpa i pri tome je bilo moguće povećati postotak ugljena i do 60% a da za pokretanje sustava nije bilo potrebno propuštati vodu, tako da se ova druga varijanta pokazala boljom.

Pogonski problemi glede taloženje bili su izraženiji u cjevovodnom sustavu Black Mesa. Tijekom pogona nekoliko kvarova je uzrokovalo zastoj, što je rezultiralo stvaranjem »čepova« (naslaga taloženih čestica koje zatvore cijev). U travnju 1971. nastao je »čep« (transportirala se pulpa od relativno krupnog ugljena, 14% < 0,044 mm) dug 12 m i trebalo je četiri i pol dana da se cjevovod pokrene (da sustav starta). Mjesec dana kasnije (pulpa sa 16% < 0,044 mm) nastupilo je novo začepljenje i čišćenje cjevovoda trajalo je dan i pol. Od tada sustav radi s 19% čestica ugljena koje su sitnije od 0,044 mm i više se nisu stvarala začepljenja. Brzina protoka pulpe ograničena je između 1,5 m/s (kritična brzina kod koje nastupa taloženje) i 1,7 m/s. U dionici cjevovoda $d = 300$ mm brzina iznosi čak 3,9 m/s, čime je povećano trošenje preko predviđenog iznosa od 50 μm/god stijenke cijevi, no to je još uvijek u dopuštenim vrijednostima.

Općenito, habanje cjevovoda, crpki i ostale opreme koja dolazi u neposredan kontakt s pulpom problem je kojemu se mora pridati dosta pažnje, i to od faze projektiranja pa sve do pogonskih razmatranja. Faktori koji utječu na intenzitet habanja jesu brzina strujanja pulpe, koncentracija ugljena u pulpi, materijal dijelova koji se habaju, abrazivnost ugljenih čestica (tvrdoća, oblik i veličina) i dr. Habanje je razmjerno kubu brzine i povećava se kako raste koncentracija pulpe. Vezano uz habanje same cijevi kroz koju struji pulpa, istraživanja su pokazala da se tijekom predviđenog 20-godišnjeg radnog vijeka može očekivati trošenje stijenke čelične cijevi zbog habanja od 3 — 6 mm i zbog korozije od 0,5 do 1,5 mm. Da bi se smanjio intenzitet habanja, pulpi se mogu dodavati odgovarajući aditivi (smanjuje se abrazivnost pulpe), dok se najčešće korištene čelične cijevi mogu iznutra obložiti materijalom s većom otpornošću na abrazivno djelovanje. Presvlačenja gumom ili plastikom obično produžuju vijek cijevi za približno 10 godina. Za manje tlakove mogu se koristiti i čisto plastične cijevi (oko 10 bar) i gumene (do 35 bar). U novije vrijeme proizvode se specijalne višeslojne savitljive cijevi koje se osim toga što su obložene na habanje otpornijim materijalom mogu primijeniti za veće tlakove (primjenjuju se za utovar pulpe u brodove ili za određene postupke u rudniku).

2.3. Tehnologija pripreme za izgaranje ugljena dopremljenog cjevovodom

U ovom kontekstu potrebno je posvetiti najviše pozornosti problemu razdvajanja krute i tekuće faze. Pri projektiranju samog postrojenja za odstranjivanje vode iz ugljena potrebno je imati na umu sljedeće utjecajne faktore:

1. raspodjelu veličina čestica ugljena u pulpi,
2. traženu kvalitetu ugljena, tj. traženi konačni sadržaj vlage,
3. koncentraciju ugljena u pulpi,
4. traženu kvalitetu otpadne vode,
5. mogućnosti i potrebe za skladištenjem,
6. »ponašanje« ugljena tijekom procesa,
7. potrebni kapacitet postrojenja.

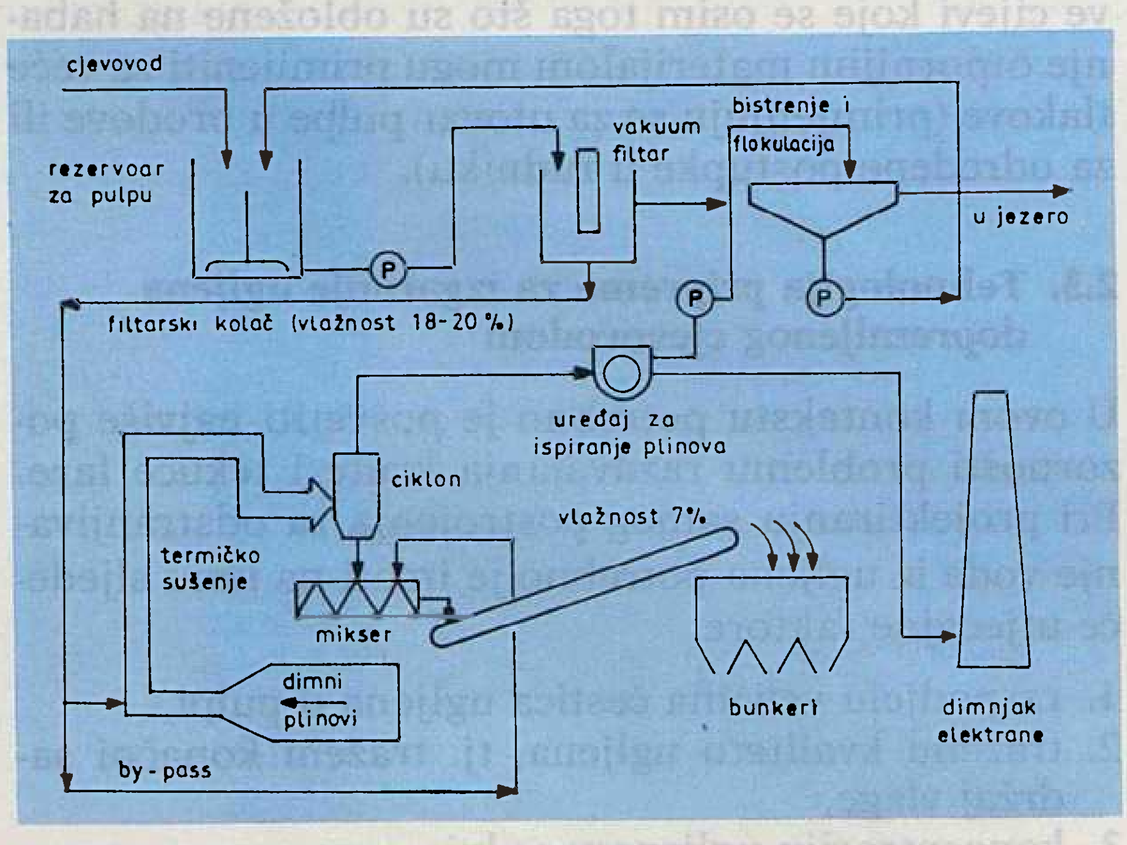
Opremu koja se upotrebljava, pojedinačno ili kombinirano (što, dakako, ovisi o nabrojanim činiteljima), za odstranjivanje vode iz ugljena čine: obična i vibracijska sita, cikloni, zgušnjivači, rezervoari (bazeni) za bistrenje i taloženje, sedimentacijska i sedimentacijsko-filtracijska centrifuga, vakuumski filtri, filtar-preše i razne izvedbe uređaja za termičko sušenje.

Sedimentacijskom centrifugom voda se odstranjivala iz ugljena (granulacije 48-595 μm) još 1930, dok su se rotacijski vakuumski filtri upotrebljavali za istu svrhu (granulacija < 0,5 mm) tijekom kasnih 50-ih do kraja 60-ih godina. Za postizavanje prihvatljivog sadržaja vlage u sve sitnije mljevenom ugljenu bilo je potrebno povećavati pogonske brzine sedimentacijske centrifuge. To je rezultiralo povećanjem abrazije i posljedično tome većim pogonskim troškovima. Sredinom 60-ih godina razvijena je centrifuga koja je istodobno obavljala i sedimentaciju i filtriranje. Gušća faza (ugljen) se do stanovite mjere odvaja kao u sedimentacijskoj centrifugi, a rjeđa (voda) na izlasku iz centrifuge prolazi kroz filtar u kojem se odvajaju sitnije čestice.

Zadnjih 20 – 25 godina slijedi intenzivniji razvoj sustava za razdvajanje krute faze od tekuće. Usvajaju se tehnički i gospodarski djelotvorna rješenja. Pri tome su korištena iskustva sustava za manipuliranje ugljenom pulpom u termoelektranama, koja su dokazana u praksi.

Termoelektrana Eastlake, SAD

Postrojenje pripreme za izgaranje ugljena transportiranog hidrauličkim putem bilo je u pogonu (iz već spomenutih razloga) od 1957. do 1963. godine. Pulpa se, neposredno iz cjevovoda, dovodila u rezervoar s rotorom neposredno prije ulaska u krug postrojenja za odstranjivanje vode (slika 2). Sustav se sastojao iz vakuumskih filtara i termičkog sušenja, dok se filtrat dalje odvodio u bazen za bistrenje i flokulaciju. Ispust iz bazena recirkulirao se preko rezervoara za miješanje ponovno u vakuumski filtar.



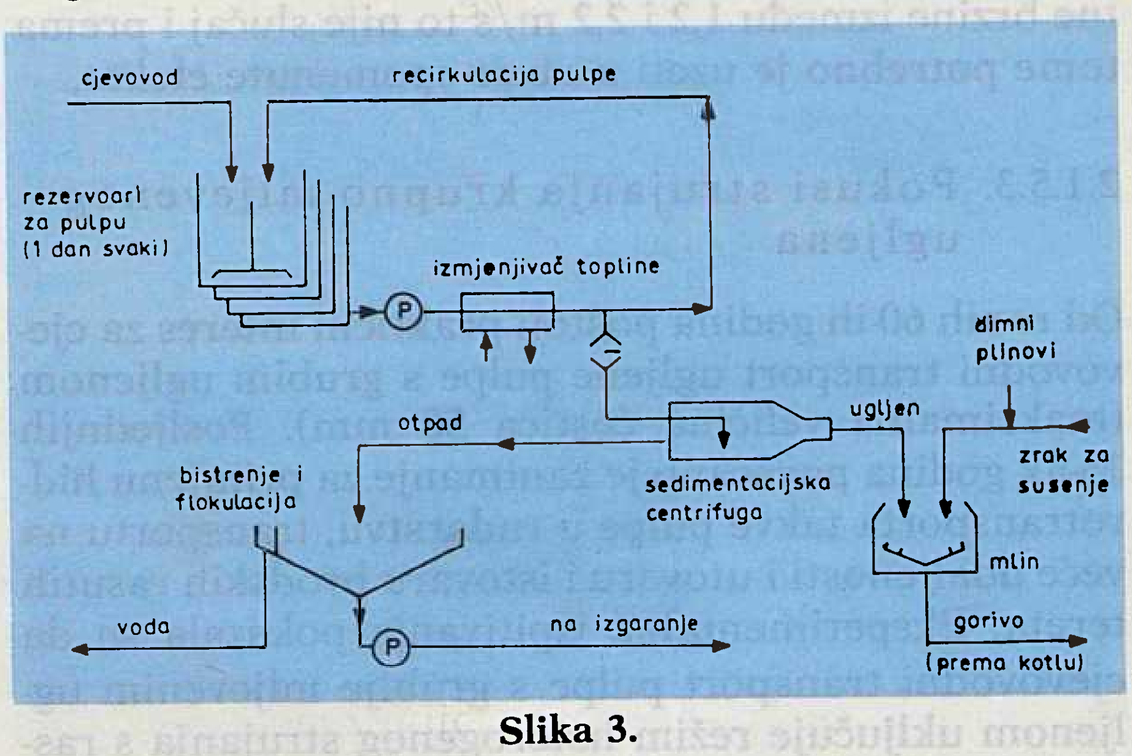
Slika 2.

Preljev iz bazena za bistrenje i flokulaciju odvodio se izravno u jezero Erie. Ljeti (niži viskozitet vode) preljev je imao koncentraciju krutih čestica 5 ppm, a zimi je (viši viskozitet vode) ta vrijednost iznosila 10 ppm, iako je zabilježena i koncentracija i do 25 ppm.

Dobiveni ugljen otpremao se u bunkere koji su bili projektirani za ugljen granulacije < 50 mm isporučenog sa željeznicom (nagib stranica bunkera 55°). Izmjena načina transporta (željeznica --> cjevovod) rezultirala je problemima s efikasnošću istjecanja fino mljevenog ugljena kada je sadržaj grube vlage bio viši od 7%. No, ako je sadržaj vlage »osušenog« ugljena bio manji od 5% kod presipavanja je dolazilo do intenzivnog podizanja (vitlanja) prašine. Spomenuta dva problema uvjetovala su ograničenje efektivnoga pogonskog raspona sadržaja grube vlage od 5 do 7%.

Termoelektrana Mohave, SAD

TE Mohave, Nevada, SAD, opskrbljuje se ugljenom iz cjevovoda za ugljenu pulpu Black Mesa. To je prvo postrojenje koje je projektirano da primi ugljen transportiran ovim načinom, odstrani vodu iz njega i pripremi za izgaranje. Sustav (prikazan shematski na slici 3.) koji se primjenjuje u ovoj termoelektrani omogućava da se unutrašnji transport ugljena, gotovo do samog kotla, odvija cijevima i crpkama, pa se zbog toga ovo rješenje u osnovi razlikuje od prethodnoga.



Slika 3.

Pulpa se iz cjevovoda skladišti u otvorene bazene ili se vodi izravno u jedan od četiri miješajuća rezervoara prije samog ulaska u krug postrojenja za odstranjivanje vode iz ugljena. Dalje se crpkom odvodi u izmjenjivače topline gdje se grije parom iz elektrane, a zatim slijedi centrifugiranje. Uređaji za centrifugu smješteni su neposredno iznad mlinova za ugljen, u kojima se osim mljevenja istovremeno odvija (završava) i proces sušenja. Postojali su određeni mehanički problemi s pogonom centrifuge, ali su uspješno riješeni, i to prije svega uvođenjem sustava grijanja pulpe. Masa ugljenih čestica < 44 μm u otpadu iz centrifuge iznosi najmanje 0,5%.

Dok je preljev iz bazena za bistrenje i flokulaciju dovoljno kvalitetan da se koristi kao rashladna voda ili ispušta u okoliš, ispust iz bazena sadrži 10 – 25% čestica ugljena (masena koncentracija) i kao takav se ne može ni koristiti, ni ispuštati, a sam po sebi predstavlja relativno veliki energetski gubitak. Stoga se spaljuje, iako s energetskim penalima rezultiranih zbog topline potrebne za isparivanje vode. Međutim,

u određenim uvjetima niskog opterećenja ispust iz bazena za bistrenje i flokulaciju se ne spaljuje, već otklanja u posebne bazene gdje se s vremenom koncentracija ugljena povećava zbog isparavanja vode.

Kapaciteti skladištenja ugljena znatno su povećani suvremenijim rješenjem s četiri bazena za pulpu (svaki je kapaciteta 88 000 t), koji su povezani s postojećom i dodatnom opremom (postrojenje za primanje i distribuciju pulpe), tako da mogu primiti pulpu iz cjevovoda i puniti prema potrebi četiri mala miješajuća rezervoara (od kojih, kao što je već rečeno, počinje sustav za odstranjivanje vode). Prema tome, ako je cjevovodni sustav izvan pogona, postrojenje za odstranjivanje vode, tj. pripremu ugljena, može raditi bez prekida određeno vrijeme (ukupni kapacitet bazena odgovara neprekidnom radu elektrane od 32 dana, dok je svaki rezervoar kapaciteta koji odgovara radu elektrane 1 dan). Određene količine dobivenog ugljena spremaju se kao zalihe na deponiji i pri tome je maksimalna količina između 72 000 i 80 000 t. Problemi s prašinom kontroliraju se prskanjem ugljena sa zaštitnim premazom.

Nedostaci sustava za odstranjivanje vode pri elektranama Eastlake i Mohave rezultirali su da se za potrebe planiranih projekata razviju efikasniji postupci razdvajanja krute i tekuće faze. Pri tome se posebna pozornost pridaje kakvoći (sadržaja krutih tvari) ispusta iz bazena za bistrenje i flokulaciju. Istraživanja su dovela do rješenja koja uključuju, uz ostalo, već spomenute opreme i uporabu filtar-preše, zgušnjivača i vibracijskog uređaja za termičko sušenje. Tako dobiveni ugljen sadrži na kraju procesa približno 9 ili 10% vlage i pri tome je maseni gubitak ugljena zanemariv.

2.4. Utjecaj hidrauličkog transporta na kvalitetu ugljena i vode

Dosadašnja iskustva i ispitivanja pokazala su da hidraulički transport, ovisno o svojim značajkama, više ili manje utječe na neka svojstva ugljena značajna u daljnjoj tehnologiji korištenja ugljena. Taj se utjecaj može manifestirati u promjeni:

a) mehaničkih svojstava,
b) kemijskih svojstava,
c) svojstava izgaranja,
d) svojstava koksiranja.

s) Mehanička svojstva

Prolaz ugljene pulpe kroz crpke, cijevi i drugu potrebnu opremu može rezultirati usitnjavanjem čestica ugljena mrvljenjem i sudaranjem s određenim površinama opreme (kao što su, na primjer, rotirajući dijelovi crpke, stijenke cijevi itd.). Usitnjavanje čestica ugljena tijekom hidrauličkog transporta utjecat će na viskozitet pulpe, troškove transporta, veličinu čestica isporučenog ugljena, što je posebno važno ako su uvjeti raspodjele veličina čestica isporučenog ugljena posebno strogi. Činitelji koji imaju utjecaj na takvu nepoželjnu promjenu granulacije jesu: projektno-pogonske karakteristike odabrane opreme (promjer cijevi, veličina otvora crpke, brzina crpkanja, brzina strujanja pulpe, koncentracija pulpe, transportna udaljenost. . .) i karakteristike ugljena (meljivost, oblik i početna veličina čestica, raspodjela veličina i tvrdoća).

b) Kemijska svojstva

Duži boravak ugljena u vodi (u slučaju transporta na veće udaljenosti) može rezultirati međusobnim reakcijama, odnosno mijenjanjem kemijskog sastava i ugljena i vode. Te reakcije ovise, između ostaloga, i o upotrijebljenom tipu vode. Osim uobičajenih izvora čiste vode postoji mogućnost korištenja otpadne vode iz kanalizacije kao nosivog fluida, što može dovesti do neznatnog povećanja ogrjevne moći ugljena zbog smanjenja sadržaja pepela o čemu će kasnije biti riječi. No uporaba takve vode (kao i slane vode) još uvijek je u fazi istraživanja.

c) Svojstva koksiranja

Moguća primjena hidrauličkog transporta može biti transport ugljena za koksiranje. U dostupnoj literaturi utjecaj hidrotransporta na svojstva koksiranja nije dan jednoznačno. Dok neki eksperimenti upućuju na vrlo malo ili nikakvo pogoršanje tih svojstava, drugi pak dokazuju točno određeno pogoršanje. Objašnjenja o tome što uzrokuje eventualno pogoršavanje svojstava koksiranja također variraju.

d) Svojstva izgaranja

Već je spomenuto da se nakon transporta može očekivati smanjena ogrjevna moć ugljena zbog povećanog sadržaja vlage, što se može pokušati izbjeći kvalitetnijom opremom za odstranjivanje vode iz ugljena i/ili eventualno dužim boravkom ugljena na deponiju. Uz pretpostavku da ugljen nakon transporta sadrži isti postotak vlage kao i na početku transportnog puta moguće je neznatno povećanje njegove ogrjevne moći i to vjerojatno zbog smanjenja postotka pepela, što su pokazala istraživanja.

Međusobne reakcije između ugljena i vode, koji mogu nastupiti tijekom procesa, mogu imati veće ili manje efekte, pored ugljena, i na kvalitetu vode. Općenito, karakteristike kvalitete dobivene vode promjenljive su i u funkciji su karakteristika ugljena, izvora vode, vremena zadržavanja ugljena u vodi, koncentracije pojedinih elemenata i spojeva u pulpi i njihove topljivosti, izloženosti vanjskim utjecajima itd. . .

Za predviđanje kvalitete otpadne vode, odnosno za projektiranje postrojenja za njezinu preradu, potrebno je poznavati sve nabrojane parametre. Tom problemu potrebno je posvetiti dosta pozornosti jer u slučaju neadekvatne obrade otpadna voda iz postrojenja za njezino odstranjivanje iz ugljena može sadržavati određene količine štetnih tvari (na primjer sulfata, ako se otopi sumpor prisutan u ugljenu) koji su mnogo veći od dopuštenih. U analizi kvalitete otpadne vode kao osnovni parametri pojavljuju se: sadržaj neotopljenih (suspenziranih) krutih tvari,

sadržaj otopljenih krutih tvari, biokemijska potrošnja kisika, kemijska potrošnja kisika, pH vrijednost, prisutnost metala, aniona, organskih spojeva, bakterija i radiaktivnost.

2.5. Utjecaj na okoliš

Povećanjem količina transportiranog ugljena problemi glede utjecaja na okoliš sve su izraženiji. Tehnologija hidrauličkog transporta rezultira u drugačijim ekološkim efektima nego sadašnje uobičajene tehnologije. Uvođenje sustava hidrotransporta to će potaknuti opsežna razmatranja u vezi s osiguranjem potrebne količine vode, zagađenjem, tretmanom i njezinoj primjeni. Bit će potrebne relativno velike količine vode, što u određenim područjima predstavlja problem. To se može riješiti uporabom drugih nosilaca (metode koje su još u fazi ispitivanja) ili pak recirkuliranjem vode. No, recirkuliranje će uvesti dodatne troškove povezane s izgradnjom cjevovoda za povrat vode, iako postoji i mogućnost povrata vode istim cjevovodom (rjeđe). Eventualna isplativost recirkuliranja ovisi prije svega o transportnoj udaljenosti i postojećim zalihama vode, kao i o tipu vode i ugljena. Ista voda može se koristiti sve dok ne postane štetna za opremu i tada je potreban adekvatan tretman kako bi se mogla ponovno upotrijebiti. Pri eventualnom vraćanju vode istim cjevovodom nepovoljno je to što se narušava kontinuitet transporta (uključujući i pripremu pulpe), što u određenom slučaju može povećati potrebu za skladištenje kao i potrebni kapacitet postrojenja za pripremu. Osim toga smanjuje se broj radnih sati i potrebno je za istu transportiranu količinu ugljene pulpe povećati promjer cjevovoda. Evidentno je, dakle, da sama isplativost pojedinih rješenja ovisi i o utjecaju na okoliš koji se može promatrati s dvaju aspekata:

1. rezultata slučajnog prolijevanja pulpe zbog havarije u sustavu (cjevovod ili rezervoari),
2. potencijalnog zagađenja otpadnom vodom iz postrojenja za njezino odstranjivanje.

O postupcima s otpadnom vodom, kao i o njezinoj kvaliteti, već je bilo riječi. Potrebno je još naglasiti da poseban tretman može uključiti: kemijsko taloženje otopljenih solida, aeraciju (provođenje zraka ili nekog plina kroz tekućinu), flokulaciju suspenziranih sitnih čestica, taloženje i bistrenje, postupak sa aktivnim ugljikom, filtraciju itd.

Havarija u sustavu može nastupiti zbog prevelikog povećanja tlaka ili vanjskog fizičkog djelovanja, a njezina vjerojatnost s vremenom se povećava kako se troše stijenke cijevi habanjem. Utjecaj prolivene pulpe na zemlju ili vodu (more, rijeke, jezera i slično) ovisi ponajviše o količini koja se prolije, dok će ta količina ovisiti o veličini protoka, tlaku, veličini otvora u sustavu, vremenu »krpanja« otvora i drugim parametrima uključujući i to da li je cjevovod ukopan ili ne. Ako pretpostavimo da utjecaj pulpe na okoliš nije štetan, tada prolijevanje ne mora prouzročiti znatniju dugoročnu štetu na zemlji ili vegetaciji, posebno ako je riječ o manjim količinama. No lokalno smanjenje propusnosti zemlje može rezultirati zatvaranjem zemljinih pora sitnomljevenim ugljenom, što nadalje smanjuje infiltraciju i difuziju kisika u zemlju. Ti efekti biti će značajniji u sušnim i polusušnim područjima. Raspršivanje vjetrom, sitnih čestica ugljena (iz »osušene« pulpe) može biti (ali ne mora) čak i povoljno, što, dakako, ovisi o lokaciji nastajanja »rupe« u sustavu.

Utjecaj prolivene pulpe u moru, rijekama i slično ovisit će i o sljedećim parametrima: postojećem protoku vode, kvaliteti vode, parametrima taloženja itd. Izlijevanje pulpe u, na primjer, malen potok ili kontinuirano puštanje pulpe ili otpadne vode u zaštićenu obalnu uvalu ili luku vjerovatno će prouzročiti velike ekološke posljedice.

Pri projektiranju sustava treba razmotriti i moguće prolijevanje ili propuštanje spremnika pulpe u zalihe površinske vode. Preventive radi, sva oprema (uključujući, dakako i spremnike, bazene itd.) mora biti presvučena adekvatnim zaštitnim slojem.

Emisija prašine tijekom samog transporta praktično je eliminirana pošto su ugljene čestice potopljene u vodi. Taj problem postoji na samoj deponiji termoelektrane, jer ugljen može sadržavati i do 20% čestica $< 0{,}044$ mm (što ovisi o početnoj raspodjeli veličina i intenzitetu usitnjavanja za vrijeme transporta). To se djelomično može riješiti uporabom raznih kemikalija u formi raspršivača, ali i skladištenjem pulpe umjesto ugljena u suhoj formi (primjer sustava u TE Mohave).

Narušavanje okoliša cjevovodom bit će veće tijekom faze izgradnje i općenito bit će potreban prostor, dužinom trase, širine nekoliko metara. Ako to narušavanje prirode može biti tolerirano za vrijeme relativno kratkog razdoblja izgradnje, tada će ekološke smetnje u tom smislu biti neznatne.

Može se zaključiti da je, unatoč prethodno opisanim mogućim štetnim utjecajima na okoliš, cjevovodni transport u tom smislu jedan od najpovoljnijih načina transporta.

2.6. Ekonomski aspekt

Općenito parametri koji utječu na isplativost hidrauličkog transporta jesu:

— količina transportiranog ugljena
— transportna udaljenost
— namjena ugljena
— postojeća infrastruktura
— postojeće zalihe vode
— konfiguracija i naseljenost terena itd.

U vezi s tim provedena su mnoga istraživanja i studije. Iako se rezultati analiza ne mogu u cijelosti prihvatiti za sve slučajeve, na kraju se ipak mogu donijeti neki općeniti zaključci. Isplativost cjevovodnog transporta raste s povećanjem količine transportiranog ugljena i transportne udaljenosti. Usporedba ukupnih (investicijskih i pogonskih) troškova različitih načina transporta u uvjetima koji vladaju u SAD pokazala je da je cjevovodni transport jeftiniji od nove željeznice tek iznad udaljenosti 200 – 400 km, dok praktično njegova cijena nikada nije niža od troškova kod već izgrađene ili rekonstruirane željeznice. Pri tome je potrebno istaknuti podatak [5] da troško-

vi radne snage iznose kod hidrauličkog transporta samo 10% ukupnih troškova u usporedbi s najmanje 50% kod željeznice. Stvarna i direktna konkurencija između ta dva načina transporta ostvarena je puštanjem u rad već spomenutog OHIO-cjevovodnog sustava.

U planovima Austrije za dopremu ugljena iz Poljske također su uspoređeni cjevovod i željeznica. Računice su pokazale da su na toj relaciji (380 km) cijene hidrauličkog i željezničkog prijevoza jednake pri kapacitetu od 1,3 do 1,5 Mt/god. Pri kapacitetu 5 Mt/god. prednost je očito na strani cjevovodnog transporta, a troškovi za pojedina rješenja procijenjeni su kako slijedi:

- 9 $/t ili 100% za jednosmjerni cjevovod
- 11,5 $/t ili 127,7% za cjevovod s povratnim cjevovodom za vodu
- 17,5 $/t ili 194,4% za željeznicu.

U sklopu [4] provedena je i ekonomska usporedbena analiza različitih načina transporta. Za prijevoz ugljena od prijamne luke u Raškom zaljevu do TE Plomin (udaljenost približno 20 km; količina 750 000 t/god.) cjevovodni transport se u konkurenciji s ostalim razmatranim rješenjima (željeznica, transportne trake i kombinacija traka i željeznice) pokazao kao najpovoljnije rješenje u ekonomskom smislu unatoč relativno maloj transportnoj udaljenosti. Razlog tome je uglavnom (ne)postojeća infrastruktura, tako da svaka varijanta uključuje i gradnju cijele (ili dijela) nove infrastrukture.

3. ZAKLJUČAK

Do sada se u svijetu grublje mljeveni ugljen (> 1,5 mm) transportirao hidrauličkim putem uglavnom na kratke udaljenosti (u sklopu postrojenja rudnika), dok se fino mljeveni ugljen (< 1,5 mm) transportirao na duže udaljenosti (i do 439 km u sustavu »Black Mesa«, a planirani su projekti i duži od 2 000 km). U novije vrijeme u svijetu se sve intenzivnije razmišlja o kombinaciji hidrauličkog transporta s drugim načinima transporta, a osobito s pomorskim, čime se dobiju niži ukupni transportni troškovi (uključujući i utovar tj. istovar), manja ekološka štetnost, veća fleksibilnost, jednostavniji terminali itd.

Budući da se, iz poznatih razloga, Hrvatska elektroprivreda treba razvijati na pouzdanim komercijaliziranim tehnologijama, primjena hidrauličkog transporta za sada dolazi u obzir samo za transport ugljene pulpe konvencionalnih karakteristika i eventualno ugljene suspenzije. No bez obzira na to potrebno je intenzivnije pratiti i razvoj novih rješenja.

U Hrvatskoj se razmišljalo o primjeni ovog vida transporta samo za potrebe TE Plomin, i to u sklopu »Studije transporta ugljena od ugljenokopa Koromačno i Tupljak do deponije termoelektrane Plomin« i »Studije transporta uvoznog ugljena za potrebe TE Plomin«.

U odnosu na suvremene projekte u svijetu, za potrebe Hrvatske elektroprivrede transportirale bi se, ako se primijeni hidraulički transport, relativno male količine ugljena na relativno kratke udaljenosti. Međutim, u slučaju veće orijentiranosti na uvozni ugljen situacija bi se u tom smislu djelomično izmijenila i prednosti ovog načina transporta dolazile bi više do izražaja. Nadalje, sljedeća prepreka primjeni hidrotransporta ugljena jest postojeća infrastruktura koja je orijentirana prema konvencionalnim načinima transporta. No ako se pokaže potreba za zamjenom ili proširivanjem postojećih transportnih sustava, a posebno u slučaju gradnje nove infrastrukture za buduća energetska postrojenja, cjevovodni transport postaje ne samo konkurentan, nego i nadmoćan (u ekonomskom i ekološkom smislu) u odnosu prema drugim rješenjima. Na isplativost hidrauličkog transporta ugljena utječe i to je li energetsko postrojenje prvotno projektirano za izgaranje (ili rasplinjavanje) tako transportiranog ugljena. Dakako, u slučaju ugljene suspenzije to se samo po sebi podrazumijeva, a koliko je to bitno za transport ugljene pulpe, pokazuje upravo primjer TE Plomin. Budući da je elektrana projektirana za izgaranje ugljena transportiranog konvencionalnim putem, potrebno je, želimo li primijeniti hidrotransport, izvesti određene rekonstrukcije na postojećoj deponiji, ali i na kotlovskom postrojenju. Nadalje, ne može se reći da investicijski troškovi postrojenja za pripremu pulpe (mljevenje ugljena na potrebnu granulaciju) u potpunosti idu na račun same elektrane, kao što je to prikazano u [5].

Konačno treba reći da ovakav način transporta ugljena može postati aktualan za potrebe Hrvatske elektroprivrede tek kada se razriješe bitne dileme u Hrvatskoj glede razvoja energetike u cjelini, kao i definiranja energetske osnove. Tek orijentacija na uvoz znatnih količina ugljena nametnut će, između ostalih mogućih rješenja, i provođenje opsežne tehno-ekonomsko-ekološke analize isplativosti ovakvog rješenja.

LITERATURA

[1] IEA Coal Research: »Applications for hydraulic handling of coal«, November 1984.

[2] IEA Coal Research: »Equipment for hydraulic handling of coal«, August 1984.

[3] Snamprogetti: »Coal Water Fuel Technology«

[4] Z. KISIĆ, N. MALBAŠA i ostali: »Tehničko ekonomska i ekološka analiza mogućih puteva prijevoza uvoznog ugljena do TE Plomin« — usporedba varijanti i prijedlog najpovoljnijeg rješenja, 1992.

[5] Rudarsko-geološki-naftni fakultet sveučilišta u Zagrebu, OOUR Institut za rudarstvo, geotehniku i naftu, Zavod za rudarstvo i geotehniku: Studija transporta ugljena od ugljenokopa »Koromačno« i »Tupljak« do deponije TE Plomin, ožujak 1986.

Energija, god. 43 (1994) 2, 93 – 104

HYDRAULIC TRANSPORT OF COAL PULP

The paper presents a review of current state and development of long distance hydraulic coal transport. The reasons of application are given briefly, as well as advantages and disadvantages of that type of transport. The existing and planned projects in the world are named. Transport and preparation technologies for coal combustion transported hydraulically are described. Based on that, prospects and possibilities of its application in the Croatian electric supply company are estimated.

HYDRAULISCHER TRANSPORT DER KOHLEPULPE

Im Artikel wird der moderne Zustand und die Entwicklung des hydraulischen Transports der Kohle in grössere Entfernungen geschildert. In Kürze wurden die Gründe der Anwendung sowie Vorteile und Nachteile dieser Transportart beschrieben. Es werden weltweit bestehende und geplante Projekte angefügrt. Man beschreibt die Technologie des Transports und die Technologie der Vorbereitung für die auf hydraulischem Weg trans = portierte Kohle. Auf diese Weise wurde die Perspektive und Möglichkeit ihrer Anwendung in der kroatischen Elektrowirtschaft berechnet.

Naslov pisca:

Bojan Abramović, dipl. ing.
Ekonerg — Institut za energetiku i zaštitu okoliša
41000 Zagreb, Avenija Vukovar 33,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-01.11.

ISKAZIVANJE NESIGURNOSTI U MJERENJU

Prof. dr. Dušan Vujević, Zagreb

UDK 621.317.08
PREGLEDNI ČLANAK

Nesavršenost mjernog postupka, mjerne opreme, utjecaja okoline, mjeritelja, itd. uzrokom su nesigurnosti mjernog rezultata. Zato je nužno iskazati mjernu nesigurnost, kao veličinsku naznaku kakvoće mjernog rezultata. Autor je dao osnove pristupa proračunu mjerne nesigurnosti.

Ključne riječi: mjerni postupak, pogreška, mjerna nesigurnost.

1. UVOD

Mjerenje je eksperimentalni postupak kojim se veličinski (kvantitativno) određuju one značajke pojava, tvari i tijela koje se kakvoćom razlikuju. Te se značajke nazivaju fizikalnim veličinama. Tako električni otpornik ima značajke: električni otpor, duljinu, masu itd. Mjerenjem se mogu odrediti vrijednosti električnog otpora, duljine itd. Vrijednost mjerene fizikalne veličine iskazuje se brojkom i jedinicom prihvaćenom za određenu fizikalnu veličinu.

Krajnji rezultat svakodnevnih mjerenja u trgovini i u nekim industrijskim pogonima jesu brojevi koji se opažaju (očitavaju) na pokaznicima odgovarajućih mjernih naprava. U znanstvenom i ozbiljnijem stručnom radu obično postoje još dodatna tri veličinska aspekta mjerenja. To su: a) ispravak (korekcija) opažanja, kako bi se nadoknadila poznata odstupanja od idealnih provedaba propisanih postupaka, kao i nezanemarljivih učinaka kontroliranih varijabli; b) izjednačavanje »sirovih« ili ispravljenih opažanja pojedinih fizikalnih veličina pri tzv. uvjetnim mjerenjima; c) određivanje mjerne nesigurnosti.

Mjerna nesigurnost daje veličinsku naznaku kakvoće mjernog rezultata, bez koje se ne mogu usporediti više mjernih rezultata iste fizikalne veličine međusobno ili s referentnim vrijednostima u specifikacijama i standardima. Zato o mjernoj nesigurnosti, kao važnom i obveznom dodatku mjernom rezultatu, raspravljaju vrhunski mjeritelji više od dvadeset godina. Dok su se mišljenja o tzv. slučajnim pogreškama nisu razlikovala, to se ne može kazati za tzv. sustavne pogreške, kao i o načinu slaganja slučajnih i sustavnih pogrešaka. Na poticaj Međunarodnog ureda za utege i mjere (BIPM) i Međunarodne konferencije za precizna mjerenja i fundamentalne konstante (CIPM) problem mjerne nesigurnosti intenzivno se razmatrao na regionalnoj i svjetskoj razini [1]. Kao rezultat toga nastale su »preporuke«, »upute«, »vodiči« i norme o načinu iskazivanja mjerne nesigurnosti koji na manje ili više cjelovit, sustavan i jasan način daju upute, kako iskazati mjernu nesigurnost u mjernom rezultatu [2] [3] [4]. Očekuje se da će tijekom 1994. god. biti objavljen dokument ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju), koji se bavi iskazivanjem nesigurnosti. Nacrt tog dokumenta, oznake ISO/TAG4, objavljen u siječnju 1993. [5] Potpisalo ga je sedam najpoznatijih institucija i udruga u svijetu, među inima BIPM i IEC. Dosad objavljeni dokumenti imaju istovjetna polazišta, ali se razlikuju u nekim pojedinostima. Na neke od njih posebno će se upozoriti. Kako su dokumenti [2] [4] nacionalni, dokument [3] regionalan, a [5] međunarodan, jamačno će se koristiti samo ovaj posljednji. Zato će se njemu u ovom napisu pokloniti najveća pozornost.

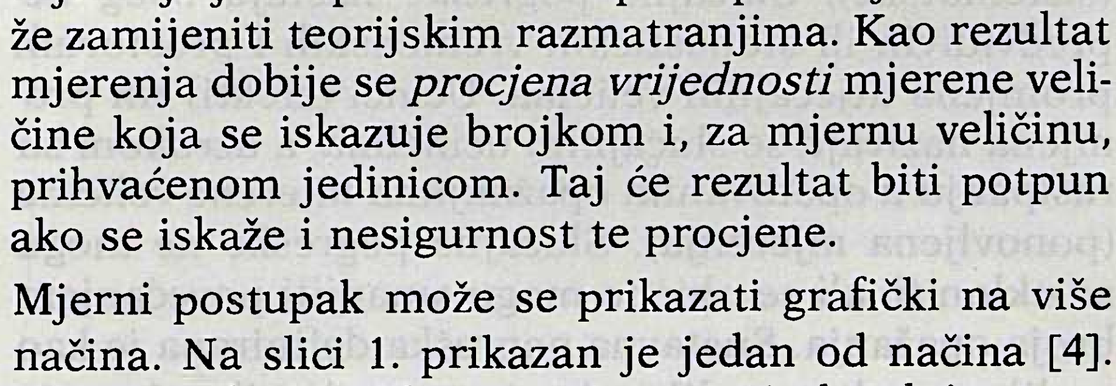
2. MJERNI POSTUPAK

Mjerenje je eksperimentalni postupak koji se ne može zamijeniti teorijskim razmatranjima. Kao rezultat mjerenja dobije se *procjena vrijednosti* mjerene veličine koja se iskazuje brojkom i, za mjernu veličinu, prihvaćenom jedinicom. Taj će rezultat biti potpun ako se iskaže i nesigurnost te procjene.

Mjerni postupak može se prikazati grafički na više načina. Na slici 1. prikazan je jedan od načina [4]. Ulazni podaci i njihove nesigurnosti obrađuju se na temelju modela za određeni mjerni zadatak. Na izlazu se dobiva izlazni podatak i njegova nesigurnost.

Na primjer, faktor snage ($\cos \varphi$), kao izlazna veličina, može se dobiti iz ulaznih veličina: djelatne snage P, napona U i struje I. Model obrade mjernih podataka je $\cos \varphi = P/UI$.

Ulazne veličine mogu se svrstati u:



Slika 1.

a) veličine čije su vrijednosti i nesigurnosti izravno određene u tekućem postupku mjerenja. Te vrijednosti i nesigurnosti mogu biti dobivene iz jednog mjerenja, ponovljenih mjerenja ili procjena temeljenih na iskustvu.
b) veličine čije su vrijednosti i nesigurnosti donesene u mjerni postupak iz vanjskih izvora, kao što su veličine povezane s etalonima i referentnim materijalima, podaci iz priručnika i slično.

Cilj mjerenja je odrediti »pravu« vrijednost fizikalne veličine, tj. vrijednost koja se savršeno poklapa s definicijom te veličine. Nažalost, »prava« vrijednost ne može se nikada odrediti zbog toga što se ne mogu u potpunosti ostvariti uvjeti pod kojima je ona definirana. U mjeriteljstvu se umjesto »prave« vrijednosti koristi »dogovorna prava vrijednost«. To je ona vrijednost pojedine veličine, prihvaćene dogovorom, koja za određenu svrhu može nadomjestiti pravu vrijednost (npr. vrijednost pridijeljena etalonu na nekoj lokaciji ili preporučena vrijednost neke stalnice). U praksi se, radi kratkoće, umjesto »dogovorna prava vrijednost« rabi izraz »prava vrijednost« ili samo »vrijednost mjerene veličine«.

Mjerni postupak nije idealan, pa nastaju *pogreške* u mjernom rezultatu. Te su pogreške prouzročene ne samo konačnom rezolucijom mjernih instrumenata i ljudskog oka, nego i nedostatkom potpune određenosti i kontrole parametara okoline, npr. temperature, vlage, elektromagnetskog polja, mehaničke sile itd. Te veličine nazivaju se *utjecajnim veličinama*.

Apsolutna pogreška je razlika između izmjerene vrijednosti i, prethodno već definirane, prave vrijednosti mjerene fizikalne veličine. Valja napomenuti da se pogreške kao i »prava« vrijednost ne mogu idealno odrediti.

Pogreške se mogu podijeliti na *slučajne* i *sustavne* (sistematske). Slučajne pogreške nastaju zbog nepredvidivih ili stohastičkih vremenskih i prostornih promjena utjecajnih veličina. Učinci (efekti) tih promjena nazivaju se slučajnim učincima, a uzrokom su rasipanju u opetovanim opažanjima mjerene veličine (ponovljena mjerenja). Slučajne pogreške ne mogu se ukloniti, ali se obično mogu smanjiti povećanjem broja opažanja. Sustavna pogreška definirana je kao razlika rezultata velikog broja ponovljenih mjerenja iste fizikalne veličine i prave vrijednosti te veličine. Ako sustavna pogreška nastaje od prepoznatljivog učinka utjecajne veličine na mjerni rezultat, tzv. sustavni učinak, taj se učinak može veličinski odrediti, te ga uzeti u obzir *ispravkom*. Ispravak je vrijednost koja, algebarski dodana ne ispravljenom mjernom rezultatu, kompenzira pretpostavljenu sustavnu pogrešku. Valja spomenuti da vrijednost ispravka često nije potpuno poznata, pa ostaju tzv. *preostale sustavne pogreške*.

Mjerni rezultat, nakon ispravka zbog poznatih sustavnih učinaka, samo je *procjena* vrijednosti fizikalne veličine zbog *nesigurnosti* nastale slučajnim učincima i nepotpunog ispravka rezultata zbog sustavnih učinaka. Nesigurnost je parametar združen s mjernim rezultatom koji opisuje područje rasipanja vrijednosti što bi mogle biti pridijeljene mjerenoj fizikalnoj veličini.

Često vremenski stalnu fizikalnu ulaznu veličinu X_i jedan mjeritelj opetovano mjeri istim mjernim instrumentom ili metodom u jednakim uvjetima okoliša. Niz tako dobivenih mjernih podataka, ako je dovoljno mjerno razlučivanje, razlikovat će se zbog slučajnih učinaka. Uz pretpostavljenu *normalnu razdiobu* [6], najbolja moguća procjena očekivane vrijednosti μ (srednja vrijednost osnovnog skupa) od n neovisnih ponovljenih opažanja x_k jest *aritmetička srednja vrijednost uzorka* (aritmetička sredina ili srednja vrijednost):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} x_k. \qquad (1)$$

Eksperimentalna varijanca s^2 procjena je varijance σ^2 (osnovnog skupa) razdiobe vjerojatnosti od x. Pozitivni drugi korijen eksperimentalne varijance naziva se *standardnim odstupanjem* (eksperimentalna standardna devijacija, srednjokvadratna pogreška pojedinačnog mjerenja) $s(x_k)$:

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n} (x_k - \bar{x})^2}. \qquad (2)$$

Standardno odstupanje pokazuje rasipanje (raspršenje) opažanih vrijednosti oko $\bar{x}$.

Najbolja procjena *varijance aritmetičke sredine* $\sigma^2(\bar{x})$ jest *eksperimentalna varijanca sredine* $s^2(\bar{x})$. Pozitivni drugi korijen te varijance naziva se *eksperimentalnim standardnim odstupanjem aritmetičke sredine* (standardna devijacija srednje vrijednosti, nepouzdanost srednje vrijednosti) [6]:

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}}. \qquad (3)$$

Ono pokazuje kako dobro $\bar{x}$ procjenjuje očekivanje μ, pa je zato mjera nesigurnosti od $\bar{x}$. Važno je spomenuti da broj opažanja n mora biti dovoljno velik (obično 30 ili veći) kako bi $\bar{x}$ bio dobra procjena očekivanja, odnosno $s(\bar{x})$ procjena $\sigma(\bar{x})$. U suprotnom treba upotrijebiti Studentovu t-razdiobu i desnu stranu (3) množiti faktorom t, čije se vrijednosti nalaze u tablicama odgovarajućih publikacija. U [3] se pretpostavlja da je $n = 10$ ili veći. Ako je n manji, množi se desna strana (3) faktorima koji su dani u tablici toga dokumenta.

3. MJERNA NESIGURNOST

U praksi postoji mnogo mogućih izvora nesigurnosti mjerenja, uključujući: a) nepotpunu definiciju mjerene fizikalne veličine; b) neodgovarajuće znanje o učincima uvjeta okoline na mjerni postupak ili nedovoljno točno mjerenje tih učinaka; c) uzorkovanje — mjereni uzorak nije predstavnik mjerene veličine; d) osobne utjecaje pri očitanju analognih instrumenta; e) vrijednosti pridijeljene mjernim etalonima i referentnim materijalima; f) vrijednosti stalnica i ostalih parametara dobivenih iz vanjskih izvora i korištenih

pri obradi mjernih podataka; g) promjene u ponovljenim opažanjima mjerene veličinu pri prividno istim uvjetima.
Svi spomenuti i drugi izvori nisu nužno neovisni, pa neki mogu utjecati na uzrok naveden pod g). Dakako, nepoznati sustavni učinci ne mogu biti uzeti u račun pri proračunu nesigurnosti rezultata mjerenja, ali oni imaju utjecaj na njegovu pogrešku.

Nesigurnost s obzirom na način proračuna može se podijeliti u dvije sastavnice, koje su u [5] označene sa A i B. U literaturi se za te sastavnice rabe nazivi »slučajna« i »sustavna« nesigurnost. To može dovesti do zabuna, jer granica između dviju sastavnica nije oštra. Naime, »slučajna« nesigurnost u jednom mjerenju može postati »sustavnom« u drugom, u kojem se rezultati prvog mjerenja koriste kao ulazna veličina. Zato se preporučuje da se razlikuju načini proračuna sastavnica nesigurnosti, a ne one same. Razdvajanje u sastavnice A i B samo je radi ukazivanja na dva različita načina njihova proračuna, jer nema razlike u prirodi tih sastavnica. Proračun obiju sastavnica temelji se na razdiobi vjerojatnosti, a veličinski se određuju iz varijance ili standardnog odstupanja.

Sastavnica A dobiva se iz eksperimentalne nepouzdanosti srednje vrijednosti ponovljenih mjerenja i u [5] naziva se *standardnom nesigurnosti vrste* A, a sastavnica B, nazvana *standardnom nesigurnosti vrste* B, dobiva se računom na temelju prosudbi relevantnih informacija o mogućim promjenama ulazne veličine X_i. U [3] sastavnice nesigurnosti nemaju posebna imena.
Grube pogreške u zapisivanju ili analizi podataka mogu uvesti nepoznate pogreške u mjerni rezultat. Velike grube pogreške mogu se raspoznati pažljivim pregledom podataka.

Iz slike 1. slijedi da se izlazna veličina Y može odrediti iz N ulaznih veličina $X_1, X_2, \ldots X_N$, funkcijski povezane:

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots X_N). \qquad (4)$$

Primjer 1. Na temperaturno ovisan otpornik otpora R_o s linearnim temperaturnim koeficijentom otpora α priključi se, pri temperaturi t_o napon U. Snaga P, koja se disispira na otporniku pri temperaturi t, ovisi o U, R_o, α i t, pa se može pisati $P = f(V, R_o, \alpha, t) = U^2/R_o[1+\alpha(t-t_o)]$.

Ako se procjena veličine Y označi s y, dobiva se iz ulaznih procjena $x_1, x_2, \ldots, x_N$ veličina $X_1, X_2, \ldots X_N$, izlazna procjena y kao rezultat mjerenja

$$y = f(x_1, x_2, \ldots, x_N). \qquad (5)$$

Pritom se pretpostavlja da je svaka ulazna procjena ispravljena za sve sustavne učinke koje signifikantno utječu na procjenu y. Ulazne veličine, o kojima ovisi mjerena veličina Y, mogu same ovisiti o drugim veličinama, što vodi do vrlo složenih veza koje se nekad ne mogu eksplicite prikazati. Nadalje, funkcija f može se odrediti pokusom ili postojati kao algoritam koji se mora riješiti numerički. Ako podaci pokažu da f nije model mjernog postupka, koji odgovara zahtijevanim granicama pogrešaka, tada su potrebne dodatne ulazne veličine. One daju dovoljno znanja o zbivanjima koji utječu na mjerenu veličinu. To bi npr. u primjeru 1. bilo: nejednolika raspodjela temperature na otporniku, mogući nelinearni koeficijent otpora itd.

3.1. Određivanje standardne nesigurnosti vrste A

Standardna nesigurnost vrste A dobiva se iz skupa ponovljenih mjerenja i procijenjenoga standardnog odstupanja (3), pa je $u(x_i) = s(\bar{x})$ standardna nesigurnost vrste A.

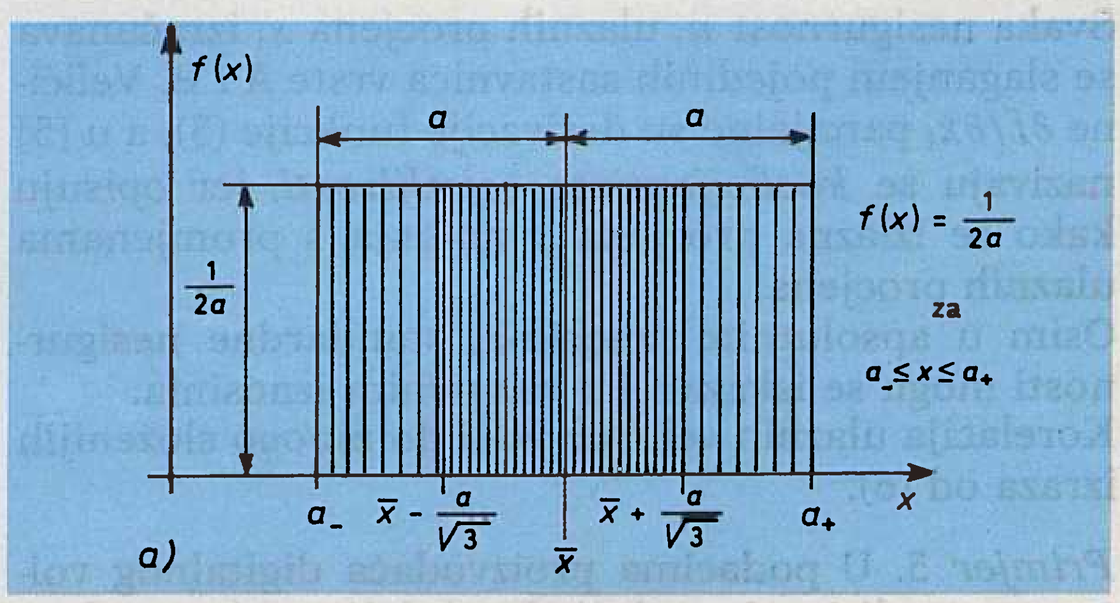
3.2. Određivanje standardne nesigurnosti vrste B

Standardna nesigurnost vrste B temelji se na: a) skupu vjerodostojnih prethodnih mjernih podataka; b) iskustvu ili općem znanju o ponašanju i značajkama relevantnih materijala i instrumenata; c) podacima proizvođača; d) podacima o umjeravanju; e) nesigurnostima pojedinih stalnica naznačenim u priručnicima.
Procjenama vrijednosti x_i ulazne veličine pridružuje se procjenjena varijanca $u^2(x_i)$ ili standardno odstupanje $u(x_i)$ izračunatih na temelju prosudbi zasnovanih na svim relevantnim informacijama o mogućim promjenama x_i.
U velikom broju dostupnih informacija mogu se pojaviti različiti načini prikazivanja podataka. Neki od njih su [5]:

1. Nesigurnost u podacima proizvođača, umjernog (baždarnog) lista, priručnika, itd. iskazana je kao višekratnik nepouzdanosti (3). Tada se standardna nesigurnost $u(x_i)$ određuje dijeljenjem iskazane vrijednosti s višekratnikom.

Primjer 2. U umjernom listu navedeno je da masa m_s etalonskog utega nazivne vrijednosti 1 kg iznosi 1 000,000 325 g, a nesigurnost te vrijednosti 270 μg uz P = 99,7 % (3σ). Standardna nesigurnost etalonskog utega jest $u(m_s) = 270/3 = 90$ μg.

2. Može se samo procijeniti gornja i donja granica za X_i, te tvrditi »vjerojatnost da vrijednost od X_i leži unutar područja a_- i a_+ jednaka je 1, a vjerojatnost da leži izvan tih granica jednaka je ništici«. Takva razdioba gustoće vjerojatnosti naziva se *jednolikom ili pravokutnom*. Gustoća te razdiobe vjerojatnosti $f(x)$ prikazana je na slici 2. Očekivana vrijednost od X_i jest $x_i = (a_- + a_+)/2$ s pripadajućom varijancom $u^2(x_i) = (a_+ - a_-)^2/12$. Ako se



Slika 2.

razlika granica označi s $2a$, varijanca je $a^2/3$, a standardno odstupanje $s=a/\sqrt{3}$, jednako je standardnoj nesigurnosti $u(x_i)$.

Primjer 3. U priručniku stoji da je koeficijent termičkoga linearnog istezanja čistog bakra pri 20 °C $\alpha_{20}(\mathrm{Cu})=16{,}52\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$, kao i tvrdnja da »pogreška te vrijednosti ne premašuje $0{,}40\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$«. Na temelju tih informacija može se pretpostaviti da vrijednost koeficijenta leži, s jednakom vjerojatnošću, unutar područja $16{,}12\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$ i $16{,}92\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$, a nevjerojatno je da koeficijent leži izvan tog područja. Varijanca $u^2(\alpha_{20})$ te simetrične jednolike razdiobe mogućih vrijednosti $\alpha_{20(\mathrm{Cu})}$, s poluširinom $\alpha=0{,}40\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$, jest $(0{,}40\times10^{-6})^2/3=53{,}3\times10^{-15}/\,^{\circ}\mathrm{C}^2$, a standardna nesigurnost $u(\alpha_{20})=(0{,}40\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C})/\sqrt{3}=0{,}23\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$.

3. Gornja a_+ i donja a_- granica za ulaznu veličinu X_i mogu biti nesimetrične s obzirom na najbolju procjenu x_i. Na primjer, ako se donja granica napiše kao $a_-=x_i-b_-$, a gornja kao $a_+=x_i+b_+$, s time da je b_+ različito od b_-. Iz toga slijedi da x_i nije u središtu raspona a_+ i a_-, pa razdioba vjerojatnosti od X_i u tom rasponu neće biti jednolika. Ako nema dovoljno podataka na temelju kojih bi se mogla odabrati prikladna razdioba, najjednostavnija je aproksimacija jednolikom razdiobom s punom širinom b_++b_-, čija je varijanca $u^2(x_i)=(b_++b_-)^2/12=(a_+-a_-)^2/12$.

Primjer 4. Ako bu u 3. primjeru vrijednost koeficijenta u priručniku bila dana s tvrdnjom »najmanja moguća vrijednost je $16{,}40\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$, a najveća moguća vrijednost je $16{,}92\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$«, tada bi bilo $b_-=0{,}12\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$ i $b_+=0{,}40\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$, a standardna nesigurnost $u(\alpha_{20})=0{,}15\times10^{-6}/\,^{\circ}\mathrm{C}$.

3.3. Određivanje složene (kombinirane) standardne nesigurnosti

Ulazne veličine mogu biti međusobno ovisne (veličine koje koreliraju) i neovisne. Kada su neovisne, standardna nesigurnost u_c procjene y, kao rezultat mjerenja veličine Y dobiva se slaganjem standardnih nesigurnosti ulaznih procjena $x_1, x_2, \ldots, x_N$:

$$u_c(y)=\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 u^2(x_i)}. \qquad (6)$$

Svaka nesigurnost u_i ulaznih procjena x_i izračunava se slaganjem pojedinih sastavnica vrste A i B. Veličine $\partial f/\partial x_i$ parcijalne su derivacije funkcije (5), a u [5] nazivaju se *koeficijentima osjetljivosti,* jer opisuju kako se izlazna procjena y mijenja s promjenama ulaznih procjena.
Osim u apsolutnim iznosima, standardne nesigurnosti mogu se iskazati i u relativnim iznosima.
Korelacija ulaznih veličina vodi do mnogo složenijih izraza od (6).

Primjer 5. U podacima proizvođača digitalnog voltmetra tvrdi se »između jedne i dvije godine nakon umjeravanja instrumenta, njegova pogreška na mjernom opsegu 1 V je 14×10^{-6} od očitanja plus 2×10^{-6} od mjernog opsega«. Neka se instrument koristi 18 mjeseci nakon umjeravanja za mjerenje napona na mjernom opsegu 1 V. Aritmetička sredina ponovljenih neovisnih opažanja napona iznosi 0,928 571 V sa standardnom nesigurnosti vrste A $u(\bar{U})=12\ \mu\mathrm{V}$. Proračun standardne nesigurnosti vrste B temelji se na podacima proizvođača uz pretpostavku da navedene vrijednosti označavaju simetrične granice unutar kojih se, uz jednaku vjerojatnost, nalazi ΔU, čije je očekivanje $\Delta\bar{U}=0$. To znači da nema sustavnih pogrešaka, pa je ispravak jednak ništici. Poluširina simetrične jednolike razdiobe mogućih vrijednosti $\Delta\bar{U}$ je $a=(14\times10^{-6})\ (0{,}928\,571\ \mathrm{V})+(2\times10^{-6})\ (1\ \mathrm{V})=15\,\mu\mathrm{V}$. Standardna nesigurnost vrste B prema tome je $u(\Delta\bar{U})=8{,}7\ \mu\mathrm{V}$. Procijenjena vrijednost mjerene veličine jest $u=\bar{U}+\Delta\bar{U}=0{,}928\,571$ V, a složena standardna nesigurnost te procjene dobiva se iz standardnih nesigurnosti vrste A i B. Kako je $\partial U/\partial\bar{U}=1$ i $\partial U/\partial(\Delta\bar{U})=1$, složena standardna nesigurnost je prema (6) $u_c=[u^2(\bar{U})+u^2(\Delta\bar{U})]^{1/2}=14{,}8\ \mu\mathrm{V}$.

3.4. Određivanje proširene nesigurnosti

U [5] je definirana i *proširena nesigurnost U,* koja se dobiva množenjem složene standardne nesigurnosti $u_c(y)$ faktorom (coverage factor) k, tj. $U=ku_c(y)$.

Korištenjem složene nesigurnosti rezultat mjerenja iskazuje se kao $Y=y\pm U$. U rasponu od $y-U$ do $y+U$ može se očekivati veći dio razdiobe vrijednosti, koje se mogu pridodati veličini Y. Vrijednost faktora k odabire se na temelju zahtijevane *razine pouzdanosti* za područje $y\pm U$. Obično se k odabire u rasponu između 2 i 3, ali u nekim posebnim slučajevima može biti izvan tog raspona. Pritom se pretpostavlja normalna razdioba. Zanimljivo je da se u [3] ne spominje izričaj »proširena nesigurnost«, a obvezno se rabi $k=2$, što znači da je razina pouzdanosti p u tom slučaju približno 95 %. U složenoj nesigurnosti implicite se pretpostavlja da je $k=1$, pa je razina pouzdanosti 68,3 %.

3.5. Iskazivanje mjerne nesigurnosti

U načelu, sve informacije potrebne za ponavljanje mjerenja, moraju biti pristupačne svima koji ih trebaju. Dio potrebnih informacija mogu se dobiti iz publiciranih umjernih i ispitnih izvješća, umjernica, uputa, međunarodnih i nacionalnih normi te lokalnih propisa. Količina informacija koju treba za dokument o mjerenju ovisi o namjeni tog dokumenta. Temeljno je načelo da pri iskazivanju rezultata mjerenja i njihove nesigurnosti valja dati što više informacija. Na primjer treba:

a) jasno opisati metode korištene za izračunavanje rezultata mjerenja i njegove nesigurnosti iz opažanja i ulaznih podataka;
b) iskazati sve sastavnice nesigurnosti i navesti kako su dobivene;

c) navesti analizu podataka, kako bi svatko mogao slijediti važnije korake i, ako želi, neovisno izračunati rezultat naveden u izvješću;
d) navesti sve ispravke i stalnice korištene u analizi kao i njihove izvore.

Kratko rečeno, uvijek se treba navesti dovoljan broj podataka, na dovoljno jasan način, kako bi se rezultat mjerenja mogao obnoviti u budućnosti ako budu pristupačni novi podaci.

U [5] se predlaže da numerički rezultat mjerenja sa složenom standardnom nesigurnosti $u_c(y)$ bude iskazan na jedan od četiri načina.

Kao primjer navodi se procijenjena vrijednost mase etalonskog utega nazivne mase 100 g. Riječi u zagradama mogu se ispustiti ako su pojmovi već negdje spomenuti u izvješću o mjerenju:

1. »$m_s = 100{,}021\,47$ g (sa složenom standardnom nesigurnosti) $u_c = 0{,}35$ mg«.
2. »$m_s = 100{,}021\,47(35)$ g«. Iznos u zagradi je numerička vrijednost u_c koja korespondira posljednjim znamenkama iskazanog rezultata.
3. »$m_s = 100{,}021\,47(0{,}00\,35)$«.
4. »$m_s = 100{,}021\,47 \pm 0{,}000\,35)$ g«.

U [5] se napominje da iskazivanje na 4. način valja izbjegavati gdje je god moguće, jer se on koristi za iskazivanje raspona koji odgovara razini pouzdanosti, pa može doći do zamjene s proširenom nesigurnošću (vidjeti 3.4). U [3] se rezultat iskazuje samo na taj način. Prema našoj procjeni i iskazivanje na 2. način može dovesti do zabuna, pa se jamačno i zbog toga malokad susreće.

Kada se iskazuje proširena nesigurnost, treba:

a) precizno opisati kako je veličina Y definirana;
b) predočiti rezultate kao $Y = y \pm U$ i navesti jedinice;
c) navesti vrijednost za k pomoću koje je dobiven U, ili navesti k i $u_c(y)$;
d) navesti podatke za svaku procjenu ulazne veličine i njezinu standardnu nesigurnost, s opisom kako su dobivene, te eventualne ispravke i sustavne učinke, kao i procjene njihovih vrijednosti i proračun njihovih nesigurnosti.

Na kraju, radi boljeg snalaženja u izloženome o mjernoj nesigurnosti, evo još jednog primjera.

Primjer 6. Struja I mjerena je 20 puta putem pada napona U na poznatom otporu R. Napon je mjeren pri temperaturi okoline $(23 \pm 3)\,^\circ$C, digitalnim voltmetrom ulaznog otpora većeg od $10^9\ \Omega$, pa se može zanemariti struja kroz njega. Ovisnost izlazne veličine o ulaznoj dan je jednadžbom $I = U/R$. Srednja je vrijednost izmjerenog napona $\bar{U} = 100{,}03$ mV, a standardno odstupanje $s(U) = 98{,}4 \times 10^{-6}$ V.

a) Standardno odstupanje srednje vrijednosti određuje se koristeći t-razdiobu uz $p = 68{,}3\,\%$, pa je standardna nesigurnost vrste A $u(\bar{U}) = 1{,}03(98{,}4 \times 10^{-6})/\sqrt{20} = 23 \times 10^{-6}$ V.
b) Prema podacima proizvođača digitalnog voltmetra, na mjernom opsegu 200 mV u temperaturnom opsegu 15 °C do 35 °C, granice pogrešaka su 0,025 % od mjerene vrijednosti plus 0,01 % od mjernog opsega. Pri mjerenju 100 mV granice pogrešaka iznose $0{,}025 + 2 \times 0{,}01 = 0{,}045\,\%$ ili 45×10^{-6} V. Uz pretpostavku jednolike razdiobe dobiva se standardna nesigurnost vrste B $u(V) = 45 \times 10^{-6}/\sqrt{3} = 26 \times 10^{-6}$ V.
c) Iz podataka o otporniku saznaje se da pri struji 10 A i temperaturi 23 °C njegov otpor iznosi $R = 0{,}010\,018\ \Omega$ s relativnom nesigurnošću $u(R) = 6 \times 10^{-4}$, ili $6 \times 10^{-6}\ \Omega$ uz $k = 2$. Standardna nesigurnost vrste B iznosi $u(R1) = 6 \times 10^{-6}/2 = 3 \times 10^{-6}\ \Omega$. Relativni temperaturni koeficijent otpora u temperaturnom rasponu 15 °C do 26 °C iznosi 5×10^{-5}/K, ili $5 \times 10^{-7}\ \Omega$/K. Za temperaturu okoliša u rasponu ±3 K, uz pretpostavku jednolike razdiobe, standardna nesigurnost vrste B je $u(R2) = 3(5 \times 10^{-7})/\sqrt{3} = 0{,}87 \times 10^{-6}\ \Omega$. Utjecaj temperature na voltmetar uzet je u račun pod b).

Struja je $I = 0{,}100\,03/0{,}010\,018 = 9{,}985$ A. Složena nesigurnost te struje može se izračunati iz (6):

$$u_c^2(I) = \left[\frac{\partial (U/R)}{\partial U}\right]^2 [u^2(\bar{U}) + u^2(\mathrm{V})] + \left[\frac{\partial (U/R)}{\partial R}\right]^2 [u^2(R1) + u^2(R2)]$$

$$u_c^2(I) = \frac{1}{R^2} [u^2(\bar{U}) + u^2(V)] + \frac{U^2}{R^4}[u^2(R1) + u^2(R2)]$$

$$u_c^2(I) = (5{,}29 + 6{,}76)10^{-6} + (9 + 0{,}76)10^{-6} = 21{,}8 \times 10^{-6}\ \mathrm{A}^2$$

$$u_c(I) = \sqrt{21{,}8 \times 10^{-6}\ \mathrm{A}^2} = 4{,}7\ \mathrm{mA}.$$

Na kraju se može, prema 1. načinu iskazivanja mjerene nesigurnosti, napisati $I = 9{,}985$ A, $u_c(I) = 4{,}7$ mA, ili na 3. način $I = 9{,}985(0{,}0047)$ A.

Proširena nesigurnost za razinu pouzdanosti 95 % ($k = 2$) iznosi $u = 2 \times 4{,}7$ mA $= 9{,}4$ mA.

4. ZAKLJUČAK

Mjerna nesigurnost važan je i nužan dodatak mjernom rezultatu, pa se mjerni rezultat bez iskazivanja nesigurnosti neće prihvaćati. Između važnijih publikacija o nesigurnosti [3] i nacrta [5] postoje razlike. U [3] nema posebnih naziva i oznaka za sastavnice A i B, te složenu i proširenu nesigurnost. Nadalje se u [3] obvezno koristi faktor $k = 2$, tj. implicite se obvezno iskazuje proširena nesigurnost. Dokument [5] je pregledan, opširan, s mnogo primjera i jasniji, pa je lakše prihvatljiv. Može se dovoljno pouzdano tvrditi da će se njegovom primjenom osigurati jednoznačnost, jednostavnost i jasnoća u iskazivanju mjernih rezultata u svim područjima znanosti, industrije i trgovine. Time će se postići bolje osiguranje i kontrola kakvoće, pridržavanje zakona i propisa na području meriteljstva, bolje vođenje istraživanja, veća kakvoća umjeravanja i sljedivosti etalona, itd.

LITERATURA

[1] GIACOMO P.: »On the expression of uncertainties, Quantum Metrology and Fundamental Physical Constants«, Plenum, New York, 1983.

[2] *** The expression of uncertainty in electrical measurements, National Measurement Accreditation Service (NAMAS), B3003, National Physical Laboratory, April 1986.

[3] *** Western European Calibration Cooperation (WECC), Doc. 19 – 1990.

[4] *** Grundbegriffe der Meßtechnik, DIN 1319, Teil 4, Dezember 1985.

[5] *** Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO/TAG4, First edition, January 1993.

[6] BEGO V.: »Mjerenja u elektrotehnici«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.

INSECURITY STATEMENTS IN MEASURING

Imperfection of measuring procedure measuring equipment, environmental influences, surveyor, etc. cause insecurity of the measuring result. Therefore it is necessary to determine the measuring insecurity, as real values of the variables measured. The author offered an approach to the insecurity calculation of the measuring.

ANZEIGE DER UNSICHERHEIT BEI DER MESSUNG

Die Gründe der Unsicherheit des Meßergebnisses sind die Unvollkommenheiten des Meßverfahrens, der Meßausrüstung und des Meßungsdurchführenden, weiters die Umgebungseinflüße und anderes mehr. Deshalb ist es unumgänglich die Unsicherheit des Meßergebnisses, in Form des quantitativen Merkmales seiner Qualität, anzugeben. Der Verfasser legt die Gründe der Durchführung der Meßunsicherheitsberechnung aus.

Naslov pisca:

Prof. dr. Dušan Vujević,
dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet Zagreb,
41000 Zagreb, Unska 17,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993-10-18.

TERCIJAR TRANSFORMATORA, ŠTO I KAKO S NJIM?

Prof. dr. Tomislav Kelemen, Zagreb

UDK 621.314.04
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Tercijar, niženaponski namotaj u trofaznom transformatoru s višenaponskim i srednjenaponskim namotima u spoju Yy, spojen u trokut s izvodima koji ga čine opteretivim, dimenzioniran najčešće za trećinu nazivne snage transformatora, često je izložen naponskim i mehaničkim naprezanjima koja nerijetko završavaju kvarom transformatora. Uz odgovarajuću zaštitu tercijara, pravilan izbor opreme koja se na njega priključuje i njegovo dimenzioniranje prilagođeno mogućim naponskim i stanjima u mreži, mogli bi se izbjeći mnogi kvarovi.

Ključne riječi: tercijar, stabilizacijski namot, kvarovi, zaštita.

1. UVOD

Kvarovi na tercijaru velikih transformatora u nas i u svijetu bili su razlogom istraživanja uzroka tih kvarova. Dio iskustava i spoznaja iz tog projekta, što ga je sufinanciralo i Ministarstvo znanosti i tehnologije Hrvatske, iznosi se u ovom radu.

2. TERCIJAR I STABILIZACIJSKI NAMOT

Tercijar je jedan od namotaja u trofaznom tronamotnom transformatoru ili autotransformatoru, obično najniži po razini nazivnog napona, najčešće građen za trećinu nazivne snage, jedini u spoju trokut, te s priključcima na poklopcu ili kotlu koji omogućuju njegovo trofazno terećenje. Namotaj koji ima sve značajke tercijara osim opteretivosti vanjskim teretom (izveden samo jedan vrh trokuta radi uzemljenja i kontrolnih mjerenja) naziva se stabilizacijskim namotom. Jedan ili drugi jednako su važni za pouzdan rad transformatora kao i namoti višeg i srednjeg napona. Redovito se postavljaju kao prvi namotaj uz stup jezgre. Transformator ne mora imati tercijar ni stabilizacijski namot, ali ako ih ima, onda može raditi samo ako su oni ispravni. Zato je svaki put prije odluke o kupnji transformatora dobro promisliti je li tercijar ili stabilizacijski namot potreban. Ako jedan od njih već postoji, onda ga treba štititi kao i druge namote, imajući na umu osobito njegove slabe točke. Budući da im je funkcija umnogome slična, treba naznačiti u čemu se razlikuju.

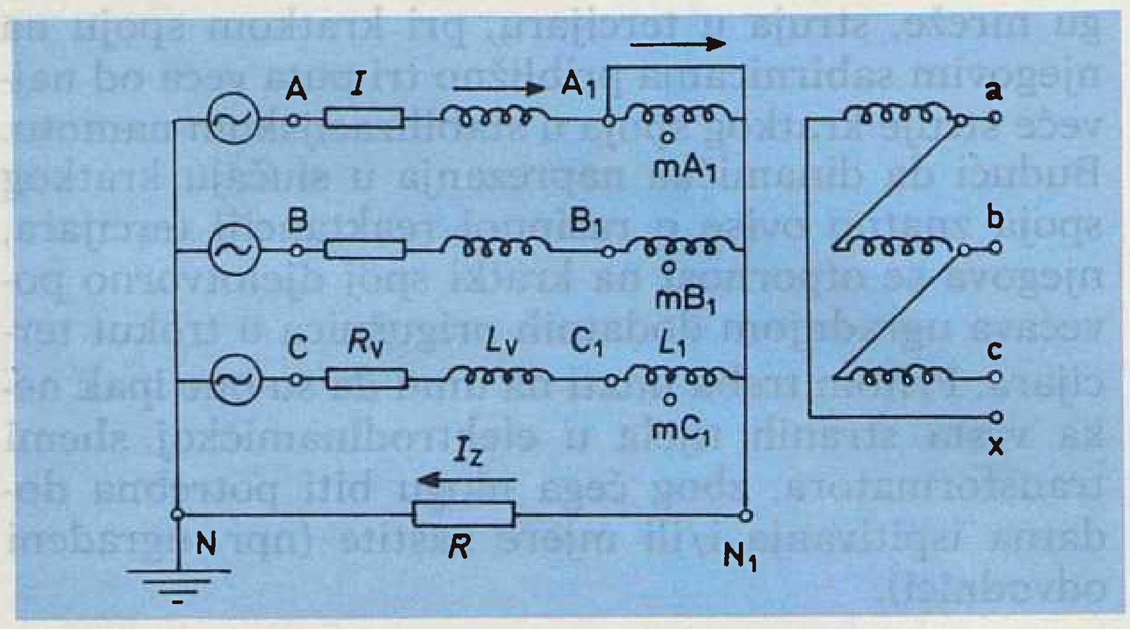
Mehanička i električka naprezanja stabilizacijskog namota nastaju isključivo posredstvom osnovnih namota putem kojih se vanjske smetnje dijelom prenose i na stabilizacijski namot. Njega npr. treba dimenzionirati tako da izdrži dinamička naprezanja pri jednopolnom kratkom spoju jednog od glavnih namota, mora podnijeti udarne napone što se na njega prenose tijekom ispitivanja drugih namota ili u uvjetima pogona. Tercijar je, međutim, izložen dodatnim opasnostima poput izravnog kratkog spoja na njegovim sabirnicama, atmosferskih prenapona i sklopnih prenapona što nastaju u interakciji tercijara s priključenom opremom. Dimenzionira se obično za trećinu nazivne snage transformatora, pa je po prirodi stvari mehanički manje robustan od osnovnih namota. Ipak, mora biti mehanički čvršći od stabilizacijskog namota, jer je, uz iste rasipne reaktancije i snagu mreže, struja u tercijaru, pri kratkom spoju na njegovim sabirnicama približno tri puta veća od najveće struje kratkog spoja u stabilizacijskom namotu. Budući da dinamička naprezanja u slučaju kratkog spoja znatno ovise o rasipnoj reaktanciji tercijara, njegova se otpornost na kratki spoj djelotvorno povećava ugradnjom dodatnih prigušnica u trokut tercijara. Pritom treba imati na umu da su one ipak neka vrsta stranih tijela u elektrodinamičkoj shemi transformatora, zbog čega mogu biti potrebna dodatna ispitivanja i/ili mjere zaštite (npr. ugrađeni odvodnici).

3. KAKO DJELUJE TERCIJAR

Spajanje namota u trokut zapravo je serijsko spajanje u zatvoreni krug triju jednakih namotaja, s tri stupa trofaznog transformatora. Na taj se način u tercijaru sumiraju inducirane EMS iz sva tri stupa. Sve direktne i inverzne komponente induciranih napona u sumi daju nulu, tako da u zatvorenom krugu ostaju samo nulte komponente napona i struje koje one tjeraju. Iz te činjenice proizlazi i veći dio djelovanja tercijara.

Nulta se reaktancija trofaznog transformatora mjeri tako da se sinusni napon priključi između krajeva paralelno spojenih namota sve tri faze. Dok je tercijar otvoren, struja je relativno malena, jer se narinutom naponu suprotstavljaju glavni induktiviteti paralelno spojenih namota. Nulta će reaktancija ovisiti o povratnom putu magnetskih silnica. Ako je jezgra peterostupna ili ako je riječ o trofaznom bloku jed-

nofaznih transformatora, put magnetskih silnica stalno je u magnetskoj jezgri i nulta reaktancija je visoka, reda je veličine reaktancije praznog hoda i nelinearna je funkcija narinutog napona. U trostupnoj jezgri povratni put magnetskog toka ide kroz okolni prostor između namota i kotla kamo ga guraju vrtložne struje u kotlu, a dijelom zahvaća i kotao. Nulta je reaktancija trostupne jezgre zbog toga osjetno niža i manje je ovisna o naponu nego u prethodnom slučaju. U svim opisanim primjerima u otvorenom se tercijaru, u svakom zavoju, inducira napon blizak naponu po zavoju u napajanim namotima. Ako se tercijar zatvori, dogodit će se isto kao kada se pri pokusu praznog hoda sekundarne stezaljke kratko spoje. Magnetski tok će biti izbačen iz stupa i morat će prolaziti prostorom između napajanog namota i tercijara. Time će nulta reaktancija postati praktično jednaka reaktanciji kratkog spoja između napajanog namota i tercijara, te praktički neovisna o naponu. Primjerice, autotransformator 150 MVA, $380 \pm 8*1.25\%/158/15.8$ kV ima struju praznog hoda oko 1 A, nultu impedanciju na VN strani pri otvorenom trokutu tercijara približno 200 000 oma, a pri zatvorenom 250 oma.
Tercijar, dakle, ruši nultu reaktanciju od iznosa bliskog reaktanciji praznog hoda na iznos blizak reaktanciji kratkog spoja. To objašnjava i djelovanje tercijara u smislu simetriranja tereta i sniženja faktora uzemljenja u efektivno uzemljenoj mreži.



Slika 1. Jednopolni kratki spoj na primaru uzemljenog autotransformatora pri otvorenom tercijaru — shema

U uzemljenom autotransformatoru s otvorenim tercijarom prema slici 1, kratki će spoj između A_1 i N_1 istjerati magnetski tok iz stupa $A_1 - N_1$. Pri zanemarivom otporu uzemljenja, točka A_1 će doći na potencijal nultočke izvora N, napon izvora A – N će se potrošiti na impedanciji voda od A do A_1, a naponi zdravih faza transformatora neće se mijenjati. Struje praznog hoda u zdravim fazama trostupne jezgre će porasti zbog povećanja otpora magnetskog kruga, a ako je jezgra s povratnim magnetskim putem, struje se magnetiziranja praktički neće mijenjati. S porastom otpora uzemljenja R, putovat će kratkospojene točke A_1 i N_1 prema potencijalu točke A putem koji će određivati ukupna impedancija voda i uzemljenja.
Uz oznake $Z_v = R_v + jX_v$ za zajedničku impedanciju voda i izvora te X_1 za reaktanciju praznog hoda transformatora, stacionarno stanje u shemi prema slici 1 opisuje sustav jednadžbi (1):

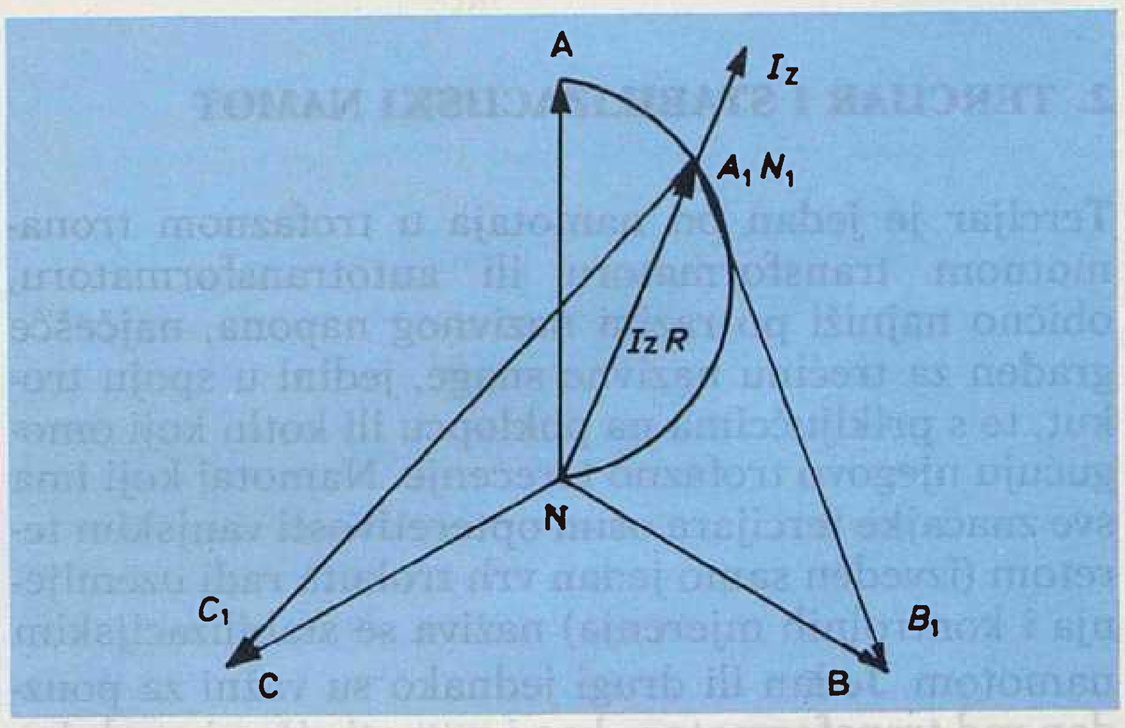
$$\begin{aligned} U_A &= I_A Z_v + I_z R \\ U_B &= I_B (Z_v + j\, X_1) + I_z R \\ U_C &= I_C (Z_v + j\, X_1) + I_z R \\ O &= I_A + I_B + I_C - I_z. \end{aligned} \qquad (1)$$

Neposredno iz (1) slijedi izraz (2) za kružni dijagram, što ga nad naponom U_A, na slici 2, crta nultočka transformatora N_1 odnosno vrh fazora napona $U_R = I_Z R$ pri promjeni iznosa otpora R u granicama od 0 do ∞.

$$I_z R = U_R = \frac{U_A}{\left(1 - j\,\frac{Z_v}{X_1}\right)\left(1 + \frac{Z_v}{R}\right) - j\,\frac{2 Z_v}{X_1}} \approx$$

$$\approx \frac{U_A}{1 + \frac{R_v}{R} + j\,\frac{X_v}{R}} \qquad (2)$$

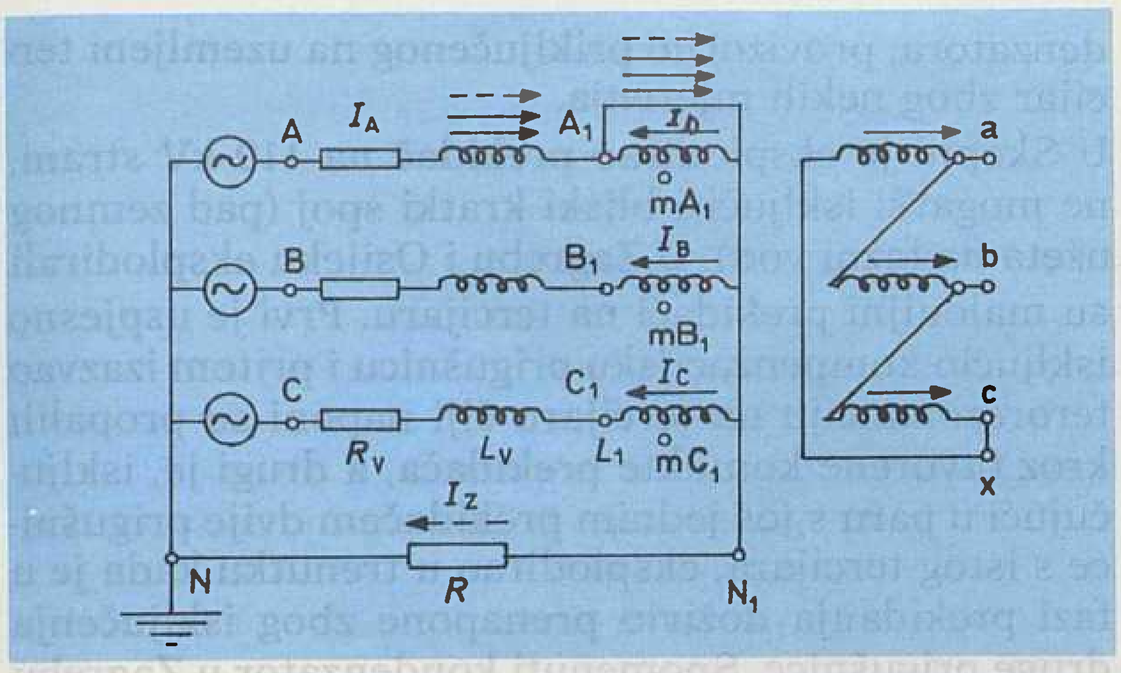
U tim uvjetima naponi zdravih faza transformatora mogu poprimiti iznose veće od linijskih napona, kako to pokazuje slika 2.



Slika 2. Fazorski dijagram napona na primaru autotransformatora u uvjetima prema sl. 1 i otporu uzemljenja u rasponu $0 \le R \le \infty$

Dakako da pri tako visokim faznim naponima transformator ulazi u visoko zasićenje, struja magnetiziranja raste i do reda veličine nazivne struje i donekle ublažava rast napona zdravih faza.
Stacionarno stanje pri zatvorenom tercijaru opisuje sustav jednadžbi (3) napisan za shemu i smjerove struja prema slici 3. Za ωM_{13} koristi se oznaka X_m, a za ωL_3 oznaka X_3.

$$\begin{aligned} U_A &= I_A Z_v + I_z R \\ U_B &= I_B (Z_v + j\, X_1) + I_3 (j\, X_m) + I_z R \\ U_C &= I_C (Z_v + j\, X_1) + I_3 (j\, X_m) + I_z R \\ O &= I_B (j\, X_m) + I_C (j\, X_m) + I_D (j\, X_m) + I_3 (-j\, 3\, X_3) \\ O &= I_D (j\, X_1) - I_3 (j\, X_m) \\ O &= I_A - I_B - I_C - I_z \end{aligned} \qquad (3)$$



Slika 3. Jednopolni kratki spoj na primaru uzemljenog autotransformatora pri zatvorenom tercijaru — shema

Uvedu li se uobičajene oznake za faktor rasipanja σ i rasipnu reaktanciju X_σ prema (4):

$$\sigma = 1 - \frac{X_m^2}{X_1 \; X_3} \quad \text{i} \quad X_\sigma = \sigma X_1 \tag{4}$$

dobiva se iz (3) izraz (5) za novi kružni dijagram napona U_{Rt} nultočke transformatora N_1:

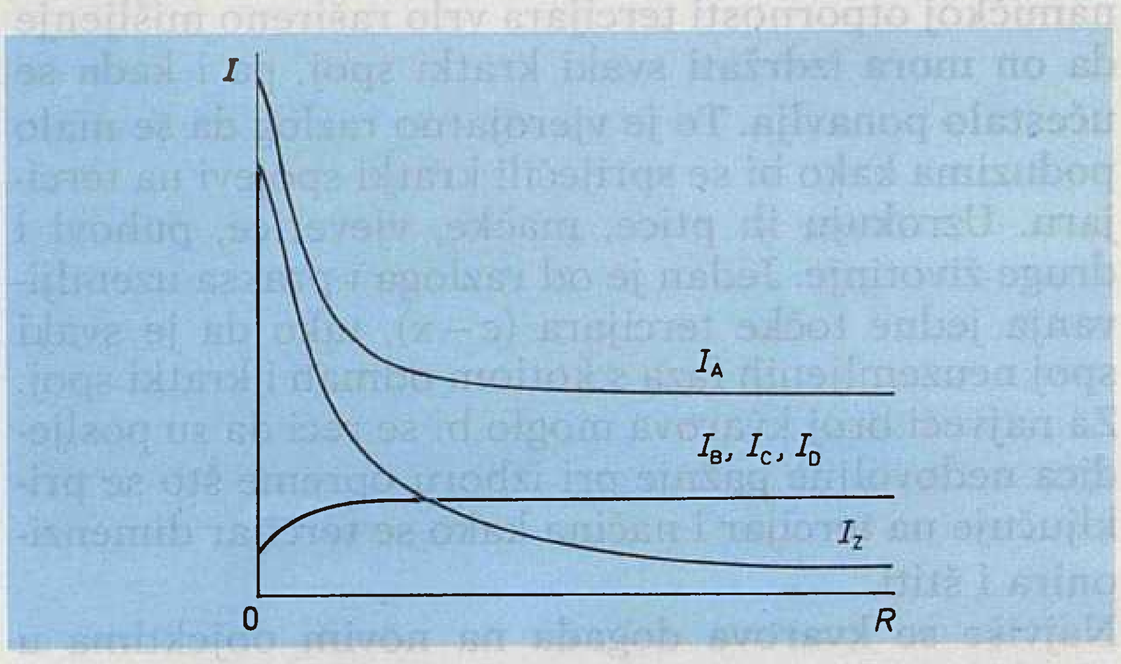
$$U_{Rt} = I_{zt} R = \frac{U_A}{1 + \frac{Z_v}{R} - j\,(2+\sigma)\left(1 + \frac{Z_v}{3\,R}\right)\frac{Z_v}{X_\sigma}}. \tag{5}$$

Umjesto s reaktancijom praznog hoda X_1, zahvaljujući tercijaru, transformator sada u napajanju kratkog spoja sudjeluje s rasipnom reaktancijom prema tercijaru X_σ. Naponi zdravih faza sada su manji nego pri otvorenom tercijaru, jer ih umanjuju padovi napona zbog struja I_B i I_C koje napajaju mjesto kratkog spoja i jer je dijametar kružnog dijagrama napona U_R manji. Smanjenje dijametra kružnog dijagrama slijedi iz limesa omjera izraza (5) i (2) kada R teži u beskonačnost i iznosi:

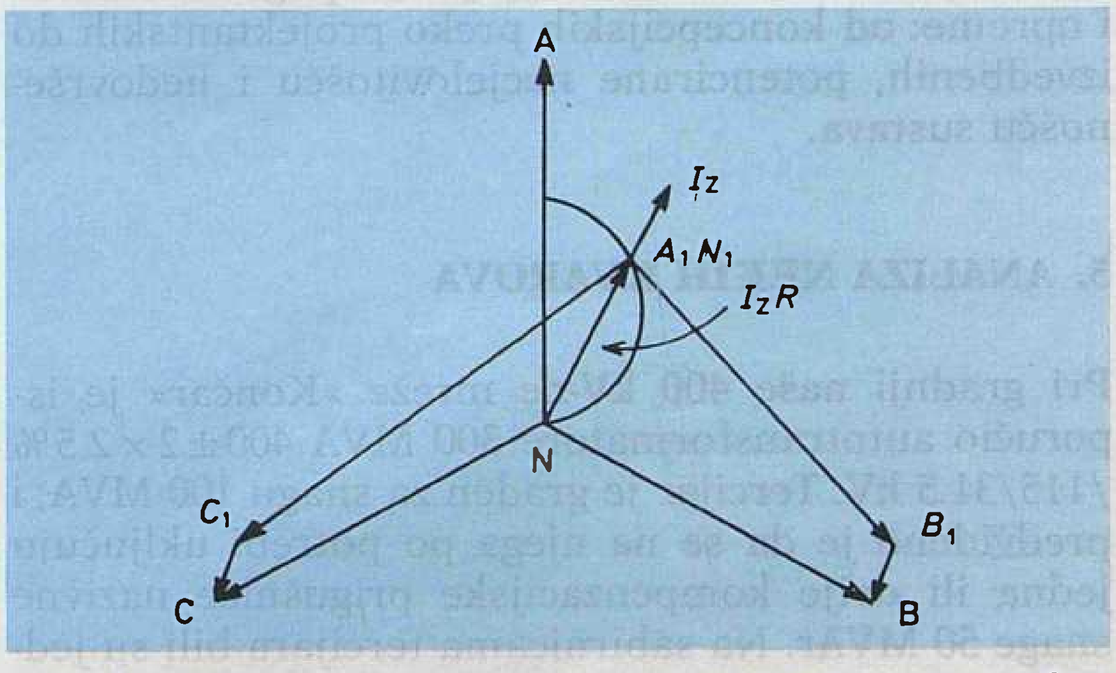
$$\Delta\% = 100\,(1 - \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{2X_v}{X_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{2R_v}{X_\sigma}\right)^2}}). \tag{6}$$

Zatvaranjem tercijara (sl. 3) snizuju se njegove nulte reaktancije za dva do tri reda veličine. Mjesto kratkog spoja napajaju sada sva tri fazna namota transformatora. S rastom otpora uzemljenja R smanjuje se struja I_z, a rastu struje I_B, I_C, I_D koje teku primarom. Odnose u izabranom primjeru voda srednje duljine s transformatorom 150 MVa, u ovisnosti o otporu R pokazuje dijagram na slici 4. Struje I_B, I_C i I_D praktički su međusobno jednake i u fazi, jer ih na to prisiljava djelovanje tercijara, koji prenosi energiju iz zdravih faza u kratkospojenu, osiguravajući da sve faze transformatora podjednako napajaju mjesto kratkog spoja. Posljedica je takvog djelovanja tercijara i ograničenje rasta napona zdravih faza, koji praktički ostaju u granicama propisanim za djelotvorno uzemljenu mrežu (sl. 5).

Ponekad se zbog smanjenja rasklopne snage, u pojedinim točkama mreže, izolira nultočka transformatora. Ako je transformator u spoju Yy, treći harmonik struje magnetiziranja i njegovi višekratnici ne mogu teći, zbog čega u jezgri nastaju treći harmonici toka. U jezgri s povratnim magnetskim putem, treći harmonici toka induciraju u namotima visoke iznose napona trećeg harmonika. Kada postoji tercijar ili stabilizacijski namot, ti naponi kroz zatvoreni trokut tjeraju odgovarajuće struje trećeg harmonika i njihovih višekratnika. Na taj način u tercijaru nastaju amperzavoji koji zbog izoliranja nultočke ne mogu teći primarom, a oblici krivulje toka i induciranih raznih napona približavaju se sinusoidi.



Slika 4. Struje izvora I_A, I_B i I_C, struja u kratkospojenom namotu transformatora I_D i struja kroz zemlju I_Z



Slika 5. Fazorski dijagram napona na primaru autotransformatora u uvjetima prema sl. 3 i otporu uzemljenja u rasponu $0 \leq R \leq \infty$

U slaboj mreži i u mreži s dugim vodovima treći harmonik struje izaziva padove napona što na ulazu u transformator djeluje kao narinuti treći harmonik napona. To se osobito osjeti pri uključenju transformatora. U tom slučaju tercijar preuzima na sebe izgradnju dijela amper-zavoja trećeg harmonika i struja trećeg harmonika teče tercijarom smanjujući tako smetnje na telekomunikacijskim uređajima zbog istofaznih komponenata struje magnetiziranja u stacionarnom i prelaznim stanjima.

4. ZAŠTO NASTAJU KVAROVI NA TERCIJARU

Na osnovi višegodišnjeg praćenja kvarova na tercijarima i analize njihovih uzroka, kao i iskustava iz prakse u drugim zemljama, može se zaključiti da su primarni uzroci kvarova na tercijaru pretežno sklopni prenaponi. Na drugom je mjestu dinamička otpor-

nost na sile zbog kratkog spoja na sabirnicama tercijara. Činjenica je da još ne postoji međunarodni standard koji propisuje način ispitivanja tercijara na kratki spoj, pa se eventualno ispitivanje prepušta dogovoru kupca i proizvođača. Istina je također da je relativno mali broj tercijara ispitan na kratki spoj. Istodobno, danas se gotovo svaki tronamotni transformator ispituje udarnim naponom. Paradoks je u tome što je svima normalno da se ispitani namot štiti odvodnicima koji ograničavaju prenapone na manje od 80% ispitnih, dok je unatoč neprovjerenoj dinamičkoj otpornosti tercijara vrlo rašireno mišljenje da on mora izdržati svaki kratki spoj, pa i kada se učestalo ponavlja. To je vjerojatno razlog da se malo poduzima kako bi se spriječili kratki spojevi na tercijaru. Uzrokuju ih ptice, mačke, vjeverice, puhovi i druge životinje. Jedan je od razloga i praksa uzemljivanja jedne točke tercijara (c – x), tako da je svaki spoj neuzemljenih faza s kotlom odmah i kratki spoj. Za najveći broj kvarova moglo bi se reći da su posljedica nedovoljne pažnje pri izboru opreme što se priključuje na tercijar i načina kako se tercijar dimenzionira i štiti.

Najviše se kvarova događa na novim objektima u mreži koja se gradi. Takva je mreža redovito slaba, pa zbog toga i nestabilna, a pri puštanju u pogon njezinih dijelova dolaze do izražaja sve pogreške mreže i opreme: od koncepcijskih preko projektantskih do izvedbenih, potencirane necjelovitošću i nedovršenošću sustava.

5. ANALIZA NEKIH KVAROVA

Pri gradnji naše 400 kV-ne mreže »Končar« je isporučio autotransformatore 300 MVA $400 \pm 2 \times 2.5\%$ /115/31.5 kV. Tercijar je građen za snagu 100 MVA, i predviđeno je da se na njega po potrebi uključuju jedna ili dvije kompenzacijske prigušnice nazivne snage 50 MVAr. Na sabirnicama tercijara bili su jednopolno izolirani naponski transformatori, a prigušnice su se uključivale malouljnim prekidačima. U tercijarnom su namotu, zbog ograničenja snage kratkog spoja na tercijaru, ugrađene dvije prigušnice po fazi i raspoređene kao na sl. 6.

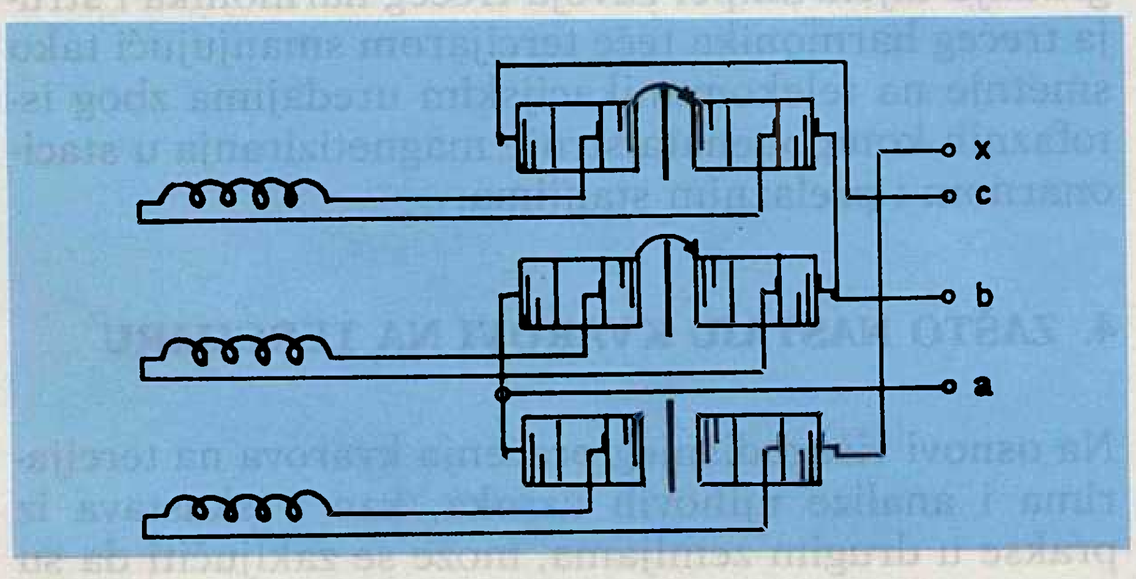
Kvarovi su se dogodili dva puta u Zagrebu, a zatim u Skopju i Osijeku. U tri slučaja povod su bile eksplozije prekidača, a u četvrtom kratki spoj na tercijaru nakon proboja kišom ovlaženog laboratorijskog kondenzatora, provizorno priključenog na uzemljeni tercijar zbog nekih mjerenja.

U Skopju je eksplodirao prekidač na 110 kV strani, ne mogavši isključiti bliski kratki spoj (pad zemnog užeta na fazni vod). U Zagrebu i Osijeku eksplodirali su malouljni prekidači na tercijaru. Prvi je uspješno isključio kompenzacijsku prigušnicu i pritom izazvao ferorezonanciju na tercijaru čiji naponi su propalili kroz otvorene kontakte prekidača, a drugi je, isključujući u paru s još jednim prekidačem dvije prigušnice s istog tercijara, eksplodirao u trenutku kada je u fazi prekidanja doživio prenapone zbog isključenja druge prigušnice. Spomenuti kondenzator u Zagrebu bio je tankom bakrenom niti spojen s tercijarom, koja je morala ispariti još u porastu struje kratkog spoja i izazvati visoke sklopne napone, jer su na kondenzatoru u susjednoj fazi, ispitanom s 80 kV izmjeničnog napona, pronađeni tragovi preskoka.

U sva četiri primjera tercijar je bio protjecan strujom bilo zbog kvara ili zbog opterećenja kompenzacijskom prigušnicom. U svim se slučajevima radi o prekidanju induktivnog tereta. Kvar se u transformatoru u svim slučajevima manifestirao preskokom između ugrađenih prigušnica (sl. 6). Bilo je to očito najslabije mjesto, ali na sreću i neka vrsta osigurača. Namoti tercijara su u svim slučajevima ostali neoštećeni i bilo je dovoljno promijeniti prigušnice i poduzeti mjere zaštite.

Analiza kvarova i popratnih pojava pokazala je da pri eksploziji prekidača, ali i pri nekim drugim događajima kod kojih dolazi do reza struje, u tercijaru i kompenzacijskoj prigušnici ostaje zarobljena magnetska energija, koja u prijelaznoj pojavi, istitravajući preko relativno malih vlastitih kapaciteta tercijara i prigušnice, izaziva visoke sklopne napone u tercijaru, na komenzacijskim i na ugrađenim prigušnicama, kao i na kontaktima prekidača. Dozemni kapacitet tercijara predmetnih transformatora je oko 7 nF/fazi. Prigradnjom zaštitnih kondenzatora kapaciteta 100 nF ukupni se kapacitet poveća gotovo šesnaest puta, što na osnovi $A = CU^2/2$ znači da će pri akumulaciji iste energije napon prema zemlji biti četiri puta manji. Učini li se slično i na strani kompenzacijske prigušnice, postići će se još dva učinka. Zaostala će energija i u prigušnici istitravati s nekoliko puta manjom amplitudom napona, a napon na kontaktima prekidača i vjerojatnost povratnog paljenja bit će višestruko manji. Budući da je zbog povratnog paljenja pri isklapanju kompenzacijskih prigušnica ulje u malouljnom prekidaču već nakon desetak operacija izgubilo zadovoljavajuću kvalitetu, umjesto malouljnog stavljen je vakuumski prekidač sa zaštitnim kondenzatorima na strani tercijara i na strani kompenzacijske prigušnice, a izolacija između ugrađenih prigušnica u tercijaru je pojačana. Prošlo je od tada petnaestak godina, kompenzacijska se prigušnica i danas po potrebi uključuje u TS Tumbri kraj Zagreba, a problemi se nisu ponovili.

Drugi slučaj, s težim posljedicama dogodio se u Turskoj, s tercijarima autotransformatora 150 MVA, $380 \pm 8 \times 1{,}25\ \%/158/15{,}8$ kV iako su na osnovi prethodnih iskustava poduzete sve zaštitne mjere. Terci-



Slika 6. Slog prigušnica ugrađenih u tercijar — raspored i mjesto preskoka

jar snage 36,67 MVA korišten samo za vlastitu potrošnju bio je štićen kondenzatorima 250 nF i ZnO odvodnicima prema zemlji i između faza prema shemi na sl. 7. Najprije je propalio jedan međufazni odvodnik (sl. 8) izazvavši kratki spoj na sabirnicama tercijara. Nakon prorade diferencijalne zaštite i isključenja očito oštećenog transformatora još se dva puta pokušalo staviti transformator pod napon, pa je tercijar uništen, a s njime i tragovi prvotnog kvara. Dogodilo se to u TS Gebze, na sjeverozapadu Turske u kojoj su bila četiri slična autotransformatora, dva s tercijarom, a dva bez, spojena prema shemi na sl. 9. TS Gebze je serijski kompenziranim 380 kV-nim dalekovodom povezana s približno 900 km udaljenim izvorima u HE Keban te s još nekoliko bližih elektrana manje snage. Mreža je u izgradnji i jedan od osnovnih problema je održanje nivoa napona pri promjeni tereta. U takvim uvjetima regulacija napona u nultočki posebno se nepovoljno odražava na naponske prilike u tercijaru jer se magnetski tok u jezgri, a s njime i napon tercijara povećavaju i pri porastu napona na VN strani i pri snižavanju tog rasta na SN strani pomoću regulatora. Ovisnost promjene napona tercijara $\Delta U_3\,\%$ o promjeni napona $\Delta U_1\,\%$ autotransformatora prema shemi na sl. 10, uz uvjet održavanja konstantnim napona U_2, unutar opsega regulacije, opisuje izraz (7):

$$\Delta U_3\,\% = \Delta \Phi\,\% = \frac{\Delta U_1\,\%}{1 - \frac{U_{2n}}{U_{1n}}}. \qquad (7)$$

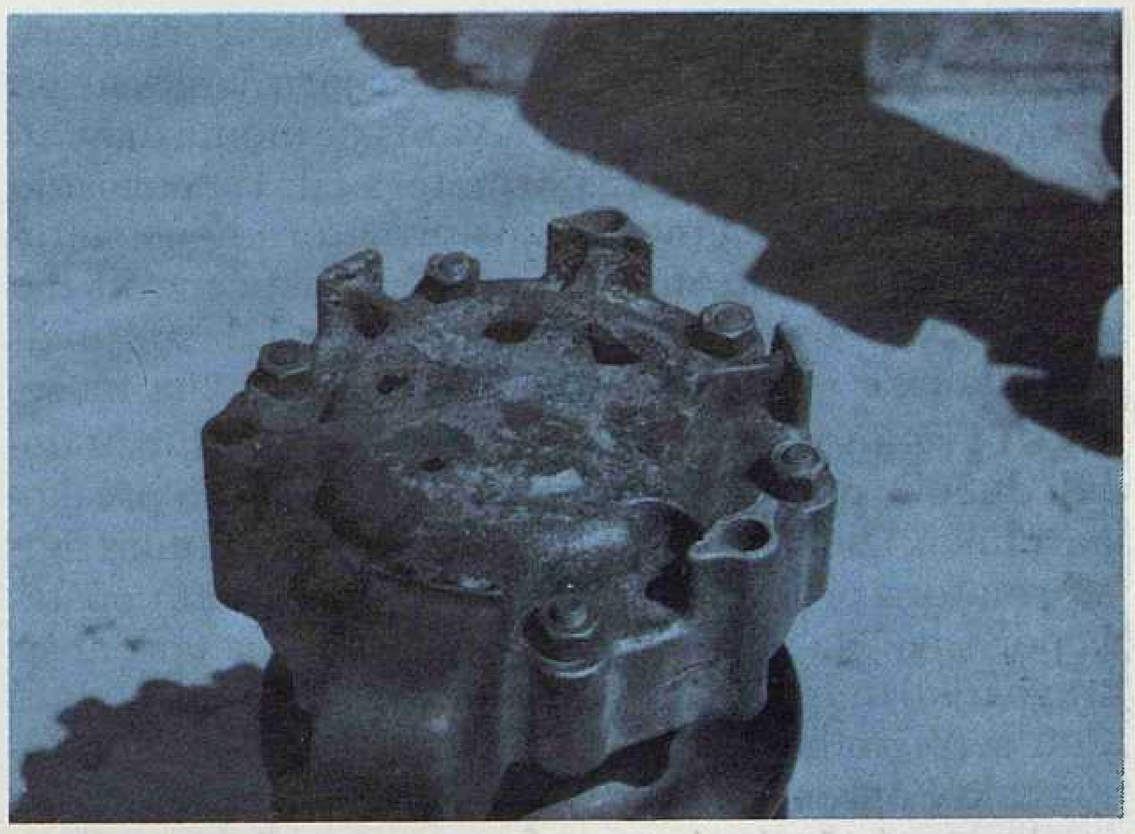
U konkretnom slučaju to znači da će tercijar nazivnog napona $U_{3n} = 15.8$ kV pri najvišem dozvoljenom naponu $U_1 = 420$ kV i regulacijom u krajnjem + položaju, imati napon iznosa:

$$U_3 = \frac{15.8}{100}\left(100 + \frac{10}{1 - \frac{158}{380}}\right)\frac{420}{380} = 18.59 \text{ kV},$$

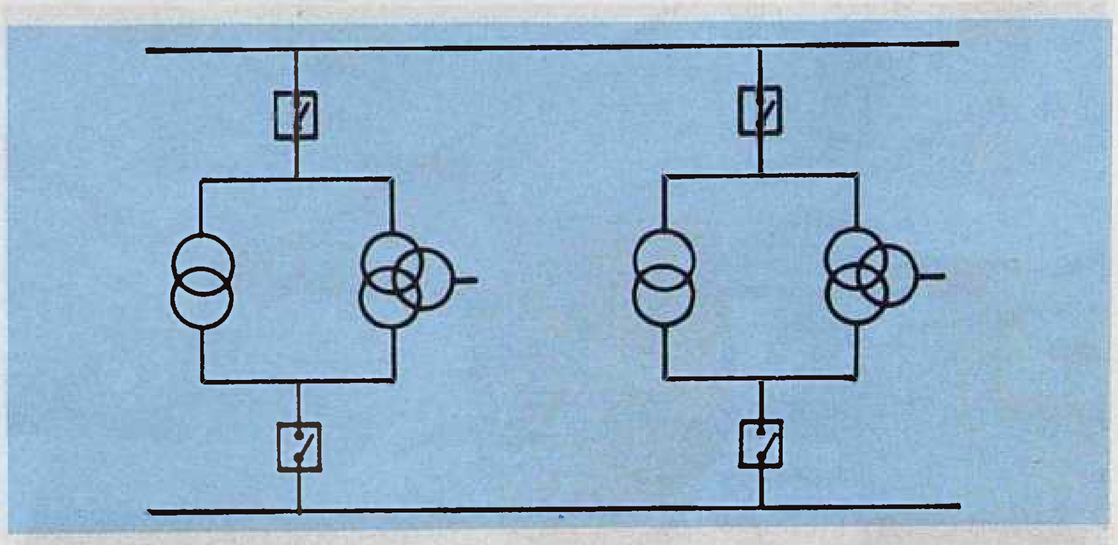
što je više od $U_m = 17.5$ kV, koliko iznosi tzv. najviši napon 15 kilovoltne opreme (U_m 17.5 kV_{eff}; AC 38 kV_{eff}; LI 95 kV_{peak}). Onima koji su imali priliku pratiti napone mreže u izgradnji nije nepoznato da stvarni naponi nerijetko obilato prelaze dopuštene vrijednosti, što dodatno otežava naponske prilike na tercijaru.

Odvodnik na tercijaru bio je cink-oksidni, tip XMQ-A 24/24, za trajni radni napon 19.2 kV. Budući da nije

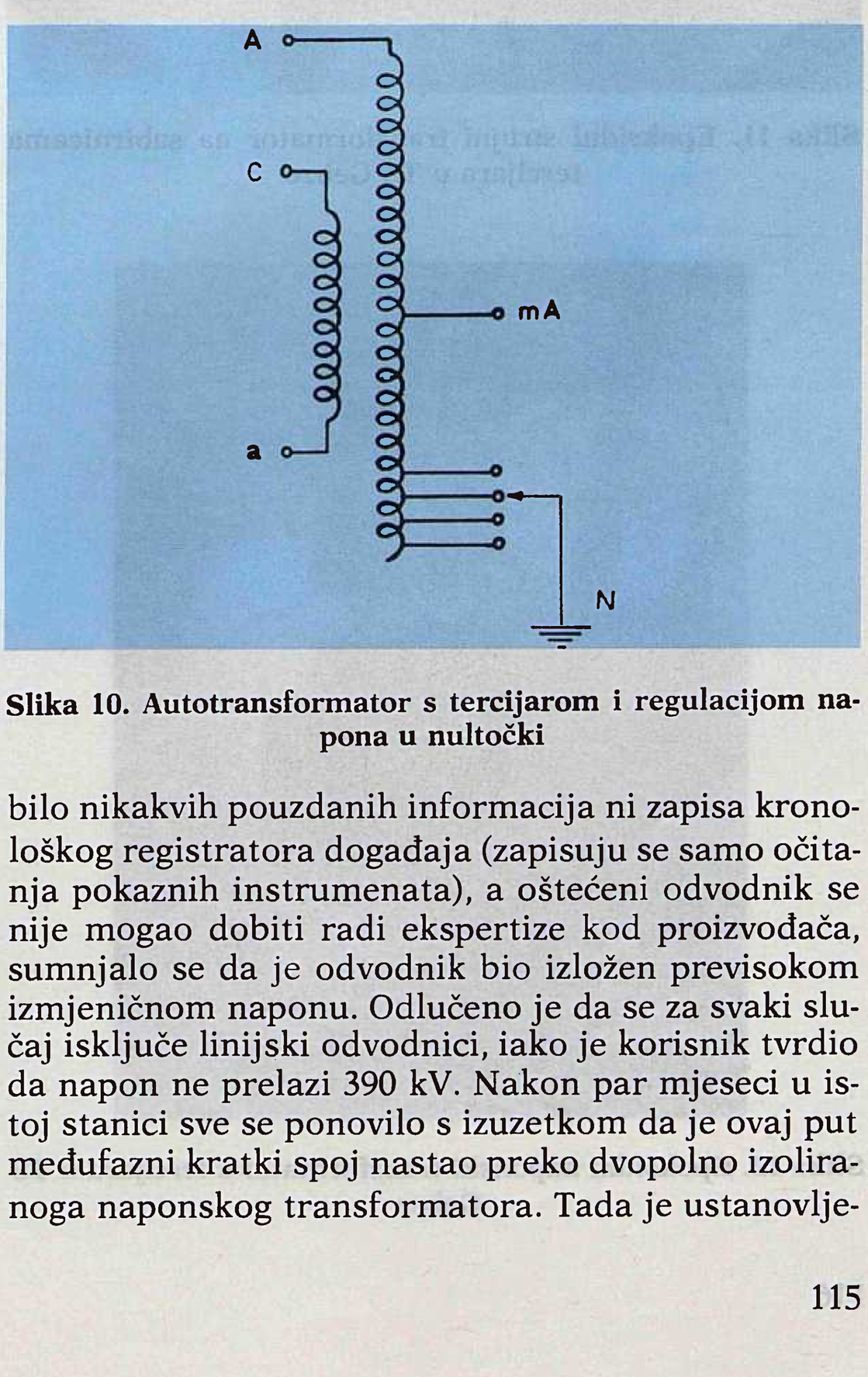
Slika 7. Kondenzatori i odvodnici prenapona kao zaštita tercijara



Slika 8. Tragovi luka na odvodniku prenapona XMQ-A 24/24



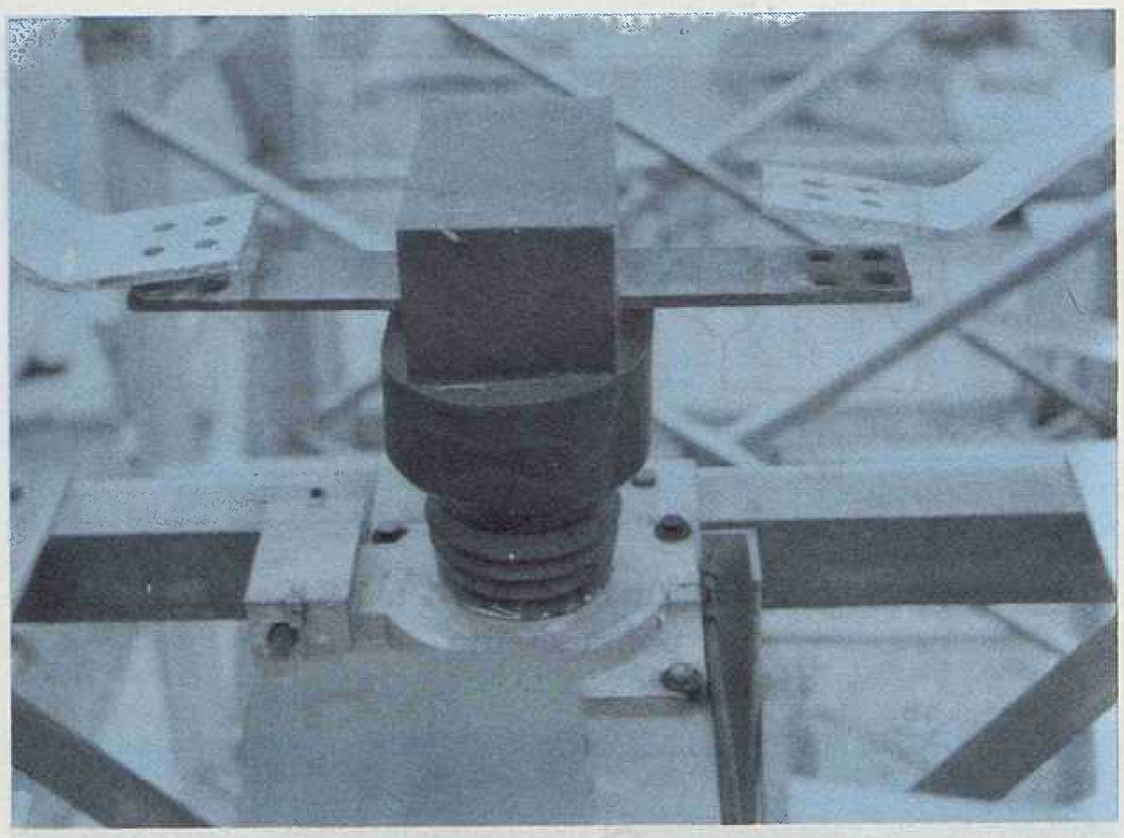
Slika 9. Autotransformatori 150 MVA u TS Gebze — jednopolna shema



Slika 10. Autotransformator s tercijarom i regulacijom napona u nultočki

bilo nikakvih pouzdanih informacija ni zapisa kronološkog registratora događaja (zapisuju se samo očitanja pokaznih instrumenata), a oštećeni odvodnik se nije mogao dobiti radi ekspertize kod proizvođača, sumnjalo se da je odvodnik bio izložen previsokom izmjeničnom naponu. Odlučeno je da se za svaki slučaj isključe linijski odvodnici, iako je korisnik tvrdio da napon ne prelazi 390 kV. Nakon par mjeseci u istoj stanici sve se ponovilo s izuzetkom da je ovaj put međufazni kratki spoj nastao preko dvopolno izoliranoga naponskog transformatora. Tada je ustanovlje-

no da su naponski i strujni mjerni transformatori, pa čak i potporni izolatori na tercijaru izrađeni od epoksidne smole koja nije za vanjsku montažu.
Već i oblik strujnog transformatora (sl. 11) pokazuje da se radi o epoksidnom transformatoru konstruiranom za unutarnju montažu (nema zaštićene klizne staze). Naponski transformatori (sl. 12) su imali porculanske izolatore na tijelu od epoksidne mase, ali su i izolatori i epoksidno tijelo izloženi suncu dobili duboke pukotine putem kojih je došlo do preskoka i luka. Izložena suncu, površina epoksidnih transformatora promijenila je boju (izblijedjela) i postala porozna. Na strujnim transformatorima uočeni su tragovi kliznih struja prema masi.
Čini se prirodnim da je svakome jasno kako ugradnja takve opreme neminovno vodi učestalim kratkim spojevima i oštećenju transformatora, ali iznenađuje činjenica da se nije našlo međunarodnih standarda i propisa koji eksplicite navode da priključivanjem neadekvatne opreme korisnik preuzima i odgovornost za posljedice. Problem nije riješen. Korisnik je zastupao mišljenje da tercijar nije dinamički dobro dimenzioniran, a proizvođač je dokazivao da se priključivanjem neadekvatne opreme izazivaju učestali kratki spojevi na tercijaru, čime se stvaraju nenormalni uvjeti rada.
Problemi s tercijarima u Turskoj pokazali su da je potrebno pokrenuti inicijativu za izradu međunarodnih standarda za zaštitu krupne investicijske opreme od okoliša, odnosno od šteta koje mogu nastati priključivanjem opreme koja ne udovoljava istim ili sličnim standardima. U međuvremenu u ugovore za velike transformatore treba uključiti klauzulu prema kojoj garancija vrijedi uz uvjet da priključena oprema odgovara međunarodnim standardima.



Slika 11. Epoksidni strujni transformator na sabirnicama tercijara u TS Gebze



Slika 12. Epoksidni naponski transformator s tercijara u TS Gebze

6. ZAKLJUČAK

Tercijar u transformatoru i autotransformatoru u spoju Yy ima funkciju smanjenja nulte reaktancije transformatora, a time i simetriranja opterećenja po fazama, smanjenja nultih komponenti struje uključenja, sniženja faktora uzemljenja mreže i sl, a može se koristiti i za priključak faznih kompenzatora i drugih trošila.
Tercijar treba štititi od prenapona i mogućnosti nastanka kratkog spoja, a oprema koja se priključuje na tercijar mora zadovoljavati kriterije i standarde koji se primjenjuju i na tercijar. U nekim je europskim zemljama uobičajen zahtjev da sva oprema uključujući i provodne izolatore tercijara bude dimenzionirana za višu razinu izolacije od one što slijedi iz nazivnog napona tercijara.
Korištenje tercijara za priključak kompenzacijskih prigušnica zahtijeva posebnu pažnju pri izboru prekidača na tercijaru i zaštitnih kondenzatora na strani tercijara i kompenzacijske prigušnice.
Ako se na tercijar priključuju jednopolno izolirani naponski transformatori, potrebno je provjeriti sklonost sustava tercijara prema ferorezonantnim pojavama i po potrebi poduzeti mjere za njihovo prigušenje.
Tercijar treba zaštititi od međufaznih kratkih spojeva zaštitnom mrežom, međufaznim pregradama ili izolacijom srednje faze termoplastima, na primjer.
Ako su između tercijara i zemlje priključeni zaštitni kondenzatori, onda je i u slučaju kada se tercijar ne tereti bolje ne uzemljivati ga, jer zaštitni kondenzatori dovoljno definiraju potencijal tercijara prema zemlji, a eventualni slučajni spoj tercijara sa zemljom u tom je slučaju samo zemni spoj.
Kao zaštitni uređaji tercijara od prenapona dolaze u obzir zaštitni kondenzatori i odvodnici prenapona između priključaka i zemlje. Ne preporučuje se, zbog pouzdanosti, nikakva međufazna prenaponska zaštita.
Napon tercijara autotransformatora s regulacijom napona u nultočki (regulacija tokom) mijenja se tije-

kom regulacije u širim granicama nego napon na VN strani silaznog ili na SN strani uzlaznog autotransformatora, pa to treba uzeti u obzir pri određivanju naponske razine tercijara i opreme koja se na njega priključuje.

Budući da je nesimetrija tereta u mrežama visokog napona relativno malena, a suvremene telekomunikacijske mreže sve manje podložne magnetskim smetnjama, potreba za tercijarom, osobito na skupim jedinicama najviših napona, sve više se kritički procjenjuje i zbog pouzdanosti i zbog ekonomičnosti.

Ako u trofaznom transformatoru ne postoji tercijar, njegovu ulogu dijelom preuzima transformatorski kotao. Naponi što ih u njemu induciraju nulti tokovi iz jezgre, tjeraju kroz stijenke kotla struje koje slabe te tokove.

LITERATURA

[1] COGBILL B. A.: »Are Stabilizing Windings Necessaru in All Y — Connected Transformers?« AIEE Power Apparatus and systems, Part III. Vol. 78. October 1959.

[2] IVANKOVIĆ I., KELEMEN T.: »Sklopni i ferorezonantni prenaponi u tercijarnom krugu transformatora«, R 12.16 — XVI. savjetovanje JUKO-CIGRE, Opatija, 1983.

[3] KELEMEN T., IVANKOVIĆ I.: »Prenaponi pri tropolnom uklapanju prigušnice na tercijar transformatora, R 12.14 — XVII. savjetovanje JUKO-CIGRE, 1985.

[4] KELEMEN T.: »Switching Voltages on the Transformer Tertiary Winding, Proceedings of the Scientific Conference »The Transformer Production is 100 Years Old«, Budapest, 1985, pp. 262-269

[5] KELEMEN T.: »Sistem 3CTR za signalizaciju kvara na tercijaru transformatora«, KONČAR — Stručne informacije br. 1 1985. g.

[6] MIKULECKY, A.: »Ograničenje unutrašnjih prenapona na tercijaru energetskih transformatora, 4,« Međunarodni simpozij o novim tehnologijama, Tematsko područje 05 — Energetska tehnika, Pula 25–27. 10. 1993. str. 4 do 7.

[7] KELEMEN, T. »Tercijar — način djelovanja, kvarovi i zaštita. IV. Međunarodni simpozij o novim tehnologijama«, Tematsko područje 05 — Energetska tehnika, Pula, 25. — 27. 10. 1993. str. 8 do 13.

TRANSFORMER TERTIARY AND HOW TO HANDLE IT

Tertiary — the low-voltage winding in a tree-phase transformer with Yy-connected high-voltage and medium-voltage windings, delta-connected with terminals that make it capable of carrying loads, mostly dimensioned for one third of the transformer rated power — is frequently exposed to voltage and mechanical stresses which often result in transformer failures. Many of them could be avoided through appropriate protection of the tertiary, correct choice of the equipment that is connected to it and through its dimensioning that would be suited to possible voltage conditions in the network.

TERTIÄRWICKLUNG DES TRANSFORMATORS UND WAS DAMIT ZU TUN IST

Tertiärwicklung— die Niederspannungswicklung im Dreiphasentransformator mit Hochspannungs- und Mittelspannungswicklungen in der Yy-Schaltung, im Dreieck verbunden, mit Durchführungen die sie belastungsfähig machen — ist meistens für ein Drittel der Transformatorennennleistung dimensioniert. Sie ist häufig mechanischen und Spannungsbeanspruchungen ausgesetzt, was zu Transformatorenschäden führt. Durch einen entsprechenden Schutz der Tertiär- wicklung, eine richtige Wahl der angeschalteten Ausrüstungen, sowie durch ihre Dimensionierung, die den Spannungs- und Netzzuständen angemessen ist, kann man viele Schäden vermeiden.

Naslov pisca:

Prof. dr. Tomislav Kelemen,
Končar — Institut za elektrotehniku,
41000 Zagreb, Baštijanova bb,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1993-10-02.

POPRAVAK ELEKTROPRIVREDNIH OBJEKATA

Teškim ratnim razaranjem i uništenjima oštećeni su mnogi pogoni na području slavonsko-baranjskog elektroenergetskog područja i agregati plinsko-toplinske elektrane u Osijeku. Odmah je organiziran rad na obnovi pogona i postrojenja.
U popravak oštećenih postrojenja HEP je uložio oko šest milijuna DEM. Obnovljeni su agregati, izrađen je novi spremnik za mazut, a još se jedan podiže. Obnavlja se i električna mreža.
HEP trenutno pregovara s mađarskom elektroprivredom o povezivanju dviju država dvama električnim vodovima, koji će poboljšati opskrbu strujom slavonsko-baranjsko područje. Trafostanica u Ernestinovu je uništena, a dijelom i opljačkana.

I. R.

GRADNJA NOVOG PODMORSKOG NAFTOVODA

Jadranski naftovod (JANAF) i INA odlučili su graditi podmorski naftovod koji će riječku rafineriju na Urinju ubuduće novim naftovodom, koji će biti postavljen na dnu Kvarnerskog zaljeva, povezivati s Omišljem.
Prema informacijama investitora stručnjaci INA — Inženjering već rade projektnu dokumentaciju. Ako dobiju sve potrebne suglasnosti, radovi će početi potkraj ljeta, a podmorski naftovod kapaciteta šest milijuna tona godišnje bio bi dovršen potkraj godine.
Novi će naftovod biti dugačak 7 200 metara, od čega na podmorski dio otpada 5 750 metara. Prvi dio naftovoda od crpne stanice u sklopu terminala JANAF do ulaska u more bit će ukopan (kao kraći izlazni dio na Urinju), a ostatak će biti položen na morsko dno, gdje će, zbog težine, utonuti u desetak metara duboki sloj mulja.

I. R.

POVEĆANA PROIZVODNJA PLINA

Glavna proizvodnja prirodnog plina i kondenzata poduzeća »Naftaplin« vrši se na tri podravska polja — Molvama, Kalinovcu i Starom Gradecu.
Poznato je da se samo iz tih triju polja dobiva gotovo 80 posto ukupne prozvodnje plina u Hrvatskoj. Plan proizvodnje za 1994. godinu određuje se prema mogućnostima ležišta i raspoloživim kapacitetima procesnih postrojenja, ali i prema potrebama potrošača. Ovogodišnji plan trebao bi iznositi 1,516 milijardi prostornih metara plina, što je za 5 posto više od prošlogodišnjega koje iznosi 1,443 milijardi kubika.
Osim tako izdašne proizvodnje plina, radilište Molve će ove godine proizvesti i znatne količine kapljevine. Naime, planom je predviđeno da se proizvede 305 tisuća tona kondenzata, što je neznatno manje nego u prethodnoj godini. Proizvelo bi se još 5 000 tona primarnog benzina.

I. R.

»N. TESLA« PROŠIRUJE IZVOZ U 1994.

Tvornica »Nikola Tesla« vodeći proizvođač telekomunikacijskih sustava i uređaja, ugovorila je početkom 1994. godine nekoliko važnih poslova sa stranim partnerima.
Nedavno je potpisan ugovor za izgradnju međugradske telefonske centrale u Ekaterinburgu, sibirskom gradu u Ruskoj Federaciji. Vrijednost ugovorenog posla je šest milijuna američkih dolara. »Tesla« je taj posao dobio u konkurenciji s velikim svjetskim kompanijama. Također je potpisan ugovor za isporuku jedne gradske centrale za bjeloruski grad Magiljev.
Napokon, za grad Prekopjevak, također u sibirskom dijelu Ruske Federacije, ugovorena je isporuka lokalne telefonske centrale AXE vrijedne četiri milijuna USA dolara.

I. R.

ELEKTROENERGETSKA SITUACIJA DALMACIJE ZADOVOLJAVA

Interventni program Hrvatske elektroprivrede i hrvatske Vlade donio je dobre rezultate za potrošače. Uklonjene su redukcije, a zahvaljujući obilnim dotocima vode u porječju Cetine, lijepom vremenu i radu HE Dubrovnik sustav je potpuno stabilan. Pojedini interventni agregati ne samo da miruju, nego se dio unajmljenih za potrebe interventnog programa već i vraća. To se odnosi na dizel-elektrane, ukupne snage pedesetak MW u Omišu, Pločama te Dalmacijacement, čija je cijena unajmljivanja visoka. Onaj dio energije koji će eventualno nedostajati pokrit će se, izjavljuju u Hrvatskoj elektroprivredi, gradnjom dviju plinskih turbina po 26 MW. Prva se već postavlja u zoni Dujmovača.

I. R.

PLAN ISTRAŽIVANJA NAFTE I PLINA

Prema ovogodišnjem planu istraživanja na istražnim prostorima u zemlji izbušit će se 14 istražnih bušotina. Od predviđenih dvije će se izraditi u murskoj potolini, uz otkrića Vučkovec 3 i Vučkovec 1, te Koprivnički Bregi, gdje je već prije otkriven plin. U savskoj potolini izradit će se tri bušotine, u bjelovarskoj dvije, a u dravskoj šest istražnih bušotina, od kojih su tri u istočnom dijelu Podravine, a dvije na širem području Donjeg Miholjca. Istodobno se nastavljaju istraživanja i u inozemstvu. Najveća je istražna aktivnost u Libiji, gdje se pojačavaju istražni radovi kako bi se ispunio planirani program do kraja godine, kada istječe pravo u toj zemlji.
Planira se istraživanje u Alžiru, gdje bi se s talijanskom tvrtkom Agipom izradile dvije istražne bušotine. U tom poslu Naftaplinov udio iznosio bi 9 posto. Ove bi godine, kako se očekuje, mogli početi istražni radovi na kopnu Albanije. U svezi s time ugovor je već pripremljen za potpis.

I. R.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE PO STANOVNIKU U AUSTRIJI

Potrošak električne energije po stanovniku (1992) u pojedinim austrijskim saveznim zemljama vrlo je različit. Dok Tirol ima po stanovniku najveći potrošak od 8 554 kWh/godinu, Burgenland (Gradišće) ima najmanji samo 3 496 kWh/god. Srednja vrijednost za cijelu Austriju iznosi 6 318 kWh/god. Niska vrijednost potrošnje u Burgenlandu ne znači da su tamošnja domaćinstva slabije opremljena kućanskim aparatima nego ostali dio Austrije, već da je taj kraj slabije industrijaliziran.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 10

Mrk.

SURADNJA NJEMAČKE I RUSKE TVORNICE TURBINA

Njemačka tvrtka Siemens i najveći ruski proizvođač turbina Kaluški turbinski zavod (KTZ) iz Kaluge sklopili su ugovor o kooperaciji. Siemens je ujedno otkupio 10% dionica ruskog poduzeća. Zajedno s poduzećima za proizvodnju turbina u Görlitzu i Weselu KTZ će proizvoditi komponente za Siemensove turbine. Kooperanti će svoje proizvode prije svega prodavati u zemljama ZND, no Siemens će pomoći ruskom partneru da se probije i na zapadnoeuropsko tržište. Predviđena je također suradnja na polju istraživanja i razvoja. Sa svojih 9 200 zaposlenih KTZ je najveći proizvođač industrijskih turbina do 35 MW u zemljama bivšeg SSSR-a.

ETZ, god. 114 (1993), br. 21

Mrk.

ENERGIJA SUNCA ZA DOMOVE U PLANINAMA

Štajerska elektroprivreda (Austrija) stavila je u pogon solarnu elektranu snage 1 200 W, na planinarskoj kući Kaiblingalm. Pri planiranju i izgradnji ovog uređaja korištena su iskustva stečena u radu solarnih elektrana na planinarskim kućama Gastoder (30 W), Reichensteinhütte (900 W) i Grinangerhütte (600 W). Kuća je smještena na nadmorskoj visini 1 800 m i otvorena je cijele godine. Prema tome, uređaj se može stalno nadzirati, pa i doba najniže solarne aktivnosti. Uređaj se sastoji od 24 monokristaličnih ćelija na pocinčanim čeličnim nosačima sigurnim od vjetra, a daje istosmjernu struju od 48 V. Time se mogu puniti baterije ili preko presmjerivača koristiti pod 220 V za rasvjetu i aparate. U slučaju lošeg vremena napunjene baterije mogu služiti 3 do 4 dana.

U Švicarskoj je već dvaput demonstrirana upotrebljivost solarnih elektrana na srednjim visinama. Već prema vrsti modula, postignute su za vedra vremena i okomitog upada Sunčevih zraka snage od 0,073 kW/m² do 0,093 kW/m². U kantonu Graubinden (Švicarska), na visini 1 900 m, postignuta je čak snaga od 0,125 kW/m². U takvim se visinama u Austriji došlo do 0,118 kW/m². No austrijski je prosjek približno 0,1 kW/m². U brdima iznad Insbrucka, na visini od nekih 1 900 m, odobreno je mjesto gdje bi se mogla izgraditi solarna elektrana s modulima na površini od 800 do 1000 m², snage 125 kW, godišnje proizvodnje 180 000 kWh.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 10

Mrk.

PODIZANJE VISOKONAPONSKIH STUPOVA DALEKOVODA POD NAPONOM

Sve veće opterećenje prijenosnih linija uzrokuje razmjerno visoke temperature vodiča, sve do dopuštenih 80°C. Posljedica toga su povećani prosjeci, što pak traži podizanje ovješenja vodiča. Njemačka tvrtka ABB razvila je postupak kojim je moguće podignuti čeličnorešetkasti stup pod naponom za 3 m, a u beznaponskom stanju za 5 m. Oko stupa, koji treba podignuti, montiraju se četiri vertikalna nosača i opašu dvama četverokutnim okvirima. Stup se učvrsti na platformu koja se hidraulički podigne po vodilicama ugrađenim u vertikalne nosače. Stup se s donje strane dogradi čeličnom konstrukcijom i ponovno učvrsti na temelje. Ova je metoda osobito pogodna tamo gdje zbog mjesnih prilika nisu primjenljivi uobičajeni postupci.

ETZ, god. 114 (1993), br. 21

Mrk.

AKUMULIRANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SVICIMA

Važna iskustva o akumuliranju električne energije u supravodljivim svicima prikupljena su izgradnjom i upotrebom takvih uređaja za stvaranje jakih magnetskih polja potrebnih za nuklearna istraživanja. Računa se da se kod svitaka hlađenih tekućim helijem korisnost kreće između 90% i 93%. Uporabom visokotemperaturnih supravodiča hlađenih tekućim dušikom korisnost bi mogla doseći i 96%. U spomenutim svicima istraživačkih laboratorija postignut je kapacitet akumulacije od 250 kWh. Pretpostavi li se bar jedno uključenje i isključenje dnevno dobiva se vrijednost od 91 250 kWh godišnje. Zbog mogućnosti brze raspoloživosti akumulirane električne energije, supravodljivi svici mogli bi u vrhovima opterećenja služiti za stabilizaciju frekvencije. Zbog vrlo dobre povezanosti električnih mreža u Srednjoj Europi, akumulacijski svici reda veličine približno 1 000 kWh u dogledno vrijeme neće biti potrebni, no takvi manji uređaji, za specijalne svrhe, mogli bi biti zanimljivi. U Njemačkoj se ispitivala izvedivost i planirana gradnja golemoga supravodljivog svitka akumulacijskoga kapaciteta od 5 milijuna kWh. Troškovi su procijenjeni na 1,5 milijarde DEM.

ETZ, god. 114 (1993), br. 21

Mrk.

HIDROENERGIJA U EUROPSKOJ ZAJEDNICI

Od ukupno proizvedenih 177 milijardi kWh u hidroelektranama u zemljama EZ (1992), 40,5% proizvedeno je u Francuskoj. Udio Italije bio je 25,4%, Njemačke 12,2%, a Španjolske 11,7%. Ostatak od nekih 10% otpada na ostale zem-

lje Zajednice. Od ukupne proizvodnje svih zemalja EZ, 9,6% električne energije daju hidroelektrane. Taj postotak u Japanu iznosi 12%, a u SAD samo 8,6%.

ETZ, god. 114 (1993), br. 19

Mrk.

KABEL 400 kV IZOLIRAN UMREŽENIM POLIETILENOM

Tvrtka ABB (Mannheim) prva je u Europi koja će položiti kabel 400 kV izoliran umreženim polietilenom. Uređaj je naručilo njemačko elektroprivredno poduzeće Neckarwerke (Esslingen). Kabel će imati duljinu 330 m, a služit će za priključak nove toplane-elektrane u Altbach/Deizisan. Vodič je presjeka 800 mm², a može prenositi snagu 600 MVA. Nakon provedenih testova na jednofaznim uzorcima u Njemačkoj, Švicarskoj i Švedskoj, to će biti prvi takav trofazni komercijalni kabel. Prije su se takvi priključci radili u tehnici plinom izoliranih cijevnih sustava. Unutar gradskih područja upotrebljavao se isključivo niskotlačni uljni kabel. No plastični je kudikamo jeftiniji u gradnji i održavanju.

ETZ, god., 114 (1993), br. 19

Mrk.

ZEMNI PLIN IZ NORVEŠKE

Norveško državno društvo za naftu i plin Statoil planira investicije od 20 milijardi USD kako bi u sljedećih 28 godina moglo Zapadnu Europu opskrbljivati plinom. Cijena tog plina iznosila bi 100 milijardi USD. Polovicu tog plina preuzela bi Njemačka, pa bi 2005. udio plina iz Norveške iznosio 25% prema današnjih 14%. Kako Norveška za svoje potrebe troši jeftinu električnu energiju iz hidroelektrana, malen je interes za zemni plin. U 1992. godini izvoz zemnog plina iznosio je 26 milijardi m³, a u 2005. predviđa se 48 milijardi m³. Uz takvo iskorištenje poznate rezerve trajat će 50-ak godina.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

RANO OTKRIVANJE KVAROVA NAMOTA GENERATORA

Najčešći uzrok ispada generatora i velikih motora jest kvar na izolaciji namota. Do sada su se takvi kvarovi uklanjali uz mnogo truda uz otvaranje stroja. No nova dijagnostika razvijena od Canadian Electrical Association (CEA) mnogo je povećala pouzdanost električnih strojeva, jer metoda se primjenjuje i dok su strojevi u pogonu. Rezultate koje pokazuje kontrolni uređaj može pogonsko osoblje lako procijeniti. Ovo ispitivanje (PDA) predviđeno je ponajprije za hidrogeneratore, a instalirano je na više od 750 strojeva. Za uređaje iznad 4 kV primjenjuje se ispitna metoda TGA, koju je do sada ugradilo 9 elektroprivrednih poduzeća u Kanadi i SAD. Pomoću obaju dijagnostičkih sistema mogu se godinama prije ispada utvrditi kvarovi na namotima i na taj način popraviti u toku planskog remonta.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

HIDROELEKTRANE U MESINSKOM TJESNACU

Talijansko društvo Enermar namjerava izgraditi na morskom dnu Mesinskog tjesnaca elektranu koju će pokretati morska struja brzine 3 m/s do 5 m/s i količina vode od 1 milijuna m³. Na dnu će biti usidreni betonski blokovi, na duljini 3 km, a između njih će strujati voda i pokretati 4 krila na pokretnoj platformi. Ta će se pak rotacija prenositi na turbine. U početku će se uz trošak od 60 milijuna DEM ugraditi dvije turbine snage po 100 MW. Za projekt se zanimaju Engleska i Francuska, a posebno Norveška, jer su tamo u mnogim fjordovima strujanja mora još veća od onih uz Siciliju.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

PROCESNA AUTOMATIZACIJA

Svjetsko tržište za procesnu automatizaciju raste prosječno godišnje za nekih 6,9%. Od 53,8 milijardi DEM u 1992. narast će u 2000. na 91,7 DEM. To je utvrdila međunarodna studija izrađena u Švicarskoj. Udio pojedinih svjetskih regija, prema navedenoj studiji, iznosi:

	1992. god. 53,8 md DEM	2000. god. 91,7 md DEM
Zap. Europa	33,8%	32,8%
Ist. Europa	9,3%	7,6%
Azija-Pacifik	26,2%	32,3%
Sjev. Amerika	30,7%	27,3%

Kao što se vidi, udio istočne Europe smanjuje se prema kraju stoljeća, na što će utjecati nestabilne političke prilike i pomanjkanje sredstava. Tek nakon tog razdoblja očekuje se jači trend ulaganja u procesnu automatizaciju.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

POTROŠNJA ENERGIJE ĆE SE PODVOSTRUČITI

Prema procjeni UN stanovništvo Zemlje povećat će se do 2020. godine od današnjih 5,3 milijarde na 8,1 milijardu. Prema studiji WEC, povećat će se ujedno i svjetska potrošnja energije od 369 EJ na 723 EJ (eksa = 10^{18}).
Godine 2020. u zemljama u razvoju će živjet 80% stanovništva. Njihov udio u potrošnji energije u svijetu porast će od 33% na 55%. Žele li se postići za njih malo bolji životni uvjeti, treba naći dodatne energetske izvore, no energetska osnova ostaju fosilna goriva i nuklearna energija. Obnovljivu energiju treba dalje razvijati, ali, i uz optimističke pretpostavke, njome će se tek u ograničenom opsegu moći pokrivati energetske potrebe.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

NORMALIZACIJA U TEHNIČKOM STUDIJU

Slaba konjunktura za zaposlenje drastično je smanjila zanimanje studenata za studij elektrotehnike i strojarstva u Njemačkoj. Tako su u doba konjunkture na sveučilište u Bochumu upisalo 400 studenata na studij elektrotehnike, premda je bilo predviđeno samo 300 mjesta. Naprotiv, u

zimskom semestru 1993/94. upisano ih je samo 200. Slično je i na strojarstvu.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

ZNATNO SMANJENJE RADNOG VREMENA U NJEMAČKOJ

U posljednjih četrdesetak godina, tj. od 1950. do 1993, prosječno radno vrijeme njemačkih djelatnika znatno se smanjilo. Dok je dnevno radno vrijeme smanjeno samo 5%, radno vrijeme, računajući u satima, tijekom cijeloga radnog vijeka djelatnika smanjeno je za čak 32%. To proistječe odatle što je smanjio radni tjedan, a povećani dani dopusta i slobodni dani na drugim osnovama. Prema podacima njemačkih institucija koje se bave radnim odnosima, prosječno radno vrijeme, izraženo u satima, skraćeno je u promatranom razdoblju kako slijedi:

	Sati		
	1950.	1993.	skraćenje
Radni dan	8,0	7,6	5%
Radni tjedan	48	38,1	21%
Radna godina	2 330	1 693	27%
Rad tijekom života	102 100	69 600	32%

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

VISOKA KORISNOST PLINSKE TURBINE

Povećanje učinkovitosti goriva pri proizvodnji električne energije želja je svih voditelja termoelektrana. Danas plinske turbine u pojedinačnom pogonu postižu korisnost od 35%, a u kombiniranom pogonu čak 54%. Tvrtka ABB razvila je nov koncept plinske turbine s velikom korisnosti. Izgrađena je turbina tipa GT 26, snage 240 MW za sustav 50 HZ, i to prvenstveno za Europu, i tipa GT 24 za američko tržište, gdje elektrosustavi imaju frekvenciju 60 HZ. Korisnost ovih strojeva doseže 37,8%, a u kombinaciji s parnom turbinom čak 58,5%.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

IZGRADNJA NOVOGA EUROPSKOGA NUKLEARNOG REAKTORA

Proizvođači opreme za nuklearne elektrane, francuski Framatom i njemački Siemens, osnovali su Nuclear Power International (NPI), organizaciju kojoj je cilj razvoj nove generacije nuklearnih reaktora za svjetsko tržište. Naime, mnogim je nuklearkama vijek trajanja već pri kraju, pa će ih trebati zamijeniti. Iskustvo s reaktorima s vodom pod tlakom, staro više od 20 godina, dragocjen je kapital za ostvarenje novih koncepcija reaktora. Kao prvi korak prema izgradnji novoga europskog reaktora s vodom pod tlakom (EPR) jest analiza dosadašnjih različitih razvojnih putova nuklearne tehnike oba partnera, koja se počela provoditi potkraj 1991. godine. U tom poslu dragocjena će biti i suradnja stručnjaka koji vode pogon nuklearnih elektrana. Svakako je najvažniji zadatak nove koncepcije težnja za najvećom mogućom sigurnosti i pouzdanosti uređaja.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

PROIZVODNJA KABELA U ZEMLJAMA EZ

U zemljama EZ ima više od 100 proizvođačkih tvrtki za električne kabele i izolirane vodiče. Tvornice su locirane na 250 mjesta, a zapošljavaju 105 000 djelatnika. To je najveća svjetska grupacija u ovoj grani proizvodnje. Zatim slijede SAD i Japan. S izuzetkom Luksemburga, kabeli se proizvode u svim zemljama EZ, ponajviše u Francuskoj (Alcatel), Velikoj Britaniji (BICC), Italiji (Pirelli) i Njemačkoj (Siemens). Izvan EZ značajni su proizvođači u Europi još i Švedska i Švicarska. Tvornice su redovno specijalizirane za određenu vrstu proizvoda, no u malim zemljama određena tvornica bavi se cijelom proizvodnom paletom.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

BIOTEHNIKA U PORASTU

Svjetsko tržište za modernu biotehniku imalo je u 1991. godini promet od 1 milijarde USD, kako je procijenila grupacija svjetske biokemijske industrije. U godini 2000. promet bi se mogao povisiti na 65 milijardi USD. Kao posebno važna pokazala su se biotehnička istraživanja, proizvodni postupci i uslužne djelatnosti na tom području. U prvome redu obrađuju se ekološki problemi. Industrija izrađuje tehničke uređaje za pročišćavanje vode i zraka, kao i odgovarajuće kompjuterizirane naprave za nadzor i regulaciju. Za takvom biotehnikom potražnja je sve veća.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

J. COUSTEAU PROTIV BRANE GABČIKOVO

Predviđena izgradnja brane Gabčikovo na Dunavu u Slovačkoj (vidjeti Energija god. 42(1993), br. 1) za sada je obustavljena zbog protivljenja poznatog istraživača Jacquesa Cousteaua. Njegova je ekipa završila dvogodišnju studiju Dunavskog bazena i utjecaja brane na okoliš. Cousteau smatra da se nikakve brane ne smiju graditi na dunavskoj aluvijalnoj ravnici.

Water Power, god. 45 (1993), br. 11

Mrk.

FOTOVOLTAIČKI UREĐAJI U SVIJETU

Godine 1992. u svijetu je prodano 57,9 MW (vršna snaga) fotovoltaičkih uređaja. Time je postignut godišnji porast od 4,7% prema godini 1991, kad je prodano 55,3 MW. Najveći je porast zabilježen u Europi. Potkraj 1992. u svijetu je bilo instalirano ukupno 374 MW fotovoltaičkih ćelija. Vrlo mnogo je instalirano u SAD i Japanu, a u Europi najviše u Njemačkoj. Ugrađena snaga u posljednje 3 godine vidljiva je iz tablice 1.

Tablica 1.

Područje	Vršna snaga ćelija u MW		
	1990.	1991.	1992.
Europa	10,4	13,0	16,2
SAD	14,9	17,0	18,3
Japan	17,1	20,2	19,0
ostatak svijeta	4,8	5,1	4,0
Ukupno	47,2	55,3	57,9

Prema tipu ćelija sve su više zastupljene one sa silicijskim monokristalima. Vršna snaga u MW za pojedine tipove navedena je u tablici 2.

Tablica 2.

Tip ćelije	Vršna snaga ćelija u MW		
	1990.	1991.	1992.
mono Si	16,6	19,6	22,0
poli Si	15,5	21,0	20,4
amorfni Si i CdTe	15,1	14,7	15,5
Ukupno	47,2	55,3	57,9

ÖZE, god. 46 (1993), br. 11

Mrk.

FOTOVOLTAIKA U AUSTRIJI

Prema provedenoj anketi u Austriji je do 31. ožujka 1993. ukupno instalirano 364 kW (vršnih) fotovoltaičkih uređaja. Do godine 1992. porast snage bio je vrlo malen, najviše 70 kW godišnje (1989), no 1992. povećan je na 148 kW. Anketom su obuhvaćeni svi uređaji snage veće od 100 W, ali i manji, ako služe za javne svrhe kao npr. za napajanje sigurnosnih i mjernih uređaja, u prometu, za opskrbu planinarskih domova i slično. Od ugrađenih fotovoltaičkih ćelija 50,9% (po snazi) je monokristaličnih, 47,9% polikristaličnih i 1,2% amorfnih. Udio monokristaličnih ćelija raste, pa su one u dijelu ugrađenom 1992. zastupljene s 53,6%, a polikristalične s 46,4%. Najviše uređaja služi za potrebe stanova i kuća (31,7%), planinarskih kuća i skloništa (12,5%), škola (12,0%) i prometa (11,2%). Od austrijskih saveznih zemalja najviše instalacija ima u Gornjoj Austriji (31%), a najmanje u Burgenlandu (Gradišću), samo 1%. Od svih fotovoltaičkih uređaja 46% vezano je na javnu mrežu, 22% su autarkični, a 32% su sustavi snage manji od 100 W. Procjenjuje se da je ukupna snaga malih sistema oko 176 kW, pa bi ukupna vršna snaga austrijskih fotovoltaičkih uređaja iznosila približno 540 kW.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 11

Mrk.

KANAL CRVENO MORE — MRTVO MORE

Talijanska je vlada izrazila spremnost da financira preliminarnu studiju o mogućnosti izgradnje kanala koji bi vezao Crveno i Mrtvo more. Duljina kanala bila bi 280 km, a zbog razlike razina mogla bi se izgraditi hidroelektrana snage 800 MW. Plan je vladi Izraela predložilo talijansko ministarstvo vanjskih poslova. Projekt bi potpomogla i Svjetska banka. Osamdesetih godina Izrael je predlagao sličan projekt — vezu Sredozemnog mora s Mrtvim morem. Budući da bi kanal prolazio preko okupiranog područja Gaze, naišao je na otpor Arapa, a, osim toga, prema Ženevskoj konvenciji na okupiranim se područjima ne smiju poduzimati veći građevni radovi. Potkraj 1993. plan je ponovno postao aktualan zbog poboljšanja izraelsko-palestinskih odnosa. Izrael je razmatrao i treću mogućnost povezivanja Mrtvog mora, i to kanalom od Sredozemnog mora kraj mjesta Beit She'an. Investicije za svaki od navedenih projekata procjenjuju se na 750 milijuna do 1,5 milijarde USD.

Water Power, god. 45 (1993), br. 12

Mrk.

MODERNIZACIJA SLOVENSKIH DRAVSKIH HIDROELEKTRANA

Slovenija je svoj dio toka Drave u potpunosti iskoristila. U vremenskom rasponu od 1918. (prvi agregati HE Fala) do 1990. (posljednja rekonstrukcija HE Fala) izgrađeno je 8 hidroelektrana ukupne instalirane snage 542 MW, s godišnjom proizvodnjom 2 670 GWh. Elektroprivredno poduzeće Dravske elektrane – Maribor odlučilo je modernizirati stara postrojenja. U tu je svrhu sklopljen ugovor o suradnji i koordinaciji projekta s tvrtkom Lehmeyer International GmbH. U prvoj će fazi biti rekonstruirane hidroelektrane Dravograd (1943), Vuznica (1953) i Mariborski otok (1948) u razdoblju od 5 godina. U te tri elektrane, ukupne snage 114 MW, bit će ugrađeni novi generatori i turbine. Osim tih radova, planirana je i izgradnja triju novih rasklopnih stanica i modernoga dispečerskog centra iz kojeg bi se nadziralo i upravljalo cijelim lancem hidroelektrana na slovenskom dijelu Drave. Projekt je procijenjen na 220 milijuna DEM, a financirat će ga uz Sloveniju i Europska banka za obnovu i razvoj (EBRD).

Water Power, god. 45 (1993), br. 11

Mrk.

NUMERIČKO SIMULIRANJE HIDRAULIČKIH STRUJANJA

Konstruiranje rotora hidrauličke turbine ili crpke na klasičan način u ispitnoj stanici skup je i dugotrajan postupak. Danas je moguće pomoću računala optimirati rotore i druge važne dijelove hidrauličkih strojeva, kao i druge pripadajuće važne dijelove kroz koje struji voda. U hidrauličkoj ispitnoj stanici na modelu se vrši fino optimiranje i konačno dokazivanje garancijskih veličina.

Osnova numeričkog razvijanja rotora jest simulacija strujanja pomoću trodimenzijskog Eulerova postupka na računalu, preuzetog iz aerodinamike i prilagođenog na nestlačiva strujanja, s tim da se kanal strujanja dijeli na konačne volumene.

Razvijen je software koji obuhvaća generiranje rotora kao i računske mreže proračuna tečenja, postavljanje rubnih uvjeta koji odgovaraju uvjetima stroja u pogonu, izvedbu trodimenzijskog proračuna strujanja te naknadni postupak u obliku odgovarajućih grafičkih prikaza. Matematički postupak omogućuje da se tijekom jednoga dana obradi jedna do dvije varijante rotora. Danas tako optimiranje rotora traje dva do tri tjedna, ovisno o projektu, dok bi to u ispitnoj stanici na hidrauličkom modelu trajalo četiri do šest mjeseci. Godine 1987. novom je tehnikom modelirana turbina snage 440 MW za novu hidroelektranu Tarbela (Pakistan). Model tog rotora zatim je provjeren na hidrauličkom modelu, te je odmah premašen garantirani stupanj korisnosti.

U hidroelektranama Sanders i Chenaux (Kanada) numerički su optimirane aksijalne propelerne turbine, i to 12 jedini-

ca po 65 i 8 po 17,2 MW, u kojim su rotori zamijenjeni novima. Time je povećana snaga za 15% odnosno 25% i postignut bolji stupanj korisnosti za više od 1%.
U hidroelektrani Saarheim 91 (Norveška) Francisova turbina 66 MW za pad 268 m postigla je zamjenom rotora maksimalno povećanje stupnja korisnosti za oko 5% i snage pri punom teretu za oko 20%.
Danas već ima primjera da kupci odustaju od modelskog ispitivanja na hidrauličkom modelu oslanjajući se samo na matematički postupak, kako bi proteklo što manje vremena od narudžbe do puštanja u rad.
Danas se modernizacija postojećih hidroelektrana smatra bitnim poslom budućnosti. Pritom se rotori hidrauličkih strojeva zamjenjuju modernijima, često znatno veće snage. Upravo je u tim slučajevima moguće novu tehniku numerike strujanja iskoristiti kao ključnu tehnologiju. Postojeće hidrauličko postrojenje može biti numerički prikazano, te se novi rotor s tim uskladi i optimira.
Tipičan tijek odvijanja takvog poduhvata sastoji se u sljedećem: Najprije se za postojeći stroj strujanja numerički simulira. Zatim se analizira realno stanje, obavi objašnjenje problema (kavitacije) i obuhvati potencijal modernizacije. U trećem koraku predvide se osobine kao snaga i kavitacijsko ponašanje novih turbina ili crpki. Kao zadnji korak numerički se optimiraju komponente stroja, ponajčešće rotori.
Nova tehnika osigurava pouzdanu konstrukciju, dobre karakteristike u kraćem vremenu nego je to bilo do sada.

Technische Rundschau Sulzer 4/1992

H. E.

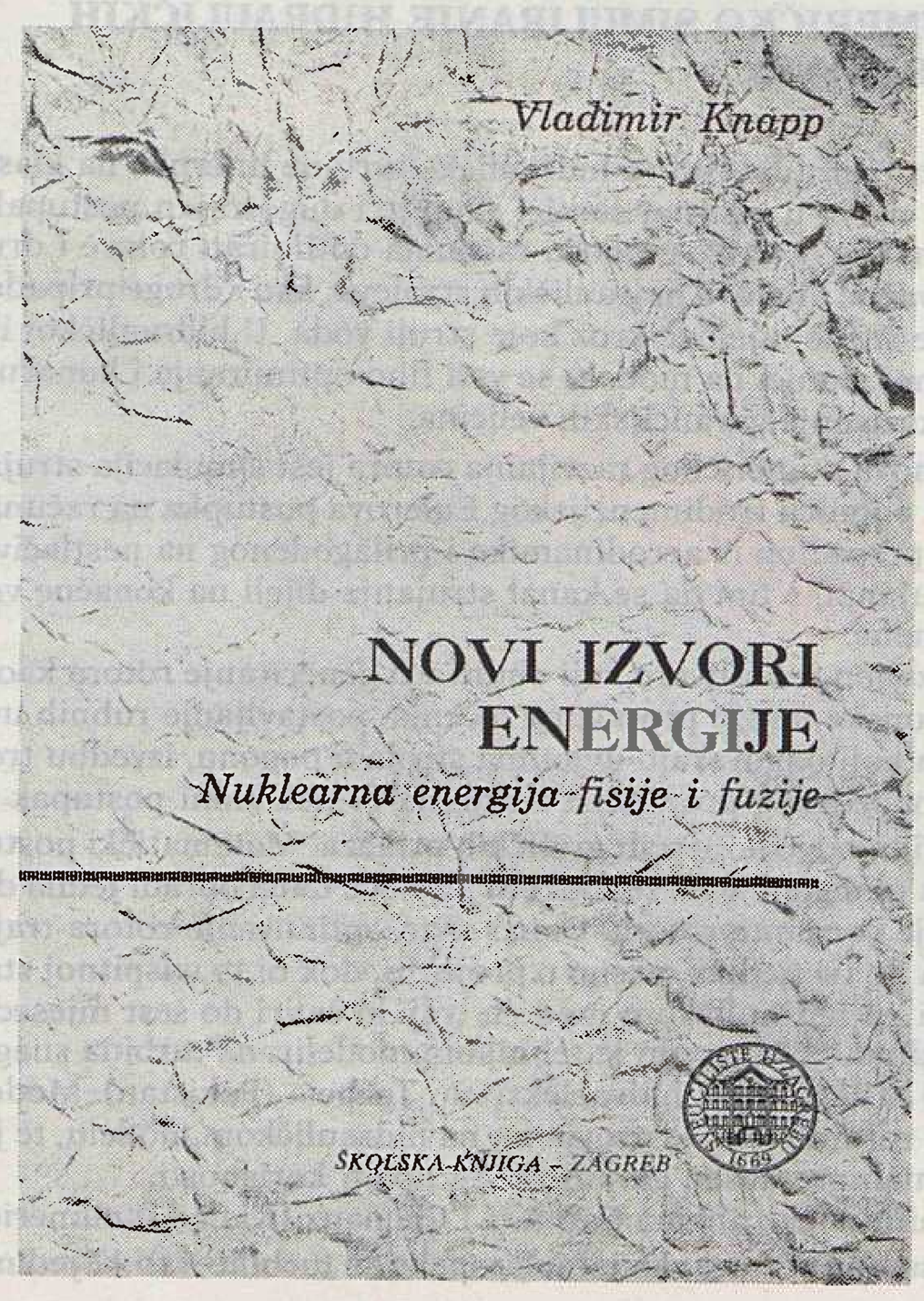
KORIŠTENJE ZnO KOMPOZIT-ODVODNIKA NA ISKRIŠTIMA POVISUJE SIGURNOST DISTRIBUCIJSKIH MREŽA

Korištenje iskrišta za prenaponsku zaštitu srednjonaponskih mreža usvojeno je zbog pouzdanosti i niske cijene u mnogim zemljama. Najnoviji zahtjevi za povišenjem kvalitete pogona stavili su, međutim, pod lupu i to rješenje, pa se tako pokazalo da u praksi često izostaje gašenje luka, a posljedica je da prateću struju (follow current) treba isključiti pomoću prekidača, što, pak, traži prekid pogona. Najnovija rješenja koriste se zato upotrebom ZnO-kompozit odvodnika spojenog u seriji s iskrištem. U normalnom pogonu odvodnik nije pod naponom, a u slučaju djelovanja iskrišta on prigušuje prateće struje i djeluje umjesto prekidača. Čak i u slučaju proboja tog odvodnika pogon se nastavlja sa samim iskrištem kao prenaponskom zaštitom. U usporedbi s klasičnom prenaponskom zaštitom (paralelno spojenim odvodnicima) ovo se rješenje zbog svojih tehno-ekonomskih pogodnosti uvelike primjenjuje u mnogim zemljama.

8. international symposium
on high voltage engineering
Yokohama 1993.

Z. C.

NOVE KNJIGE I ČASOPISI



NOVI IZVORI ENERGIJE

Prof. dr. Vladimir Knapp

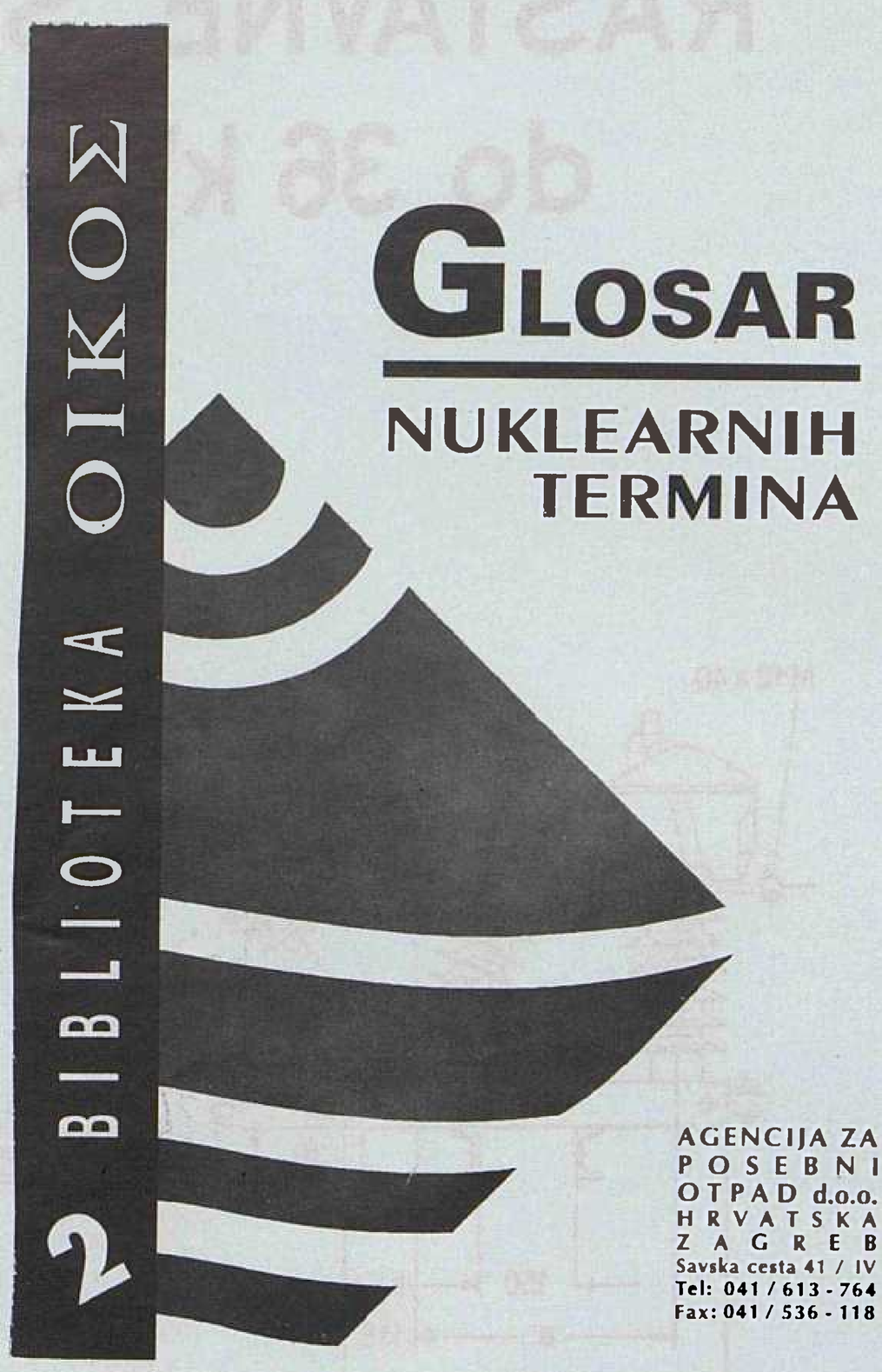
U izdanju Školske knjige izašla je knjiga Novi izvori energije — Nuklearna energija fizije i fuzije, prof. dr. Vladimira Knappa. U knjizi su obrađeni svi aspekti nuklearne energije, njezina sadašnja i buduća uloga u svjetskoj energetici. Prikazan je i razvoj fuzijske energetike.

Agencija za posebni otpad (APO) objavila je do sada 5 publikacija:

Glosar nuklearnih termina, Energetska ograničenja i energetske alternative Hrvatske, Radioaktivni otpad — što je to, kako nastaje i što učiniti s njim? Poliklorirani bifenil i poliklorirani terfenil — ekološki problemi vezani za njihovu primjenu i Odlagalište nisko i srednje radioaktivnog otpada — tunelski tip — Novelacija idejnog rješenja

Agencija je izdala i prvi broj dvomjesečnika **APO — NOVOSTI.**

Hrvatsko nuklearno društvo izdalo je 1. broj »**HND, NUCLEUSA**« što izlazi 6 puta godišnje.

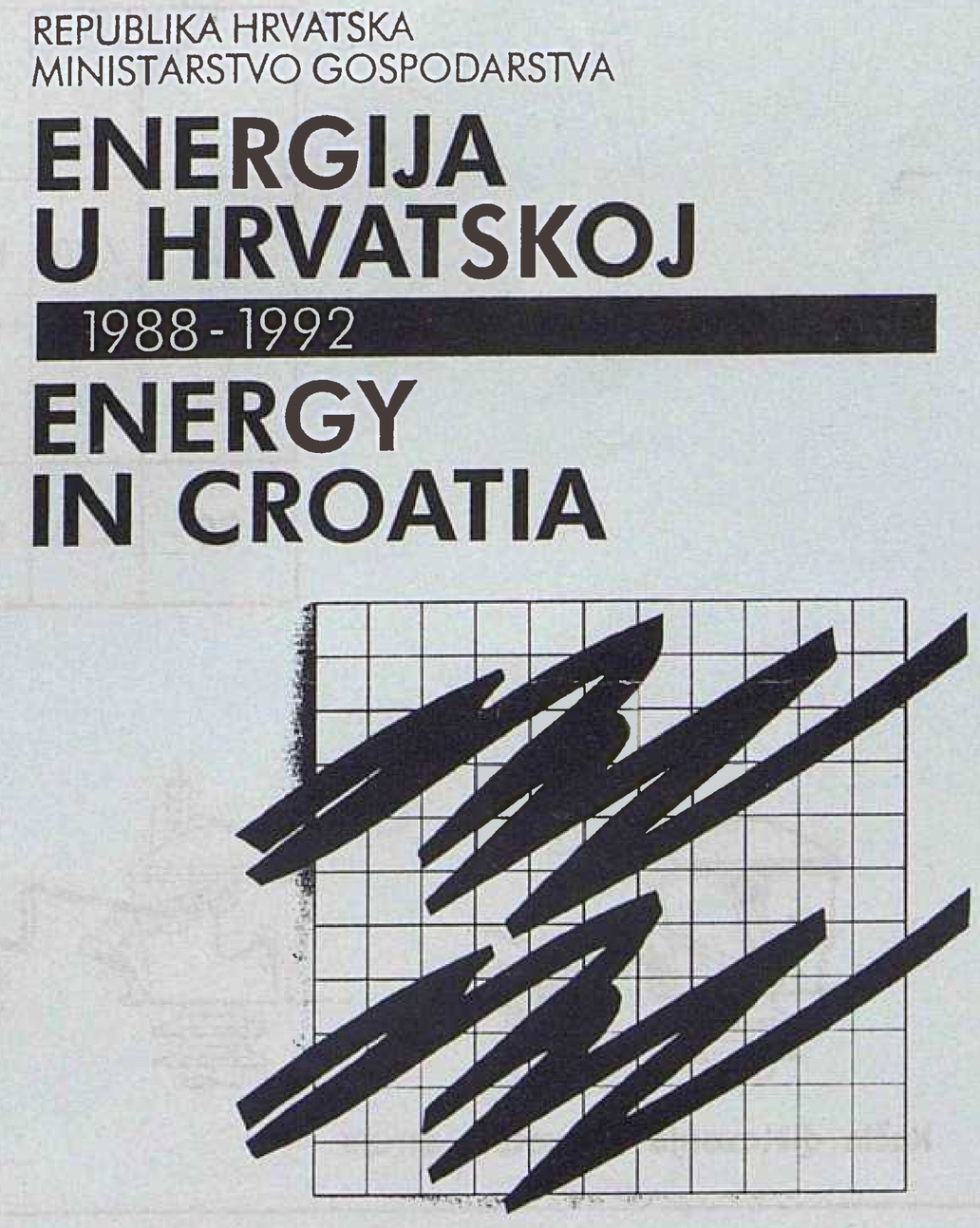


PUBLIKACIJA O ENERGETICI HRVATSKE

Početkom siječnja 1994. godine u Ministarstvu gospodarstva predstavljena je publikacija »Energija u Hrvatskoj 1988. do 1992. godine«.
Publikacija je izrađena po uzoru na slična izdanja u većini zemalja razvijena svijeta. Ovaj godišnji energetski pregled, kakav Hrvatska do sada nije imala, postat će redovitom publikacijom hrvatskog Ministarstva gospodarstva. Tu su prikupljeni glavni podaci o hrvatskoj energetici: od proizvodnje primarne energije preko potrošnje i njezine strukture do bilanci pojedinih vrsta energije, a njome je Ministarstvo gospodarstva kao državni organ nadležan i odgovoran za hrvatsku energetsku politiku, željelo pridonijeti boljoj obaviještenosti javnosti o energetici. Predstavljanje publikacije zajedno su osigurali Ministarstvo gospodarstva Hrvatske, Hrvatska elektroprivreda i INA.

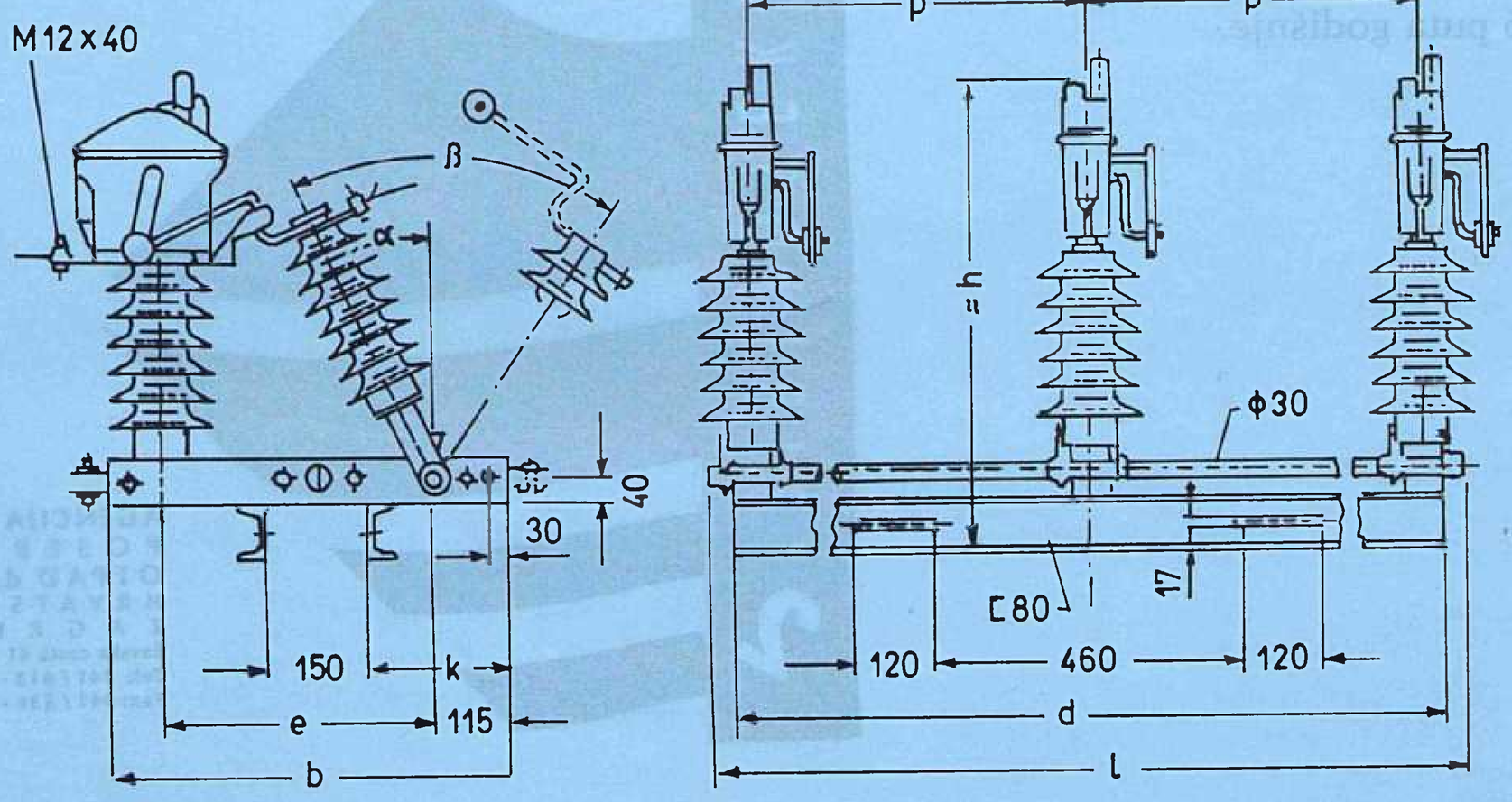
Tom prigodom njezini su autori, a to su stručnjaci Ministarstva gospodarstva i Instituta za elektroprivredu i energetiku, naglasili da se posljednjih godina potrošak energije, u industriji pomalo smanjivao, a u prometu povećavao.

I. R.

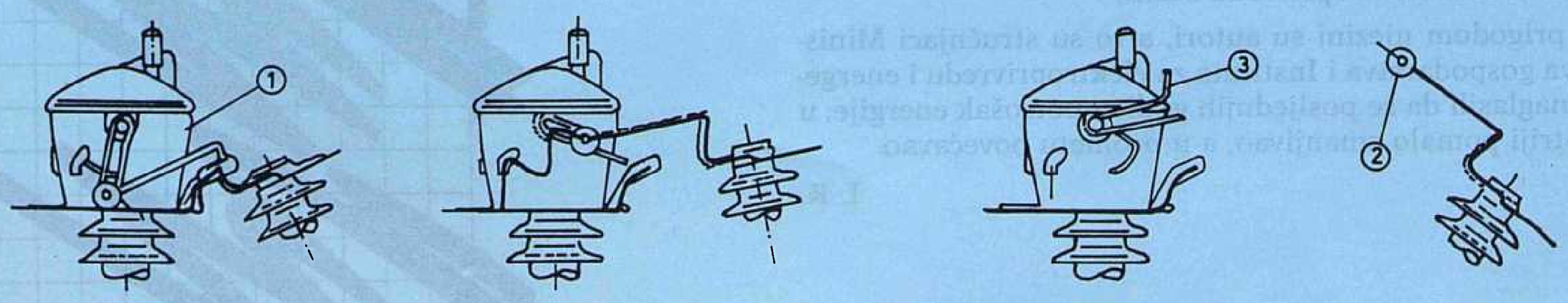


RASTAVNE SKLOPKE
do 36 kV 630 A

5 ZRS



kV	A	b	d	e	≈h	k	l	p	α	ß	masa ca. kg
12	400	600	1465	405	612	215	1530	700	29°	60°	99
24	400	600	1465	405	682	215	1530	700	25°	60°	109
36	400	650	2065	455	762	265	2130	1000	25°	60°	138



Način djelovanja i protok struje

ELEKTROPROIZVOD

41000 ZAGREB, Savski Gaj XIII put broj 20
Tel.: (041) 521-804, Fax: (041) 521-804

TEHNIČKI OPIS:

PRIMJENA: Vanjska montaža u normalnim pogonskim uvjetima prema IEC stand.

MONTAŽA: Na drveni, betonski ili metalni stup

POLOŽAJ: Horizontalni

MATERIJALI: Fe/Zn profili, niklani bakar, porculanski izolatori, PVC kućište.

ISPITIVANJE: Prema IEC stand.

POLNI RAZMAK: Min. 500 do max 1200 kontinuirano

POLNOST: Jednopolna i tropolna

POGON: Polužni sa zabravljivanjem dužine do 15 metara (jednostruki, dvostruki ili trostruki)

IZVEDBA: Sa ili bez noževa za uzemljenje

Tehnički podaci:

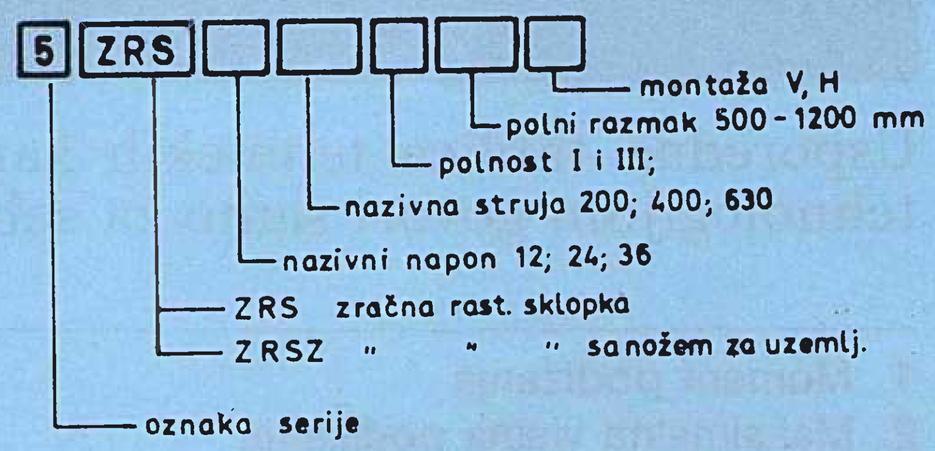
Tip rastavne sklopke	Nazivni napon kV	Nazivna struje A	Podnosiva tjemena vrijednost struje kA*	Kratkotrajna podnosiva struja kroz 1 s* kAef	Ie kA
5 ZRS (5 ZRSZ)	12	400	35	14	10
	24				
	36				

* Pri trajanju kratkog spoja t između 1 i 5 sekundi, treba navedenu kratkotrajnu struju kroz 1 s pomnožiti sa $1\sqrt{t}$

Zamijenjuje tipove drugih proizvođača:

„ELEKTROPROIZVOD" Zagreb	„KONČAR" Sombor	DRIESCHER
5 ZRS	Fla 15/60	FLa 15/60
5 ZRSZ	Fla 15/60 Z	FLa 15/60 Z

KOD NARUDŽBE NAPIŠITE POTREBNE OZNAKE



ELEKTROPROIZVOD

Služi za informaciju
Pridržava se pravo izmjene podataka

TEHNOMEHANIKA
MARIJA BISTRICA - CROATIA

PROIZVODNJA SPECIJALNIH KONSTRUKCIJA I HIDRAULIČNIH NADGRADNJI

Novosti iz »Tehnomehanike«

Dugogodišnji partner HEP-a u proizvodnji dizalica i platformi, »TEHNOMEHANIKA« iz MARIJE BISTRICE, je u cjelini modernizirala svoj proizvodni program.

Usvajanjem tehnologije varenja i obrade mikrolegiranih čelika, konstrukcija dizalica i platformi postaje bitno laganija. Takvi proizvodi su podesniji za ugradnju na manja vozila, pa im se područje upotrebe bitno povećava.

Dosad su po toj tehnologiji proizvedene, ispitane i stavljene u serijsku proizvodnju dizalice HAK-2S i HAK-11Š.

Pozitivan odgovor domaćeg i stranih tržišta nalaže da se i ostali proizvodi izrade tom tehnologijom. Tako će odsad dizalice »TEHNOMEHANIKA« po svojoj masi konkurirati uvoznima.





Usporedna tablica tehničkih karakteristika dizalica izrađenih novom i starom tehnologijom govori samo za sebe!

	PRIJE HAK-2	NOVO HAK-2S
1. Moment podizanja	2000 dNm	2000 dNm
2. Maksimalna visina podizanja	5,8 m	6 m
3. Maksimalni krak (od simetrale stupa)	3,6 m	3,8 m
4. Kut zakretanja	270°	270°
5. Moment okretanja	490 dNm	490 dNm
6. Vlastita težina mase standardne izvedbe	685 kg	380 kg
7. Primjena na vozila vlastite mase preko	1700 kg	1400 kg

41246 Marija Bistrica, Stubička 4, Hrvatska

☎ 049/69-106, 69-126, 69-506, 69-516, 69-159 Fax: 69-087 Telex: 29227 TEHMAB
Predstavništvo: Zagreb, Vukovićeva 3, 041/174-284, Tel/fax: 041/174-264
Žiro račun: 35210-601-495 D. Stubica

UDK 621.31

ENJAAC 43 (3) — (1994) 129 – 202

ISSN 0013-7448

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro *Stanković,* dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zdenka *Jelić,* prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Slavica *Barta,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb — Anđelko *Dujmović,* dipl. inž., Direkcija za distribuciju, Osijek — Bruno *Šaina,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Prijenosno područje Opatija — Marijan *Kovač,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, PP Primorskog sliva, Tribalj — mr. Damir *Subašić,* dipl. inž., Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko *Cvetković,* dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić,* prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. Goran *Granić,* dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl,* dipl. inž. — »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić,* dipl. inž. — »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković,* dipl. inž. — »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić,* dipl. inž. i Dasenko *Baldasari,* dipl. inž. — »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović,* dipl. ecc., Mladen *Mandić,* dipl. ecc. i Marijan *Magdić,* dipl. ecc. — »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša,* dipl. inž. — »Informatika«, Nikola *Lastrić,* dipl. inž. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko *Mališ* — Lektor — Lingvistic Adviser: Vladimir *Strojny,* prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko,* dipl. inž.

Redakcija završena 1994 – 04 – 22

Godište 43 (1994) Zagreb 1994 Br. 3

SADRŽAJ

Sutlović E.: Baza podataka za projektiranje elektroenergetskih postrojenja (Pregledni članak) 131

Rajić F.: Automatika i kultura vođenja energetskih postrojenja i procesa (Pregledni članak) 137

Tonković Z.: Novi vodiči u prijenosnoj mreži (Pregledni članak) 143

Žutobradić S. — Ravlić V. — Radošević Ž.: Neka rješenja pojednostavnjenih TS 110/10(20) kV (Pregledni članak) 151

Cvetković Z.: Prilog prenaponskoj zaštiti distribucijskih postrojenja srednjeg napona (Stručni članak) . 159

Nikolovski S.: Proračun parametara višestrukih nadzemnih vodova osobnim računalom (Pregledni članak) 163

Stanić D. — Kunaj H.: Analiza naprezanja u spoju cijevi i cijevne stijene generatora pare u nuklearnim elektranama (Izvorni znanstveni članak) 175

Vijesti iz elektroprivrede 185

Iz strane stručne literature 186

Slika na omotnoj strani

Polaganje podmorskog kabela

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Avenija Vukovar 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 625-328 i 625-111/328, telefax: 041/530-604

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 40 DEM, a za poduzeća i ustanove 80 DEM (za studente 20 DEM). Cijena pojedinog broja u prodaji 8 DEM.

Pretplata je iskazana u DEM, a uplaćuje se u dinarskoj protuvrijednosti na dan uplate.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A–4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su: Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

BAZA PODATAKA ZA PROJEKTIRANJE ELEKTROENERGETSKIH POSTROJENJA

Mr. Elis Sutlović, Split

UDK 621.311.001

PREGLEDNI ČLANAK

U radu su, sukladno suvremenim metodama projektiranja baza podataka i općenitog razvoja informacijskih sustava, analizirani poslovni procesi u projektnom uredu i razmatrana primjena tehnike baza podataka nad definiranim procesima. Istaknuta je mogućnost primjene baze podataka u svim dijelovima i na svim razinama projektnog ureda: od podrške pojedinim projektantskim postupcima do organizacije cjelokupnog procesa projektiranja. Za tipsku transformatorsku stanicu 110/x kV Hrvatske elektroprivrede realizirana je baza podataka standardne dokumentacije modula pomoću sustava za upravljanje relacijskom bazom podataka ORACLE i kreirana posebna aplikacija za pregled, izbor i ažuriranje dokumentacije. Na ovom primjeru pokazana je i analizirana izgradnja i primjena baze podataka za projektiranje elektroenergetskih postrojenja.

Ključne riječi: elektroenergetska postrojenja, projektni ured, projektiranje računalom, informacijski sustav, relacijska baza podataka.

1. UVOD

Projektiranje elektroenergetskih postrojenja složen je inženjerski posao, jer ujedinjuje širok spektar znanja iz raznih djelatnosti i niz složenih radnji nužnih za izradu kompletnog i kvalitetnog projekta. Projektni zadaci postaju sve složeniji, a važnost tehničke dokumentacije projekta se sve više naglašava. Projektant je suočen sa mnoštvom podataka i dugotrajnim izračunavanjem, pa se u projektnom uredu, kao nosiocu poslova projektiranja, nastoji primjenom suvremenih metoda što više tih aktivnosti automatizirati, odnosno za njih stvoriti snažnu računalsku podršku. Zbog složenosti i multidisciplinarnog karaktera projektiranja izuzetnu pozornost zahtijeva organizacija procesa projektiranja i izgradnja informacijskog sustava (IS) projektnog ureda. U projektnom uredu se istodobno izvodi niz različitih projektnih i drugih poslova, od utvrđivanja ponudbenog roka i cijene projektne usluge do pregleda i ispravljanja gotove projektne dokumentacije. Informatička tehnologija zašla je u sve faze projektnog posla, pa dobar IS mora omogućiti primjenu tih tehnologija u svim dijelovima i svim nivoima projektnog ureda. Osim toga, IS projektnog ureda mora omogućiti laku, brzu i sigurnu izmjenu informacija na svim razinama te, napokon, integraciju svih projektnih poslova u cjelinu.

Baze podataka (BP) su relativno nov i do danas najkompleksniji oblik organiziranja podataka. Za razliku od klasičnih koncepcija, čija je osnovna značajka autarhičnost memoriranih jednostavnih struktura podataka i programskih aplikacija, BP se odlikuju integriranošću i organizacijom složenih struktura podataka. Koncepcija BP polazi od stajališta da treba stvoriti jedinstven skup podataka koji služi većem broju aplikacija, odnosno korisnika. Razvoj sustava za upravljanje bazama podataka (SUBP), uz napredak ostale informatičke tehnologije (snažniji i brži procesori, veće i brže memorije, raznovrsniji i kvalitetniji periferalni uređaji, komunikacijsko povezivanje i umrežavanje računala, moćnija programska podrška, . . .), omogućio je izmjenu informacija među logički povezanim obradama i integraciju gotovo svih projektnih postupaka oko pridružene baze podataka, a time i bitan porast produktivnosti cijelog ureda.

Namjera je ovog rada upozoriti na mjesto BP u jednom integriranom informacijskom sustavu ureda za projektiranje elektroenergetskih postrojenja te istaknuti što baza treba sadržavati i kako mora biti organizirana.

2. BAZA PODATAKA U PROJEKTNOM UREDU

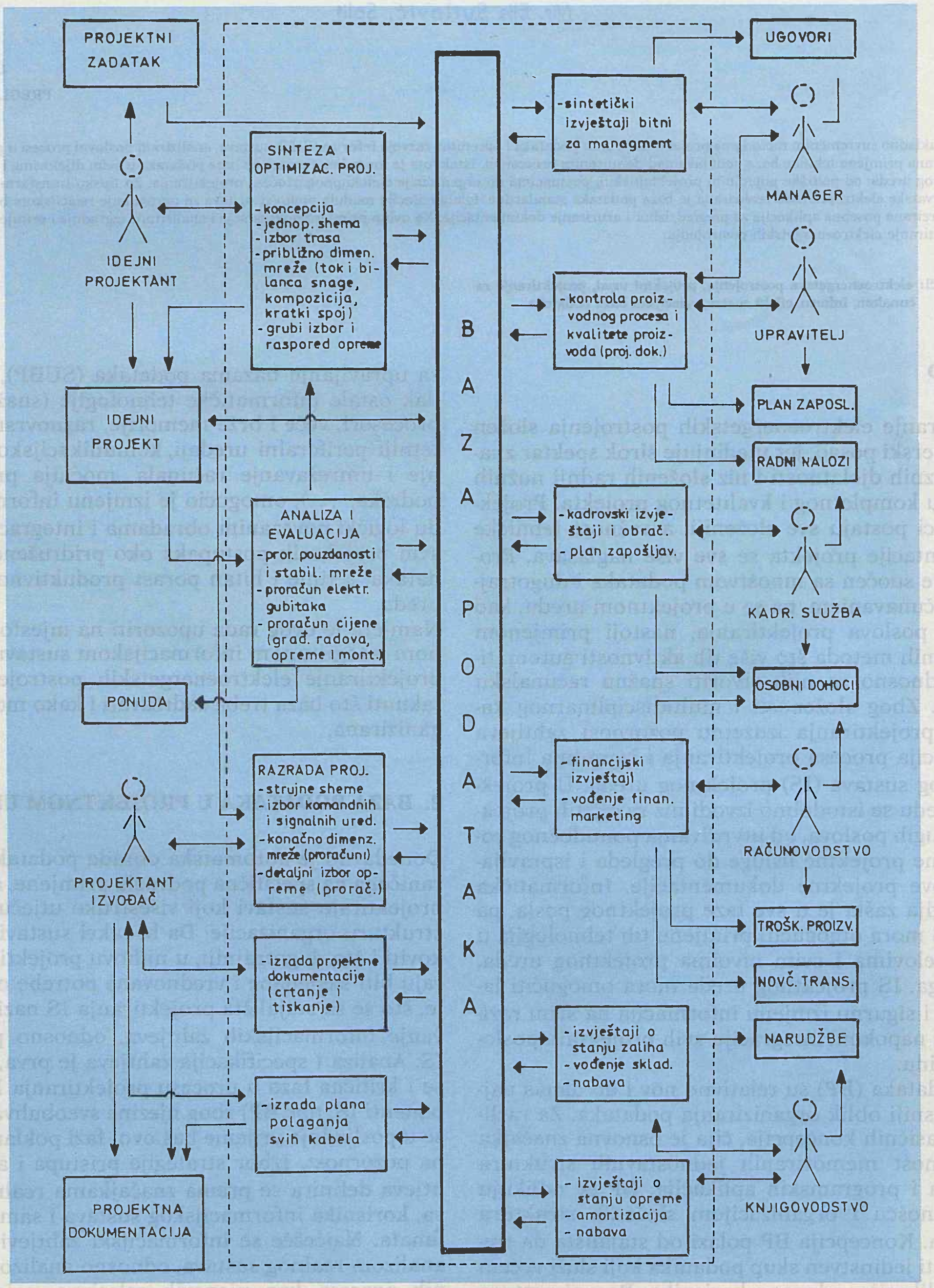
Donedavno je automatska obrada podataka bila ograničena na specifična područja primjene, a danas se projektiraju sustavi koji višestruko utječu na cijelu strukturu organizacije. Da bi takvi sustavi bili učinkoviti i što dugotrajniji, u njihovu projektiranju moraju biti sagledane i vrednovane potrebe organizacije, što se sa stajališta projektiranja IS naziva utvrđivanje informacijskih zahtjeva, odnosno planiranje IS. Analiza i specifikacija zahtjeva je prva, a smatra se i kritična faza u procesu projektiranja IS (i komponenti IS, npr BP) zbog njezine sveobuhvatnosti, to se u posljednje vrijeme baš ovoj fazi poklanja posebna pozornost. Izbor strategije pristupa i analize zahtjeva definira se prema značajkama realnog sustava, korisnika informacijskog sustava i samih projektanata. Najčešće se informacijski zahtjevi utvrđuju analizom realnog sustava, odnosno analizom poslovnih procesa kao njegovih relativno najstabilnijih

komponenti. Na temelju definiranih zahtjeva moguće je daljnje modeliranje podataka te logičko i fizičko projektiranje BP.

U projektnom uredu za projektiranje elektroenergetskih postrojenja, gdje se istodobno realizira više projekata, već i površnom analizom poslovne procese možemo podijeliti na tri osnovne skupine:

— procesi projektiranja (proizvodnje): tehnički proračuni, prikaz rezultata obrade, donošenje projektnih odluka, crtanje i tiskanje dokumentacije
— procesi planiranja, upravljanja i kontrole
— pomoćni procesi: procesi upravljanja osnovnim resursima koji se koriste u poslovanju (meterijal, novac, oprema, osoblje).

Slika 1. ilustrira zahtjeve koji se postavljaju pred bazu podataka u jednom integriranom informacijskom sustavu projektnog ureda elektroenergetskih postrojenja. (Kod projektnih poslova posebno je naglašena izrada elektroenergetskog projekta.) Analizom poslovnih procesa uočava se velika raznolikost djelat-



Slika 1. Integrirani IS projektnog ureda

nosti koje se, ipak, mogu povezati u grupe sličnih procesa. Stoga BP jednog projektnog ureda treba imati nekoliko sistematiziranih skupina podataka među kojima je moguća razmjena informacija. Manje skupine mogu se tako samostalno razvijati uz zajedničku mrežu za prijenos, standardni format podataka i globalni model podataka. Podaci se mogu grupirati u ove skupine:

- »katalog« projekata koji bi sadržavao glavne informacije o projektu (npr. tehničke parametre na najvišoj razini, jednopolne i dispozicijske sheme objekta, investicijske informacije itd.)
- »baza podataka« svakog projekta gdje bi bili pohranjeni svi podaci (informacije, crteži, troškovi, radni nalozi i sl.) o tekućim projektima
- »arhiva« gotovih projekata i gotovih proračuna
- »katalog« materijala i opreme, standardizirane i nestandardizirane, za projektiranje i tehničke proračune, s popisom dobavljača i cjenikom,
- konstrukcijske informacije (tablice, dijagrami, . . .)
- informacije vezane za kadrovsku problematiku (plan zapošljavanja, raspored osoblja po odjelima, obračun radnih sati i osobnih dohodaka, . . .)
- informacije o projektnoj opremi (sredstvima za proizvodnju).

Ovako združena baza podataka projektnog ureda može pružiti snažnu podršku gotovo svim pojedinačnim projektantskim postupcima, ali i cjelokupnoj organizaciji procesa projektiranja i time znatno skratiti vrijeme potrebno za provođenje obrade.

Programi koje projektanti danas koriste radi konfiguriranja, provjere funkcionalnosti, simuliranja mogućih naprezanja, određivanja pouzdanosti, optimiranja projektiranog objekta i sl. rađeni su uglavnom za »off-line« način obrade s numeričkim ili grafičkim prikazom rezultata. Svi ti programi zahtijevaju mnoštvo podataka koji se, još uvijek, unose pretežno »ručno«, odnosno projektant mora pri pokretanju takvog programa pripremiti (npr. numerirati čvorove, izračunati parametre svakog ulaznog elementa, . . .) i upisati ulazne podatke. Izlazni rezultati jednog proračuna često su dio ulaznih podataka drugog proračuna. Iz BP projektnog ureda mogla bi se crpsti većina ulaznih podataka tih programa, a također, bazi podataka usmjeravati interesantni rezultati proračuna, odnosno izlazne liste programa. Analiziranjem ulaznih podataka svih tih programa definirali bismo dio zahtjeva na model podataka koji bi te proračune podržavao. Računski postupci, uz takvu BP (i neizbježne prilagodne programe koji bi se morali dodati većini postojećih aplikacionih programa), bili bi mnogo brži i učinkovitiji.

Uvođenjem CAD sustava u projektne urede automatizira se dio projektnih radnji, a projektanta se oslobađa zamornih rutinskih poslova. Uporabom računala i grafičkog terminala, uz odgovarajuću programsku podršku koja dopušta interaktivan (»on-line«) dijalog čovjeka i stroja, znatno je olakšan i skraćen postupak projektiranja. I kod CAD sustava čest je slučaj da su izlazni rezultati jednog programa dio ulaznih podataka drugog programa. Većina CAD aplikacija zahtijeva veliku količinu numeričkih i grafičkih informacija te se prirodno mora osloniti na bazu podataka. Iako mnogi CAD programi imaju pridruženu »bazu podataka«, integrirana BP u projektnom uredu mora podržati datoteke simbola i datoteke crteža na razini cijelog ureda.

Pisanje i tiskanje teksta pomoću modernih programa za obradu teksta koji udružuje grafiku i tekst, uz bazu podataka koja može pohraniti rezultate numeričkih proračuna, grafičke i alfanumeričke rezultate CAD aplikacija te sistematizirati velik broj tekst datoteka i crteža, znatno olakšava i ubrzava cjelokupan projektantski posao.

Pri tradicionalnom projektiranju dio radnog vremena odlazi na traženje i listanje tvorničkih kataloga, te prepisivanje značajki opreme u projektnu dokumentaciju. Premda se komponente elektroenergetskih postrojenja relativno rijetko mijenjaju, detaljno praćenje većeg broja komponenti od kojih svaku karakterizira niz različitih podataka zaseban je problem. Stvaranje vlastitog »kataloga« unutar baze podataka, kako standardizirane, tako i nestandardizirane opreme, projektantima može znatno olakšati izbor opreme. Podaci iz »kataloga« koji se mogu izravno prebaciti u projektnu dokumentaciju ili koristiti kao ulaz u aplikacijske programe ubrzavaju proces projektiranja. Korištenje raznih »kataloga«, tablica, dijagrama, uputa i sl. za donošenje projektnih odluka je ujedno i put prema formiranju »baze znanja«, odnosno ekspertnog sustava.

Dinamika rada u projektnom uredu ostvaruje se u neprekidnoj smjeni izdavanja i izvršavanja radnih zadataka te u neprekidnoj sintezi, analizi, ocjeni i poboljšanju projektnog rješenja. Pojedine projektne obrade imaju svoj točno utvrđeni slijed, a provode ih stručnjaci različitog profila. Da bi zadovoljila dinamiku rada, baza podataka u projektnom uredu mora, uz pružanje podrške raznim projektnim postupcima, osigurati širok komunikacijski prostor između procesa na istoj razini između raznih nivoa i složenosti obrade te raznih faza izvođenja projekta. Komunikacijsko područje je dio »baze podataka projekta« na kojeg se preslikavaju sve projektne odluke i korisne informacije, pohranjuju zadovoljavajući rezultati proračuna, slaže dokumentacija koja je »podloga« daljnjim obradama itd. U tom prostoru projektantima svih struka uvijek je na raspolaganju za rad najnovija verzija (revizija) svih projektnih dokumenata. Kao što se proizvodni proces u projektnom uredu odvija u više hijerarhijskih razina, tako se i komunikacijsko područje, po potrebi, dijeli na više područja nadređenih i podređenih jediničnih obrada. Svakom korisniku baze podataka definira se korisničko ime, lozinku, pravo pristupa određenim podacima i status obrade nad tim podacima. Time se čuva tajnost definiranih skupina podataka te povećava brzina izvedbe radnog zadatka zbog smanjenog opsega pretraživanja. Na višim se razinama mogu povezati projektni procesi s ostalim, pomoćnim procesima. Tijekom izrade konkretnog projekta razni programi koriste informacije iz različitih podskupova podata-

ka BP te ujedno stvaraju novu skupinu pridruženu samo tom projektu. Ta »baza podataka projekta« nužno raste s vremenom i dostiže svoj maksimum u trenutku završetka projekta.
Uvidom u komunikacijsko ili ostala područja rada moguća je djelotvorna kontrola izvođenja radova na svim razinama te planiranje rada cjelokupnog ureda, utrošak radnog vremena osoblja po ulogama, procjenu raspoloživosti potrebnih kapaciteta, izvedivosti projekta u zahtijevanom roku itd.

3. PRIMJER KORIŠTENJA TEHNIKE BAZE PODATAKA KOD PROJEKTIRANJA TIPSKE TS 110/x kV HEP

Na primjeru pohranjivanja standardne dokumentacije modula (SDM) tipske transformatorske stanice 110/x kV Hrvatske elektroprivrede prikazana je mogućnost korištenja tehnike BP u projektnom uredu. Stvaranje vlastitoga »kataloga« projektne dokumentacije unutar baze podataka projektantima može znatno olakšati i ubrzati posao pri projektiranju konkretnih trafostanica 110/x kV. Dokumentacija mora biti pravilno sortirana i lako dostupna raznim korisnicima i aplikacijskim programima.

Realizacija baze podataka SDM tipske TS obuhvatila je detaljnu analizu tipske TS 110/x kV HEP u svrhu utvrđivanja informacijskih zahtjeva na BP, definiranje modela podataka, a zatim logičko i fizičko projektiranje BP. Na kraju je kreirana posebna aplikacija za pregled, izbor i ažuriranje SDM tipske TS 110/x kV HEP. U fazi fizičke realizacije BP korišten je software relacijske baze podataka ORACLE na osobnom računalu PC AT 386 pod DOS operativnim sustavom.

Prijalaz na računalno vođenje dokumentacije nužno zahtijeva uvođenje suvremene tehnologije koja bi smanjila troškove te povećala učinkovitost i pouzdanost sustava pohranjivanja i manipuliranja crtežima. Premda dijelom prelazimo okvire ovoga rada, treba navesti da sustav prohranjivanja i manipuliranja crtežima mora podržavati rad u lokalnoj mreži i višekorisničko radno okruženje. Uz to, vrlo je korisna »snažna« oprema za komprimiranje i pohranjivanje velike količine podataka (optički disk), oprema za skeniranje, komunikacijske veze među računalima itd.

3.1. Tipska transformatorska stanica 110/x kV HEP

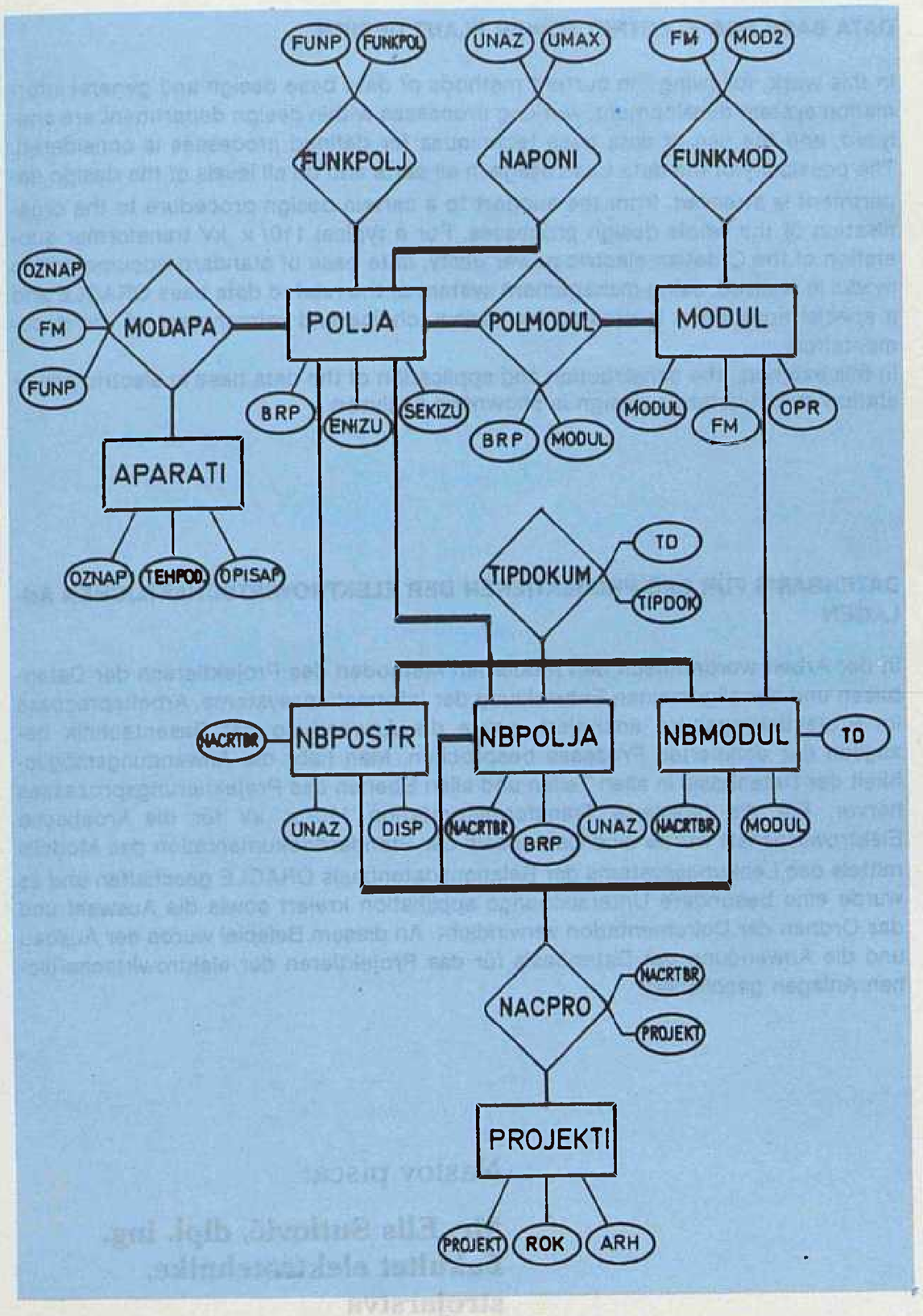
Tipska transformatorska stanica 110/x kV HEP, koncipirana na modularnom načelu, omogućuje tvorničku proizvodnju elemenata trafostanice (modula) te se na taj način skraćuje vrijeme montaže na terenu i ubrzava proces izgradnje stanice. Moduli su zaokružena i u potpunosti određena funkcijska i konstruktivna jedinica, a prema složenosti funkcije koju obavljaju u pripadnom dijelu TS podijeljeni su u pet redova. Objedinjavanjem nekoliko modula nižeg reda dobiva se modul višeg reda.

Dokumentacija tipske stanice prilagođena je modularnoj koncepciji. Na sličan način kako se iz pojedinih modula slaže stanica, tako se iz projektne (SDM) i izvedbene dokumentacije (tvorničke dokumentacije modula) slaže projektna dokumentacija stanice. Za module koji se ne daju tipizirati, npr. uzemljivač, gromobranska zaštita, vanjska rasvjeta, plato i slično, ne radi se SDM, već se oni projektiraju kao prilagodna dokumentacija u skladu s konkretnim prilikama na lokaciji stanice. Pri projektiranju konkretnog objekta treba, dakle, obaviti izbor SDM te na toj osnovi projektirati i prilagodnu dokumentaciju za dotičnu TS.
Količina izrađene i objavljene SDM vrlo je velika i čini je više kompleta knjiga. Radi lakšeg snalaženja u opsežnom izboru varijanti SDM-a načinjene su »tablice odlučivanja« za module 3. reda iz kojih se pregledno vide sve varijante SDM koje su izrađene ili će se još izraditi s njihovim najvažnijim podacima.

3.2. Prijedlog baze podataka SDM tipske TS 110/x kV HEP

Budući da modeliranja podataka ima presudnu važnost za cijeli tok projektiranja baze, nastojale su se zadovoljiti sve performanse koje jedan dobar model podataka treba imati te se težilo modelu podataka koji odgovara svima, pa i budućim zahtjevima koji se mogu postaviti na ovu BP. Pažljivom analizom zahtjeva, uz primjenu metodoloških pravila pri analizi realnog sustava i modeliranja podataka, nastao je model podataka tipa entiteti-veze. Kako je pri realizaciji BP korišten SUBP relacijskog tipa, model podataka tipa entiteti-veze preveden je u relacijski model podataka a zatim normaliziran. Normalizacije relacijske sheme podataka osnovna je mjera osiguranja dobrih statičkih i dinamičkih svojstava BP (učinkovitost pristupa, jednostavnost pretraživanja, izbjegavanje anomalija ažuriranja, kontrola redundancije i sl.).

Model podataka tipa entiteti-veze prikazan je dijagramom na slici 2. (Dijagram entiteti-veze je formalan način za grafičko predstavljanje strukture baze podataka. Uobičajeno je pravokutnicima predstavljati entitete, elipsama atribute entiteta, a romboidima veze među entitetima — to je tzv. Chenova notacija.) Prikazani model podataka nije, zbog opsežnosti, obuhvatio kompletno područje tipske TS 110/x kV HEP, već samo energetski podsustav, no već se na tom dijelu vidi način organizacije BP. Na dijagramu sa slike 2. mnogi atributi su izostavljeni ili su samo formalno naznačeni, jer za strukturu baze nisu previše važni, a zbog brojnosti dijagram čine kompliciranim i nepreglednim. Konačni, relacijski model energetskog podsustava čini 14 relacija, od kojih neke predstavljaju entitete (nacrte, module 1., 2. i 3. reda, projekte), neke veze među entitetima, a neke su opis korištenih šifri. Kako različiti atributi karakteriziraju dokumente različitih modula, nacrti su opisani relacijama NBPOSTR, NBPOLJE i NBMODUL, ovisno o stupnju modula kojem pripadaju. Moduli 1, 2. i 3. reda predstavljeni su relacijama APARATI, MODULI i POLJA, dok su atributi entiteta projekt udruženi u relaciju PROJEKTI. Relacije POLMODUL, MODAPA



Slika 2. Dijagram modela podataka entiteti-veze za energetski podsustav

i NACPRO sadrže pripadne veze među entitetima polje i modul, modul i aparat te nacrt i projekt. Relacije FUNKPOLJ, FUNKMOD, TIPDOKUM i NAPONI daju objašnjenja korištenih šifri, uvedenih radi učinkovitijeg korištenja računala. (Detaljan opis i obrazloženje svih relacija i atributa relacijskog modela podataka dan je u [1].)

3.3. Aplikacija za pregled, izbor i ažuriranje SDM tipske TS 110/x kV HEP

Aplikacija za pregled, izbor i ažuriranje standardne dokumentacije modula napravljena je da bi se korisniku olakšao rad pri projektiranju konkretne transformatorske stanice 110/x kV na osnovi postojeće SDM tipske TS 110/x kV HEP. Cijela aplikacija je rađena kao vodič kroz postojeću SDM, gdje korisnik izborom iz niza ponuđenih mogućnosti usmjerava program željenom cilju, odnosno onim dijelovima i dokumentima tipske TS koje bi htio pogledati i kopirati. Aplikacija za pregled, izbor i ažuriranje SDM energetskog podsustava, uz relacije prije prikazanog modela podataka, koristi i 62 forme (ekranske maske) za usmjeravanje toka programa (izbornici) ili za prikaz podataka iz baze. Svaka forma ima svoje specifičnosti, a ovdje će biti naznačene samo osnovne značajke cijeloga programskog paketa.

— Aplikacija je zamišljena tako da svi (»obični«) korisnici imaju pravo pregleda tipske dokumentacije i parametara stanice (ili bar nekih dijelova) te njihovo kopiranje u svoje radno područje. Tipsku dokumentaciju koja se prihvaća bez izmjena, ne treba kopirati, već se samo obilježi na za to predviđeni način, a aplikacija zapamti i poveže broj nacrta i broj projekta. Korisnici mogu u BP dodavati i svoje, naknadno kreirane dokumente, ali samo kao netipske (u kolonu TIPSKI automatski se upisuje 'NE') i označene novim brojem. »Ovlašteni« korisnik, uz ove mogućnosti, može ažurirati sve podatke u bazi, odnosno dodavati, brisati i mijenjati tipske dokumente i parametre modula.
— Pristup nekom dokumentu moguć je na više načina, ovisno o tome što korisnik zna o njemu. Najbrži je direktnim upisom broja dokumenta, zatim upisom šifre modula 2. ili 3. reda kojem dokument pripada te izbor iz liste ponuđenih dokumenata, a najsporiji je traženjem odgovarajućeg dokumenta putem pregleda hijerarhijskih veza među modulima.
— Aplikacija omogućava prikaz tzv. tablica odlučivanja na isti način (s istim retcima i stupcima), kao i postojeća dokumentacija o tipskoj TS 110/x kV HEP [5], ali uz mnogo veću brzinu i udobnost u radu.
— BP sadrži, a aplikacija omogućuje pregled niza pomoćnih datoteka s opisom tehničkih parametara i koncepcijom stanice (dijela dokumentacije tipske TS 110/x kV HEP koji ne pripada u SDM već u studijski dio [4]), te upute i objašnjenja korisniku za rad sa samom aplikacijom.
— Pri ažuriranju podataka u bazi, prethodno se provjerava konzistentnost podataka i obavještava korisnik o mogućem neskladu. Na primjer, brisanje karakteristika nekog aparata (modula 1. reda) u relaciji APARATI, koji je ujedno sastavni dio drugih modula višeg reda, uzrokovat će nedostatak podataka kod pregleda »tablica odlučivanja«. (U relacijskom modelu podataka ovakav se slučaj ne tretira kao anomalija ažuriranja ako tablica veze ima »nametnuti« primarni ključ.) Stoga će već u proceduri brisanja aparata korisnik dobiti upozorenje.
— Aplikacija putem istih formi dopušta pregled dokumentacije gotovih (arhiviranih) projekata i projekata koji su u fazi izrade.

4. ZAKLJUČAK

Pri projektiranju informacijskih sustava, u uvjetima brzog tehnološkog razvoja, potrebno je imati strategijsku sliku razvoja IS koja će osiguravati kompatibilnost sustava, a biti fleksibilna u prihvaćanju nove tehnologije. Cilj strateškog planiranja jest podjela budućeg sustava na dijelove koji se mogu samostalno ostvariti malim projektima uz poštivanje pravila za razmjenu podataka, a zatim lako povezati. Presudnu ulogu u integraciji k jedinstvenom informacijskom sustavu ima globalni model podataka i integrirana baza podataka.

U radu su analizirani zahtjevi koji se postavljaju pred BP u projektnom uredu i navedene moguće osnovne skupine podataka unutar zajedničkog modela podataka. Efikasna upotreba BP za dobivanje informacija ili korištenje informacijskih procesa od više korisnika obuhvaća velik posao oko sistematizacije i standardizacije svih informacija koje saobraćaju kroz bazu (uz primjenu postojećih tehničkih standarda). Projektiranje baze podataka projektnog ureda, evidentno je, zahtijeva sustavan pristup i tehnologiju primjerenu tehnološkim mogućnostima.
Aplikacija za pregled, izbor i ažuriranje SDM tipske TS 110/x kV HEP, kreirana nad relacijskim modelom podataka pokazala je da može znatno pomoći projektantima te je upozorila na velike mogućnosti primjene tehnike baze podataka u projektnom uredu.

LITERATURA

[1] E. SUTLOVIĆ: »Baza podataka za projektiranje elektroenergetskih postrojenja«, Magistarski rad, ETF Zagreb, 1993.

[2] J. MATJAN: »Informacijski sustav projektnog ureda«, »Elektrotehnika«, Zagreb, br. 3/1982, str. 171-176

[3] D. PETRANOVIĆ: »Projektiranje transformatorskih stanica pomoću osobnih računala«, »CIGRE — XIX savjetovanje«, Referat br. R23.13, Bled, 1989.

[4] »Rade Končar« — Zagreb, »Projektni biro« — Split, ZEOH: Knjiga I — Studijski dio, El »Rade Končar«, Zagreb, 1987.

[5] »Rade Končar« — Zagreb, »Projektni biro« — Split, ZEOH: Knjiga II — Projektna dokumentacija, EI »Rade Končar«, Zagreb, 1987.

[6] Oracle Corporation: RDBMS ORACLE, Belmont, California, USA, 1987.

DATA BASE FOR ELECTRIC POWER PLANT DESIGN

In this work, following the current methods of data base design and general information system development, working processes within design department are analysed, and the use of data base techniques for defined processes is considered. The possibility of the data base usage in all parts and on all levels of the design department is stressed, from the support to a certain design procedure to the organisation of the whole design processes. For a typical 110/× kV transformer substation of the Croatian electric power utility, data base of standard documentation modul is realised, using management system of the related data base ORACLE and a special application is created for review, choice and refreshment of the documentation.
In this example, the construction and application of the data base in electric power station and substation design is shownand analysed.

DATENBASIS FÜR DAS PROJEKTIEREN DER ELEKTROWIRTSCHAFTLICHEN ANLAGEN

In der Arbeit werden nach den modernen Methoden des Projektierens der Datenbasen und der allgemeinen Entwicklung der Informationssysteme, Arbeitsprozesse im Projektierungsbüro analysiert, sowie die Anwendung der Basentechnik bezüglich der definierten Prozesse besprochen. Man habt die Anwendungsmöglichkeit der Datenbasis in allen Teilen und allen Ebenen des Projektierungsprozesses hervor. Für die typisierte Transformatorstation 110/× kV für die kroatische Elektrowirtschaft wurde eine Datenbasis der Standarddokumentation des Modells mittels des Lenkungssystems der Relationsdatenbasis ORACLE geschaffen und es wurde eine besondere Untersuchungs applikation kreiert sowie die Auswahl und das Ordnen der Dokumentation verwirklicht. An diesem Beispiel wurde der Ausbau und die Anwendung der Datenbasis für das Projektieren der elektrowirtschaftlichen Anlagen geschildert.

Naslov pisca:

Mr. Elis Sutlović, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split
58000 Split, R. Boškovića bb
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-02-28.

AUTOMATIKA I KULTURA VOĐENJA ENERGETSKIH POSTROJENJA I PROCESA

Florijan Rajić, Zagreb

UDK 621.311-52:681.31
PREGLEDNI ČLANAK

U radu se obrazlažu teorijski i praktični utjecaji računala i automatike na ukupnu kulturu vođenja suvremenih energetskih postrojenja, proizvodnih operacija i procesa. Ističe se mogućnost povećanja stupnjeva djelovanja i opće svrhovitosti postrojenja pomoću optimiranja automatizacije, ali i kulture vođenja, pa i gradnje i održavanja energetskih postrojenja i procesa.

Ključne riječi: energetska postrojenja, automatika, kultura vođenja.

1. UVOD

Uobičajeni opći pogledi na tehnološke cjeline ili postrojenja za proizvodnju, distribuciju ili potrošnju materijala i energija najčešće obuhvaćaju samo pojedine dijelove postrojenja, strojeva ili uređaja. Suvremenim razvojem znanosti i njezine praktične primjene ti su pogledi znatno prošireni, razvijeni i unaprijeđeni. Rezultat toga je sustavno promatranje, ili »sustavni pristup«, u analizi i sintezi svih proizvodnih ili neproizvodnih, tehničkih ili netehničkih, svrhovitih cjelina ili sustava. Sustavi se sastoje od dva ili više osnovnih ili glavnih dijelova.

U informatici i užoj računalskoj tehnici i praksi računalo je jedan od glavnih dijelova sustava. U suvremenim energetskim prijenosnim i proizvodnim sustavima automatika je sastavni dio cjeline, koja sa čovjekom i procesom ili strojem čini proizvodni sustav. Svaki sustav mora biti svrhovita i optimalno vođena cjelina. Svrhovitost i optimalnost djelovanja postiže se visokom tehničkom kvalitetom opreme, ali i visokom općom kulturom vođenja sustava i procesa.

2. O POJMU KULTURE

Pojam kulture upotrebljava se kao opći pojam kojim se definira ukupan stupanj razvijenosti teorijskih i praktičnih, općih i posebnih znanja i sposobnosti pojedinca, uže zajednice ili društva u cjelini. Opći pojam kulture dijeli se i na njezine glavne dijelove, cjeline i discipline. Tako postoje zdravstvena, tehnička, gospodarska, ekološka, politička i druge kulture ili kulturne discipline.

Tehničari, pa tako i stručnjaci za automatizaciju, najčešće upotrebljavaju pojam tehničke kulture. Taj je pojam sam po sebi vrlo širok i obuhvatan, ali za potrebe suvremenih sustavnih znanja i sadržaja u tehničkoj znanosti i praksi ipak je uzak i nedovoljan. U užem smislu ovaj pojam predstavlja stupanj sveukupnog znanstvenog i praktičnog razvitka tehničkih dostignuća i sredstava za proizvodnju, te drugih tehničkih sredstava potrebnih za ukupan rad i život ljudi.

Nažalost, primjena, pa i svrsishodno promicanje i ovoga pojma nemaju u nas pravog i odgovarajućeg tretmana. Još je lošije stanje u shvaćanjima uloge, promicanju i praktičnoj primjeni svih oblika pojma opće kulture u tehnici i proizvodnji. To se odnosi i na pojam utjecaja kulture na koncipiranje, gradnju, vođenje i održavanje automatiziranih proizvodnih i drugih sustava i procesa.

Zbog toga je ovaj rad zamišljen ponajprije kao poticaj općenitijem potpunijem i drukčijem razmišljanju o međusobnim odnosima i utjecajima kulture i automatiziranih sustava. Njih i u najsuvremenijim izvedbama čine čovjek, automatika i stroj ili proces s njihovim postojećim posebnim i zajedničkim kulturama.

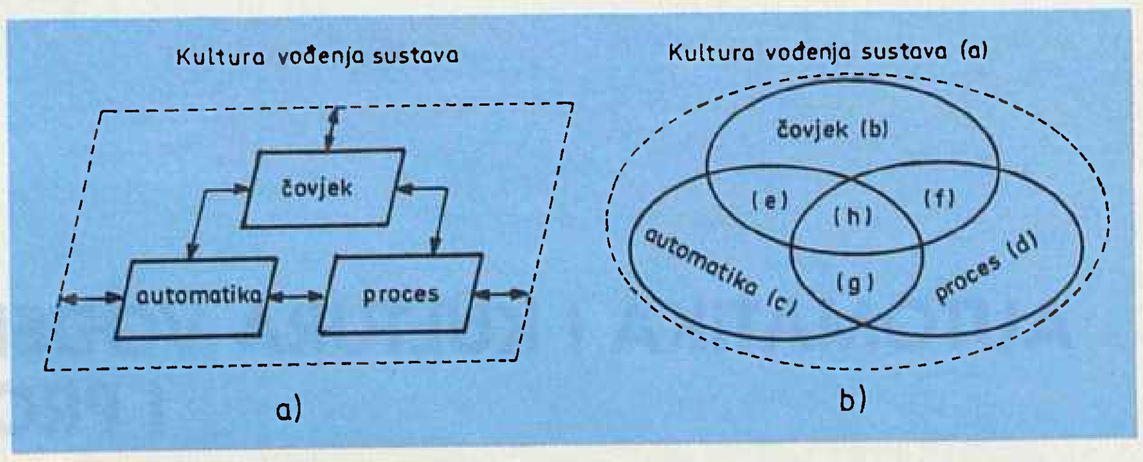
3. O POJMU KULTURE VOĐENJA PROCESA

Kod tehničara, a posebno kod stručnjaka za automatizaciju, vođenje procesa također je vrlo širok pojam. On obuhvaća sredstva i načine vođenja svih vrsta radnih postupaka, proizvodnih operacija i proizvodnih procesa. Procesi mogu biti skupine operacija, tehničkih cjelina ili strojeva, povezanih proizvodnim ili drugim svrsishodnim djelovanjima. Tako se procesima nazivaju komadna strojna proizvodnja dijelova i kontinuirana proizvodnja energije, ali i prijenos informacije, upravljanja prometom i dr.

Široki pojam vođenja suvremenih tehnoloških, a i svih ostalih vrsta automatiziranih procesa, pretpostavlja i suvremena sredstva računalske tehnike i automatike, a prije svega visoka tehnička i tehnološka znanja i vještine graditelja i voditelja. Svi nabrojeni uvjeti mogu se podvesti i pod pojam uže ili šire teh-

ničke kulture. Sa stajališta ukupne racionalnosti vođenja i postizanja optimalnih rezultata proizvodnih sustava u njihovoj okolini nije dovoljno samo uvažavanje pojma i pravila tehničke, nego i širih pravila i znanja opće kulture. Tako se pod kulturom vođenja procesa mora razumijevati i poštivanje svih relevantnih pravila zdravstvene, gospodarske, ekološke i drugih oblika opće kulture. Stoga pojam opća kultura vođenja procesa, ili skraćeno **kultura vođenja,** najbolje definira sveukupnost odnosa kultura — čovjek — automatika — proces i njihove međusobne utjecaje. Definiranjem i uvođenjem ovog pojma u teoriju i praksu automatskog vođenja ostvarit će se i široke mogućnosti razjašnjavanja i unapređivanja sveukupnih odnosa čovjeka, proizvodnog sustava i okoline. Zbog toga treba mijenjati i ustaljene načine i oblike prikazivanja proizvodnih sustava i odnosa njihovih glavnih dijelova s okolinom (slika 1).

Uobičajene tehnološke prikaze sustava (slika 1.a) čovjek-automatika-stroj ili proces treba zamijeniti njihovim logičkim prikazima (slika 1.b). Te prikaze treba simbolično povezati i s kulturom vođenja, koja



Slika 1. »Tehnološki« (a) i »logički« prikaz proizvodnih sustava (b)

se malokad izričito naznačava ili spominje, iako je njezina prisutnost i utjecaj uvijek bitna i značajna.

4. MEĐUSOBNI UTJECAJI DIJELOVA PROIZVODNIH SUSTAVA I KULTURE VOĐENJA

Sustavnim promatranjem i analizom tehnološki i logički prikazanih odnosa mogu se utvrditi i osnovne relacije utjecaja (tablica 1).

Tablica 1. Smjerovi utjecaja kulture vođenja na dijelove sustava

Kultura vođenja →		
↔	1. čovjek	a) čovjek → automatika b) čovjek → proces c) čovjek → automatika — proces d) čovjek → proces → automatika
↔	2. automatika	a) automatika → čovjek b) automatika → proces c) automatika → čovjek → proces d) automatika → proces → čovjek
↔	3. proces	a) proces → čovjek b) proces → automatika c) proces → čovjek → automatika d) proces → automatika → čovjek

Ako se u prikaz uvedu i stvarni utjecaji kulture na sve odnose glavnih »aktera«, prikaz postaje znatno zamršeniji, a međusobni odnosi u sustavu mnogobrojniji. To se još jasnije vidi na logičkom prikazu sustava, pogotovo kad se u njemu zamisli i neizbježna unutarnja dinamika. Odnosi se mogu promatrati na više načina: kao statički ili dinamički, jednosmjerni ili dvosmjerni, mijenjajući pri tome, u skladu sa zadanim uvjetima, preferirane ili glavne dijelove — kulturu, čovjeka, automatiku ili proces, i podređujući njihovim zahtjevima ukupna tehničko-tehnološka rješenja sustava. Tako će se, na primjer, u slučaju prijeko potrebnoga potpunog isključivanja i fizičkog udaljavanja čovjeka sustav potpuno automatizirati. To će rezultirati i odgovarajućim »kulturama«, projektiranja, izgradnje vođenja procesa i održavanja sustava.

Naime, sva tehnička rješenja sustava imaju i svoje stupnjeve kulture, logičku i tehničku složenost, pravila i postupke realizacije, te adekvatne cijene. Svi sustavi se mogu, teorijski i praktično, točno ili približno, opisati i objasniti, izvesti, a i voditi na više načina i na različitim znanstvenim i tehničkim razinama. Posebno, pažljivo i sveobuhvatno promatranje i upoznavanje odnosa u općem kulturnom prostoru potrebno je u svakom konkretnom primjeru gradnje i vođenja sustava.

Ovdje će se donekle promotriti samo dio tih odnosa, naznačen u tablici 1, odnosno međudjelovanje, »kultura vođenja-automatika« s naglaskom na smjer utjecaja »automatika → kultura vođenja«. Kao reprezentant i nosilac ili »akter« kulture vođenja promatrat će se prvenstveno voditelj proizvodnog sustava s njegovim postojećim, odnosno potrebnim znanjima, vještinama i navikama.

5. ČOVJEK U SUSTAVU GRAĐENJA I VOĐENJA PROCESA

Detaljnijim promatranjem i analiziranjem logičkog prikaza proizvodnog procesa mogu se utvrditi mnoge logične činjenice i zaključci. Oni se mogu izdvojiti, mogu se definirati njihove značajke i na temelju toga optimirati njihove međusobne veze i utjecaje. Značajke se mogu prikazati pojednostavnjeno i pregledno u »matričnoj« formi (tablica 2).

Energija, god. 43 (1994) 3, 137 – 142

Već je napomenuto da će se kao centralni ili glavni »akter« sustava promatrati čovjek-voditelj (»rukovalac«) postrojenja ili sustava, odnosno procesa. Međutim, pri tome se ne smije smetnuti s uma i činjenica da se pojam kulture može i mora ugraditi i u svaku etapu stvaranja, odnosno zamišljanja, projektiranja, gradnje, pogona i održavanja proizvodnih sustava i na svakog drugog pojedinačnog sudionika u tim etapama u svim zvanjima i zanimanjima.

Tablica 2. Međusobni utjecaji kulture vođenja i dijelova sustava

Kultura vođenja (a)	čovjek (b)	automat(ika) (c)	stroj (proces) (d)
čovjek (b)	čovjek je kulturan	čovjek je »automat(ika)« (e)	čovjek je »stroj (proces)« (f)
automat(ika) (c)	automat(ika) je »čovjek« (e)	automat(ika) je »kulturan« (na)	automat(ika) je stroj (proces) (g)
stroj (proces) (d)	stroj (proces) je »čovjek« (f)	stroj je automat(ika) (g)	stroj (proces) je »kulturan«

Uspoređivanjem slika 1.a i 1.b i na temelju jednostavne logike uloga i ponašanja voditelja automatike i procesa svih realnih sustava može se dokazati da vrijede sve tvrdnje iz tablice 2. To mora znati svaki graditelj i voditelj proizvodnog sustava i u njemu realno sagledati svoju radnu ulogu, odnosno odgovarajuće radne obveze i odgovornost.
Mnoge od mogućih logičkih tvrdnji ovdje nisu ni naznačene. One se mogu izvesti na temelju detaljnijeg promatranja slike 1.b.
Tako su posebno interesantna područja presjeka e, f, i g koja naznačavaju dvojne odnose čovjek – automatika, automatika – proces i čovjek – proces, sve u odnosu prema kulturi vođenja. Još je zanimljivije područje h, koje naznačava presjek funkcijskih odnosa i preklapanja »uloga« čovjeka, automatike i procesa s kulturom i njihovo svojevrsno prožimanje. Interesantne su za promatranje, na primjer, i osobine čovjeka kao »automata«. To je posebno vidljivo u području čovjekovih naučenih, uvježbanih i usvojenih vještina i navika, s kojima se često služi u vođenjima procesa. S druge strane, uočljive su i mnoge osobine proizvodnih procesa da u određenim uvjetima »samoreguliranjem« (procesi višega reda za izjednačenjem) uspostavljaju svrsishodnu unutrašnju ravnotežu i tokove.
Radi što boljeg upoznavanja cjelokupnog sustava i njegovih dijelova, i graditelji i voditelji sustava će pokazane slike i odnose promatrati ne samo statički, nego i dinamički. Statika je ovdje, općenito uzevši, više hipotetična, a dinamika stvarna. To se, dakako, mijenja od slučaja do slučaja, pa će u ovisnosti o ukupnoj važnosti i složenosti sustava, na primjer čovjek – voditelj, istovremeno, negdje više a negdje manje, biti i »automat«, odnosno i »proces« ili »stroj«. Tih se »uloga« voditelj nikada neće moći u potpunosti osloboditi; moći će samo prerasporediti svoje ukupne mentalne i fizičke snage i energiju na pojedine uloge. U svakom slučaju morat će tražiti i iznalaziti optimume i za sebe i za sustav, te racionalno trošiti vlastite i tuđe fizičke i intelektualne »resurse«.
To se mora imati na umu na svim razinama razmišljanja i stvaranja, od idejnih rješenja do gradnje i puštanja energetskih sustava i postrojenja u puni pogon. To je zadaća svih, pa i razvojnih stručnjaka i stručnjaka sa područja automatike u projektiranju, konstruiranju, gradnji i održavanju sustava. Veće napore u smislu svrsishodnog i pravovremenog, racionalnog i gospodarski učinkovitog korištenja stvarnih mogućnosti i utjecaja automatike na kulturu vođenja moraju uložiti i stručnjaci drugih struka, prije svega tehnolozi, strojari, električari, kemičari, pa i ekolozi, dizajneri i zdravstveni stručnjaci.

6. UTJECAJI RAČUNALA I AUTOMATIKE NA KULTURU VOĐENJA PROCESA

Utjecaji automatike na kulturu vođenja procesa mogu se podijeliti na dva osnovna oblika, posredan i neposredan.
Posredan oblik utjecaja djeluje ponajprije preko voditelja, mijenjajući njegovu stručnu i kulturnu razinu promišljanja i djelovanja na energetski sustav, proces i okolicu.
Neposredan oblik utjecaja na kulturu vođenja jest prije svega putem tehnike i njezine kulture. Očituje se putem primjene sredstava automatike, u sve većoj točnosti, raspoloživosti, pouzdanosti i sigurnosti djelovanja vođenih sustava.
Utjecaji suvremene automatike značajni su i na sva druga netehnička područja i kulture vođenja. Od njih se kao najvažnija ovdje mogu spomenuti, i djelo-

Tablica 3. Područja kulture i kulturni sadržaji proizvodnih sustava

Dio sustava	Područja kulture	Kulturni sadržaji
Čovjek (voditelj procesa)	— tehnička,	— opća, usmjerena (zvanja), i specijalistička (zanimanja) kultura (strojarstvo, elektrotehnika, kemija ...)
	— tehnološka,	— opća, usmjerena i specijalistička tehnološka kultura iz užeg područja ili vrste proizvodnih procesa, ...
	— zdravstvena,	— kultura proizvodnog sustava i procesa sa stajališta zdravstvene zaštite čovjeka u proizvodnji i okolini, ...
	— socijalna,	— kultura međuljudskih odnosa u proizvodnji, u odnosima sa okolinom, ...
	— ekološka,	— kultura zaštite okoline, ljudi, vode, zraka, živih bića i biljaka, ...
	— gospodarska,	— kultura racionalnog, ekonomičnog, rentabilnog i proizvodnostnog djelovanja u sustavu, ...
	—	.....

Dio sustava	Područja kulture	Kulturni sadržaji
Automat(ika)	— tehnička,	— kultura tehničkih rješenja elemenata, dijelova, sustava, sučelja čovjek-stroj, ...
	— tehnološka,	— kultura racionalnog, optimalnog i sigurnosnog automatiziranja tehnoloških operacija i procesa; tehnologičnost automatike-ergonomičnost (sa stajališta rukovanja); integralnost (sustavnost); prilagodljivost (režimi rada); pouzdanost, raspoloživost, sigurnost (zaštita čovjeka, postrojenja i procesa); modularnost (zamjene opreme i proširenja područja djelovanja); ...
	— gospodarska,	— kultura automatike sa stajališta ekonomičnosti, rentabilnosti i proizvodnosti sustava, ...
	— zdravstvena,	— ergonomičnost (sa stajališta pogonskog održavanja, ugađanja, kontrole, pregleda ...), ...
	— estetska,	— kultura dizajna elemenata, uređaja i sustava automatike, kultura simbola, boja, zvuka, ...
	—	.....
Stroj ili proces	— tehnička,	— tehnička kultura izvedbi elemenata, dijelova, strojeva, procesnih postrojenja ...
	— tehnološka,	— kultura racionalnih, optimalnih i sigurnih tokova, tehnoloških zahvata, operacija i procesa ...
	— gospodarska,	— kultura ekonomičnosti, rentabilnosti i proizvodnosti tehničkih i tehnoloških rješenja, postrojenja i procesa ...
	— zdravstvena,	— kultura fizičke i psihičke zaštite čovjeka u proizvodnom sustavu, ...
	— ekološka,	— kultura integralne zaštite okoline — vode, zraka, živih bića, biljaka, građevina ...
	— kultura građenja,	— kultura estetskog uklapanja u okolinu; oblici građevina, boje, uređenje okoliša, ...
	—	.....

mično analizirati, samo područja kulture odnosa čovjek – stroj, gospodarske, zdravstvene i ekološke kulture.

Pri svakoj takvoj analizi treba promatrati utjecaje i integriranost vidljivih i prikrivenih sadržaja i elemenata ostalih područja kulture u tehničkoj kulturi. To su, na primjer, sadržaji kulture međuljudskog komuniciranja, a što je osobito važno i svekolike tehnološke kulture sudionika u proizvodnim sustavima.

6.1. Područje kulture odnosa čovjek – proces ili stroj

Svojim neposrednim utjecajem automatika rasterećuje čovjeka od teških fizičkih poslova i radnih uvjeta, te tako utječe na, posebno značajan, zdravstveni dio kulture sudjelovanja čovjeka u proizvodnim procesima. Ujedno, automatika neposredno rasterećuje čovjeka od mnogih rutinskih, lakših ili težih fizičkih i psihičkih radnih zahvata, operacija i poslova, mnogostruko povećavajući njihovu točnost, pravovremenost i sigurnost.

Suvremena automatika također znatno ili višestruko povećava raspoloživost i pouzdanost sustava, omogućujući brze promjene procesnih tokova i proizvodnih programa, identifikaciju zastoja i njihovih uzroka, te brže uklanjanje nedostataka i kvarova u procesnim i drugim dijelovima sustava.

Automatika svojim posrednim djelovanjem bitno utječe i poboljšava stručna znanja voditelja, pomaže u optimiranju procesnih tokova, mjerenju i nadzoru glavnih i pomoćnih vođenih veličina, optimiranju sigurnosnih mjera i njihovih pojedinačnih i ukupnih djelovanja, te optimiranju cjelokupnog upravljanja i reguliranja svih relevantnih veličina i tokova procesa.

6.2. Područja gospodarske kulture

Suvremena sredstva razvoja i projektiranja automatike (računala, simulatori, modeli i dr.) omogućuju gospodarsko optimiranje svih faza stvaranja proizvodnih sustava, od idejnog rješenja do punog pogona, i u cjelokupnom radnom vijeku. Pri tome se optimiranja izvode na temeljima svih relevantnih kriterija ekonomičnosti, rentabilnosti, proizvodnosti i dr. Time se postiže i velik dio neposrednog utjecaja automatike na gospodarsku kulturu proizvodnih sustava.

Isto tako, posrednim djelovanjem, osobito tijekom vođenja pogona, automatika putem prikupljanja, obrade i korištenja podataka omogućuje velik utjecaj na kupno gospodarenje kod svih sudionika vođenja procesa.

6.3. Područje zdravstvene kulture

Automatizacijom procesa i njezinim neposrednim utjecajem na uvjete rada omogućena je ne samo potpuna fizička zaštita djelatnika, nego i visok stupanj komfora radnog prostora. U voditeljskim (komandnim) prostorima obveza je osiguranje normalnih uvjeta rada. Stupanj »višeg komfora« ograničen je obično raspoloživim investicijskim sredstvima i mogućnostima gradnje sustava i ekonomičnosti njegova pogona.

Na području neposrednog fizičkog rasterećenja i zaštite automatika je čovjeku – voditelje procesa učinila najveće dobro, preuzevši u svoj djelokrug najteže i najopasnije fizičke poslove i radne uvjete. Ona je voditelja rasteretila i mnogih rutinskih, lakših i težih psihičkih i fizičkih poslova i opterećenja. Tendencija je svođenje uloge voditelja na prijeko potrebni minimum, ili čak njegovo potpuno isključenje iz izravnog sudjelovanja u vođenju procesa.

Na dostignutoj prosječnoj i najčešćoj razini vođenja automatiziranih proizvodnih sustava, na primjer na složenim procesnim i energetskim postrojenjima, još je redovito i sudjelovanje čovjeka. Njegovi su radni uvjeti, područja potrebnih znanja, vještina i

navika danas znatno poboljšani, izmijenjeni i prošireni. Podignuti su na znatno višu razinu stručnog, ali, na žalost, ne i na razinu potrebnoga općega kulturnog znanja i ponašanja.
Sa stajališta zdravstvene kulture, izmijenjeni fizički i psihički uvjeti rada voditelja donose i neke zdravstvene opasnosti. To su prije svega opasnosti od smanjenih fizičkih, a potrebnih bitno povećanih stručnih znanja i psihičkih napora. Te opasnosti su realne, i potrebno ih je eliminirati ili svesti na prihvatljivu razinu. Kao minimum potrebnih fizičkih napora treba osigurati i dovoljno fizičkoga gibanja voditelja (prikladnim razmještajem upravljačkih prostora, stolova, ploča ekrana i dr.), »aktivnim« odmorima u toku smjene i drugim prikladnim mjerama.

Optimiranje psihičkih opterećenja teže je i složenije. U tom pogledu mora se, na primjer, racionalizirati broj i načine dojava optički i zvučno praćenih veličina, a njihovo selektiranje, rangiranje i iskazivanje optimirati prema važnosti i redoslijedu. Mora se izvesti i optimiranje automatiziranih programa puštanja u pogon, praćenja pogona, a osobito optimiranje automatiziranih programa djelovanja zaštita i zaustavljanja procesa. Psihološke i fizičke napore voditelja treba umanjiti na primjer i ergonomičnošću opreme vođenja, prikladnim konstrukcijama elemenata manipuliranja (tastature, upravljački elementi i dr.), elemenata iskazivanja (ekrani, skale pokaznih instrumenata, ispisi i dr.), te elemenata upozorenja (optički, zvučni i dr.).

Budući da je fizička i psihička prisutnost i spremnost voditelja važna i često presudna u vođenju i zaštiti procesa, tome se moraju podrediti i odgovarajući obrazovno-odgojni osnovni i periodički ispiti, obnove i provjere znanja, doškolovanja i dr.

6.4. Područja ekološke kulture

Svi oblici kultura mogu se promatrati i interdisciplinarno. To je posebno uočljivo pri promatranju veoma »mlade« kulturne discipline — ekološke kulture. Ona je, izrazito, i zdravstvena i tehnička i gospodarska, pa i politička. Na razvoj te kulture znatno utječe razvoj suvremene mikroprocesorske automatike, napose analitičke mjerne tehnike, te razvoj područja fizike i kemije.
Posredan i neposredan utjecaj ekološke kulture na ukupnu kulturu vođenja proizvodnih procesa događa se na više načina.

Neposredni utjecaji djeluju putem suvremenih mikroprocesorskih, analitičkih sustava kontrole, mjerenja i reguliranja količina otpadnih, a naročito štetnih tvari kao usputnih proizvoda procesnih sustava. To su prije svega štetni otpadni plinovi, krute tvari i kapljevine (NO_x, SO_x, CO_x . . ., radioaktivne tvari, otpadne vode i dr.). Neposredni pozitivni utjecaji ekoloških mjerenja su mnogobrojni, a među njima je, na primjer, i omogućavanje znatnog poboljšavanja stupnjeva djelovanja energetskih procesa i procesa izgaranja. Kompleksna ekološka mjerenja (ekološki monitoring) također su važan oblik zdravstvene kontrole i kontrole zagađivanja okoliša. Ona su, na primjer, i bitna osnova u sustavu zaštita proizvodnje zdrave hrane, vode za piće, održavanje čistoće zraka i dr.
Posrednim utjecajima na stručna znanja i omogućavanjem primjernog i suvremenijeg ekološkog obrazovanja voditelja procesa mikroprocesorska tehnika i automatika omogućuju i sve ostale oblike unapređivanja, zdravstvenog, gospodarskog i drugih djelovanja proizvodnih sustava.

7. KAKO UNAPRIJEDITI KULTURU VOĐENJA

Uvođenje i unapređivanje tehnike i kulture vođenja procesa ima svoje oblike, sadržaje, načine i cijenu. Cijene suvremeno automatiziranih energetskih postrojenja i procesa znatno se razlikuju i ovise ponajviše o vrsti procesa, zakonskoj regulativi, raspoloživim investicijskim sredstvima, željama i namjerama investitora, predviđenog vijeka trajanja postrojenja i mnogim drugim uvjetima. O svemu tome ovisi i stupanj buduće ukupne kulture vođenja. U tom smislu postojat će i dalje manje ili veće razlike među realiziranim proizvodnim sustavima.
I samim uvođenjem pojma kulture vođenja, njegovim definiranjem i obrazloženjima, profiliranjem adekvatnih znanja budućih stručnjaka u razvoju, projektiranju, gradnji, vođenju i održavanju procesnih sustava, omogućit će se znatna unapređivanja postojećih i budućih stanja proizvodnje energije i drugih proizvodnih i neproizvodnih djelatnosti.
Zbog sadašnje ograničenosti materijalnih sredstava u nas investiranja u kulturu vođenja treba početi na »najjeftinijem«, ali i najefikasnijem stupnju, a to je područje stručnog odgoja i obrazovanja svih budućih i sadašnjih djelatnika u gradnji i vođenju energetskih sustava. To se mora učiniti prije svega na razini stručnih škola, fakulteta, radnih organizacija, poduzeća i pogona.

LITERATURA

[1] Power Journal, »From Electromechanical Controller to the Digital Process Control System«, Vol. 1-4/93.
[2] Energie spektrum, »Nur fliegen ist shöner«, Vol. feb. 1993.
[3] W. ALERTE i dr.: »Leittechnik in Kraftwerk, KWU, Erlangen, 1983.
[4] F. RAJIĆ: »Praktična ograničenja optimalnog automatiziranja termoenergetskih postrojenja«, Energija, Zagreb, 1989.

AUTOMATION AND CONTROL CULTURE OF POWER PLANTS AND PROCESSES

This paper explains the theoretical and practical impacts of computers and automation on the entire culture of modern power control plants, generating operations and processes. It highlights the possibility of the increase in efficiency and general usefulness of plants using optimization of automation and culture of control, as well as construction and maintenance of power plants and processes.

Energija, god. 43 (1994) 3, 137 – 142

AUTOMATIK UND DIE KULTUR DER HANHABUNG VON ENERGETISCHEN ANLAGEN UND PROZESSEN

In der Arbeit werden die theoretischen und praktischen Einflüsse der Rechner und der Automtik auf die gesamte Kultur der Handhabung moderner energetischen Anlagen, Herstellungsvorgänge und Prozesse begründet. Man habt die Möglichkeit der Vergrösserung der Wirkungsgrade učnd der allgemeinen Nützlichkeit der Anlagen mit Hilfe der Optimierung der Automatisierung, aber auch der Kultur der Handhabung und des Ausbaus and der Wartung der energetischen Anlagen und Prozesse hervor.

Naslov pisca:

Mr. Florijan Rajić dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
41000 Zagreb
Avenija Vukovar 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-02-24.

NOVI VODIČI U PRIJENOSNOJ MREŽI

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.315.145:621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

U članku se iznose osnovni podaci o tzv. vrućim vodičima (Heisse Seile, Hot Conductors) i »crnim užetima« (Schwarze Seile, Black Conductors) za nadzemne vodove i postrojenja prijenosne mreže, te predlaže njihovo moguće uvođenje i u hrvatski elektroenergetski sustav.
Dan je i osvrt na aluminijem presvučenu čeličnu žicu.

Ključne riječi: vodiči, prijenosna mreža.

UVOD

Tehnološki razvoj posljednjeg desetljeća nije mimoišao ni možda najkonzervativniji dio elektroenergetskog sustava: prijenosnu mrežu. Od tzv. kemijskih sondi za *uzemljivanje* koje nastavljaju ideju bentonita (posebno interesantnih na našim visokoimpedantnim krškim terenima; prva takva »Chem-Rod« uzemljenja izvedena su prije tri-četiri godine na teritoriju Istre za uzemljivanje stupova radijskih odašiljača) do *optičkog kabela* u zaštitnom užetu namijenjenog za telekomunikaciju, mjerenja, zaštitu i daljinsko upravljanje (prvi put u Hrvatskoj postavljenom 1993. godine na dubrovačkom području na DV 110 kV Plat-Komolac). Posebno buran razvoj prolaze *izolatori*, od dizajna do materijala (a u njihovoj promociji i ispitivanjima imao je Institut za elektroprivredu nezaobilaznu ulogu). Nove su mase za izolatore u agresivnom okolišu: porculanske i staklene su, između ostalih, zamijenili *silikonski* štapni izolatori (koji će prvi put kod nas biti primijenjeni na DV 110 kV Nin-Gorica (otok Pag); već su kupljeni), oštećeni provodni i potporni izolatori se ne zamjenjuju, nego se mogu reparirati specijalnom *umjetnom monomernom keramikom* (što je već prototipski demonstrirano krpanjem 110 kV odvodnika prenapona i mjernih transformatora u »Elektroprijenosu Opatija«), u kontaminiranoj atmosferi premazuju se izolatori novim *premazima* dugotrajnoga djelovanja (fluoorouretanski »StaClean« sa silikonskim aditivom, opet prvi put u nas upotrijebljenog na »opatijskom« području, iako još uvijek eksperimentalno, za premazivanje nekih izolatora na DV 110 kV Cres-Lošinj). Sve te nove aplikacije dakako da nisu motivirane samo tehničkim osuvremenjivanjem, nego izrazitom ekonomskom probitačnošću.

Moglo bi se govoriti i o novoj filozofiji cijelog projektiranja i konstruiranja dalekovoda (*kompaktiranje*).

Usavršavanje i novi materijali ušli su i u područje vodiča prijenosne mreže i njezinih postrojenja.

Od pune žice do posebnih oblika užeta, od bakra i čelika do čistog aluminija i do njegovih različitih slitina — razvoj tehnologije vodiča ima svoju ne brzu, ali konstantnu dinamiku (koja je u kontradikciji sa relativno dugom životnom dobi mreže). O jednom takvom vodiču željeli bismo informirati ovim prikazom. Malo je proizvođača (koliko nam je zasada poznato: »Berndorf F. A. S.«; »Furukawa« — gdje su još bolji rezultati postizani sa slitinom bakra koja sadržava malo srebra; »Hitachi«), o njemu se malo nalazi u stručnoj literaturi, pa je i ovaj popularizacijski prikaz utemeljen uglavnom na »Berndorfovim« materijalima (koristimo se i njihovom terminologijom). No vrlo su slične »Hitachijeve« i »Furukawine« eksplikacije i svojstva njihovih vodiča. Za još potpuniji sadržaj ovog prikaza nedostaju nam ekonomski parametri, a posebno povratne informacije o iskustvima korisnika.

Razvoj vodiča se nastavlja, i za budućnost se sagledavaju dva puta: jedan je zamjena čelične jezgre kompozitnim vlaknima ili slitinama titanija, a drugi je homogeno uže od vodiča posebno obrađenog i pripremljenog aluminija (naglo skrutnjivanje aluminijske taline s malim dodatkom cirkonija ili titanija).

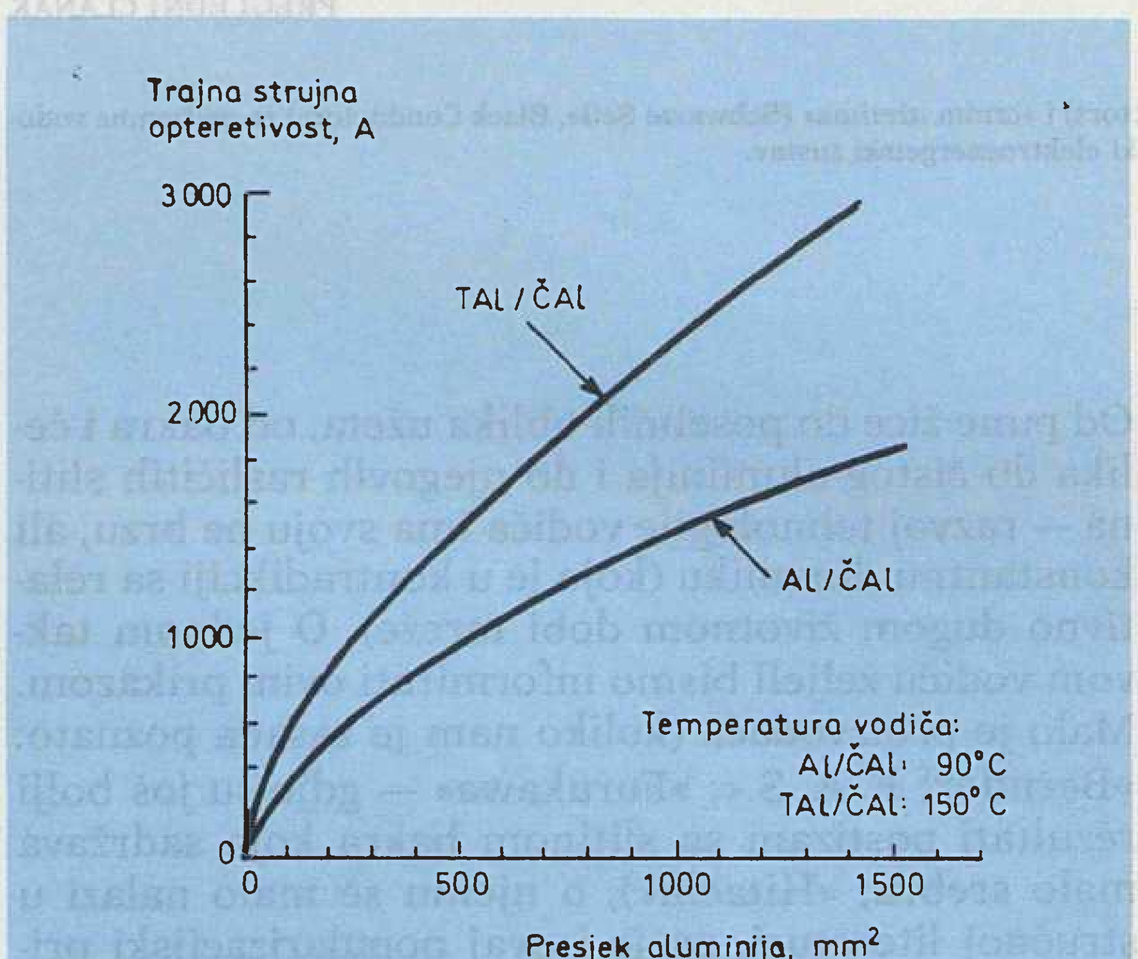
»VRUĆI VODIČI«

Problemi s trasama dalekovoda (koridori) i njihovim utjecajem na okoliš (korona, električno polje), gusto naseljena područja i potrebe sve većih prijenosa u njihovu dubinu — a ne želeći pritom dizati naponsku razinu ili povećavati presjeke vodiča ili njihov broj u snopu, odnosno nastojeći zadržati istu konstrukciju stupa — vodili su potrebi povećavanja strujne opteretivosti vodiča uz što manje promjene istezanja vodiča u slučajevima zamjene postojećih užeta.

Zbog te težnje razvijeni su nadzemni vodiči s velikim prijenosnim kapacitetom: s visokom termičkom stabilnošću. Ta nova slitina vrlo čistoga elektrotehničkog aluminija (E-Al 99,7) »onečišćenog« uglavnom

cirkonijem (da se postigne viša temperatura rekristalizacije), koja trajno pogonski podnosi temperaturu 150 °C, a kratkotrajno 180 °C (do 30 min) nazvana je »Temperature-resistant Aluminium Alloy« (skraćeno: TAl). Za brzu aproksimativnu orijentaciju može poslužiti sl. 1. (izvor: katalog »Hitachi AS Wire«).

Japanski proizvođači dodaju još prefiks U odnosno Z ili X da označe načine metalurške obrade slitine koji omogućuju još više trajne odnosno kratkotrajne (do 30 min) temperature: XTAl — trajno dopuštena temperatura 230 °C a kratkotrajno 310 °C; ZTAl — trajno 210 °C a kratkotrajno 240 °C; UTAl trajno 200 °C a kratkotrajno 230 °C.



Slika 1.

Mehanička su svojstva jednaka onima elektrotehničkog aluminija, osim nešto niže konduktivnosti (57/UTAl/ ÷ 60% /TAl/ IACS prema 61% IACS žice iz tvrdovučenog aluminija — koju zato kompenziraju aluminijem obložene čelične žice u jezgri užeta) i nešto višom otpornošću prema koroziji (prema testovima sa slanom vodom i sumpornim dioksidom).[1]

Ti vodiči poboljšanih termičkih i mehaničkih svojstava najprije su razvijeni u Japanu 1960-ih godina, a otada su široko prihvaćeni u svijetu. »Berndorf« ih prakticira u Europi od 1985. Prva im je primjena bila u austrijskom Tirolu (TIWAG, sjedište u Innsbrucku, i sigurno bi bilo korisno konzultirati njihova iskustva).

U tablici 1. uspoređene su neke nazivne veličine za elektrotehnički (tvrdovučeni) i termorezistentni aluminij.

Iz te tablice slijedi osnovna prednost novih vodiča (»standardne« izvedbe): njihova bitno viša dopuštena temperatura u svim pogonskim režimima.

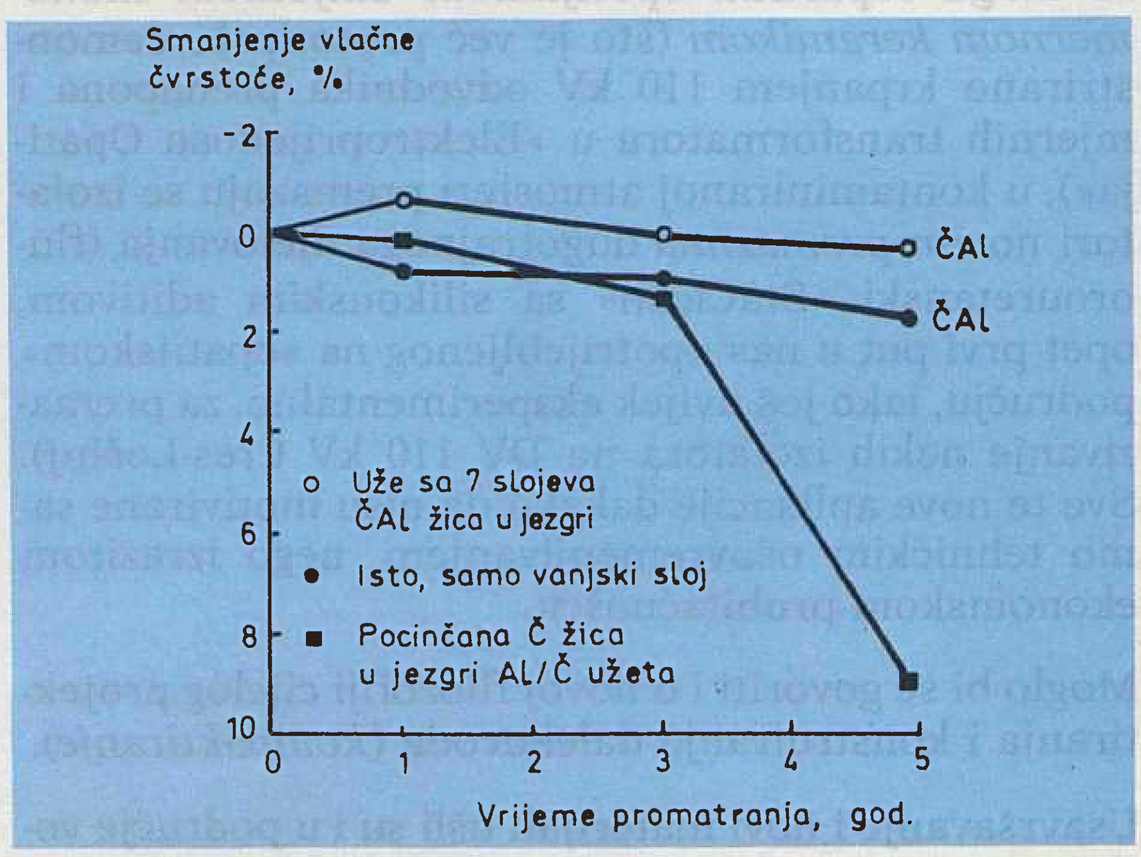
Tablica 1.

	E-Al*	TAl
Vodljivost, m/(Ω mm²)	35,38	34,80
Srednja vlačna čvstoća, daN/mm²	16 ÷ 19	16 ÷ 19
Modul elastičnosti, daN/mm²	6 000	6 000
Koeficijent linearnog istezanja, 1/ °C	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$
Maksimalna dozvoljena temperatura, °C		
— u trajnom pogonu	80	150
— kratkotrajna (do 30 min)	(80)	180
— kratkospojna	200**	260

* Prema JUS N.C1.301/1969.
** JUS-om nije definirano, pa preuzimamo prema preporuci DIN VDE 0103/IV. 1988. (tabl. 9).

ALUMINIZIRANA ČELIČNA ŽICA

Ovi novi vodiči koriste se u užetima s različitim kombinacijama nosive jezgre. Obično su te jezgre užeta od čeličnih žica obloženih ekstrudiranim aluminijem, odnosno, moglo bi se reći, bimetalnih žica. U osnovi su to varijacije poznate Alumoweld-žice (kod koje je aluminij u obliku praška posebnim postupkom nanošen na čelik), u JUS N.C1.602/1985. bila je to ČEAL-užad, no budući da je ovdje riječ o različitoj tehnologiji od one Alumoweld-žice (hladno valjanje pod pritiskom, dakle spajanje dvaju različitih metala bez zagrijavanja), razvijenoj sredinom petog desetljeća (s glavnom komparativnom prednosti da se može varirati debljina aluminijske naslage), diferencira se i naziv: zato Stalum, u engleskom govornom području ACS ili AS = Aluminium Clad Steel Wire, a mi ćemo nadalje koristiti ČAl (*s prijedlogom uvođenja u hrvatsku normizaciju*). Tim ČAl žicama može se varirati debljina aluminijskog sloja, kao i kvaliteta čelične žice (normalno: onaj za opruge). Na aluminijsku površinu standardno otpada 25 %, ali se taj postotak može varirati od 20 do 85 %, s debljinom aluminijskog sloja od 0,15 ÷ 4 mm (u »Hitachijevoj« izvedbi: 13 ÷ 85 %). U usporedbi s pocinčanim čeličnim žicama koje su u standardnim užetima s Al vodičima, ova ČAl užeta (žice) imaju bitno višu otpornost na koroziju (praktički istog stupnja kao i E-Al), sl. 2 (iz-



Slika 2.

[1] IACS = International Annealed Copper Standard. To je IEC-ova oznaka za vodljivost elektrotehničkog standardnog bakra u žarenom (mekom) stanju: 100% IACS odgovara vodljivost 58,0 m/Ω mm², odnosno specifičan otpor 17,241 nΩm.

Energija, god. 43 (1994) 3, 143 – 149

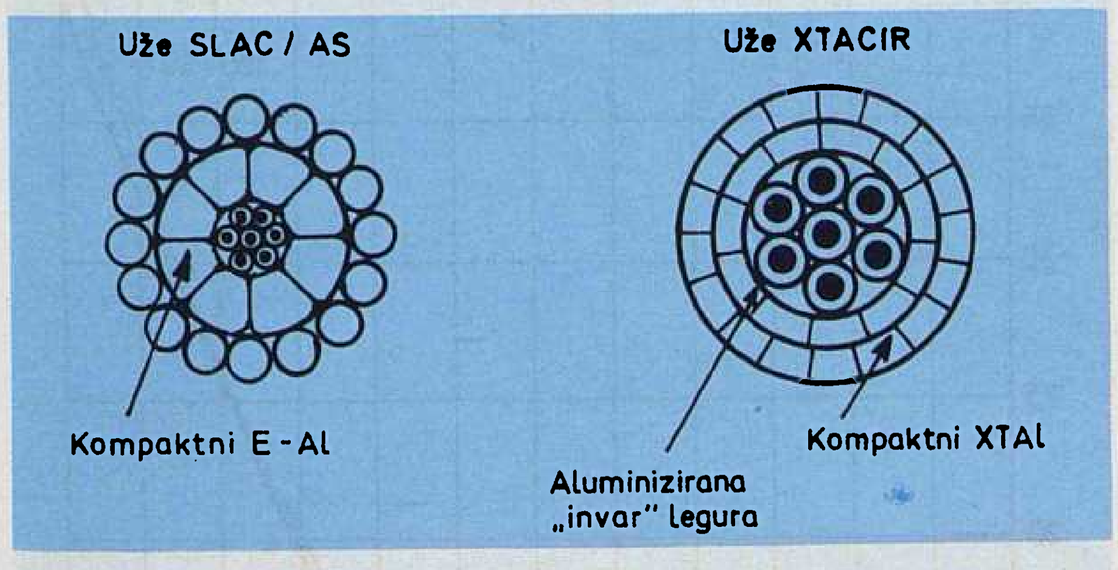
vor: katalog »Hitachi as Wire«), zatim otpada podmazivanje (sa svim neugodnostima pri višim temperaturama: saponifikacija), a zbog visokog udjela aluminija u ukupnom presjeku ČAl žice smanjuje se i radni otpor cijelog TAl/ČAl užeta (a time i gubici, što može biti posebno važno pri većim prijenosima): standardna ČAl žica ima IASC 20 %. ČAl utječe i na smanjenje reaktancije užeta (i do 10 % u usporedbi sa Č). Imaju i duži vijek trajanja, veća im je prekidna i vlačna čvrstoća, pa je dovoljan i manji presjek. Manja im je i težina nego standardnih pocinčanih čeličnih žica: sa svim posljedicama na konstrukciju i raspored stupova. Imaju veću specifičnu toplinu, pa se mogu više teretiti: više struje kratkog spoja, ($C_{Če}$ = 0,544 J/(kg K), $C_{ČAl}$ = 0,607 J/(kg K).

Vezna čvrstoća između čelične jezgre i aluminijskog sloja zadovoljava sve testove: pri vlačnim, tlačnim, torzijskim naprezanjima ili savijanju ne odvaja se aluminij od čelika.

Jedna analiza pokazuje da je ušteda zbog smanjenih gubitaka 2,46 DEM/kg ako se umjesto užeta 240/40 Al/Č upotrijebi ono Al/ČAl istog presjeka, a 5,34 DEM/kg ako se upotrijebi 260/23 Al/ČAl (za radni vijek 35 godina i 2 650 sati pogona godišnje).

Moguće su različite kombinacije žica, te mehaničke i električne optimizacije užeta: s TAl žicama jednako kao i s onima Al. No upravo da se izbjegne degradacija zamašćenja pri višim temperaturama, upotrebljava se s TAl žicama generalno ČAl.

Dopunimo da je »Hitachi« već razvio **nova užeta smanjenih gubitaka** SLAC/AS (»Small Loss ACSR/AS«; ACSR = Aluminium Conductor Steel Reinforced, dakle naš Al/Č, AS = Aluminium-clad Steel Wire) — s oko 11 ÷ 13 % nižom rezistentnošću nego uobičajeno Al/Č uže, uz gotovo jednaku težinu, promjer te mehanička i vlačna svojstva (pa njihova primjena ne zahtijeva promjenu stupova niti posebnu opremu za montažu), sl. 3.



Slika 3.

Uz sliku 2. sa žaljenjem napominjemo da bismo upravo mi trebali imati, a nemamo, ovakve dijagnostičke snimke iz prakse s obzirom na kilometražu prijenosnih i distributivnih vodova u litoralnom pojasu: da pratimo stanje barem jednog eksponiranog voda, npr. onog na danas najpoznatijem pravcu (»otočka veza«): Novalja – Pag, koji je već desetak godina u pogonu. Postoje »Pravilnici o održavanju elektroenergetskih postrojenja i instalacija« (zagrebačkog »Elektroprijenosa« iz 1982 i ondašnje ZJE iz 1987) u kojima je propisano »uzimanje uzoraka vodiča i zaštitnih užadi radi ispitivanja kvalitete«, no (zasada?) se to ne prakticira. Istina, takve su probe predviđene svakih petnaest godina, ali prva nije učinjena, a i cijelu bi intenciju trebalo selektivno tretirati.

U tablici 2. dana je usporedba karakterističnih veličina novih užeta i onih tipiziranih u distributivnoj i prijenosnoj 110 kV mreži Hrvatske elektroprivrede.

Tablica 2.

Nazivni presjek	120/20		240/40	
	TAl/ČAl	Al/Č	TAl/ČAl	Al/Č
Ukupna masa, kg/km	463	491	925	987
Računska sila kidanja, daN	4593	4451	8916	8646
Otpor, pri istosmjernoj struji, Ω/km				
– pri 20 °C	0,2265	0,2374	0,1134	0,1188
Dopuštena struja, A	645	410	1015	645

U tablici 2. korišten je za Al/Č užeta JUS N.C1.351/1985, osim za dopuštene struje za koje je korišten DIN 48204/IV. 1984. Za dopuštene struje treba reći da njemački propis definira temperaturu okoliša sa 35 °C, sunce uz vjetar 0,6 m/s, a u našima je temperatura okoliša određena sa 40 °C (bez komentara o ostalim parametrima) — to bi vodilo na smanjenje dopuštene struje u navedenoj tablici u našim uvjetima za oko 6 %.

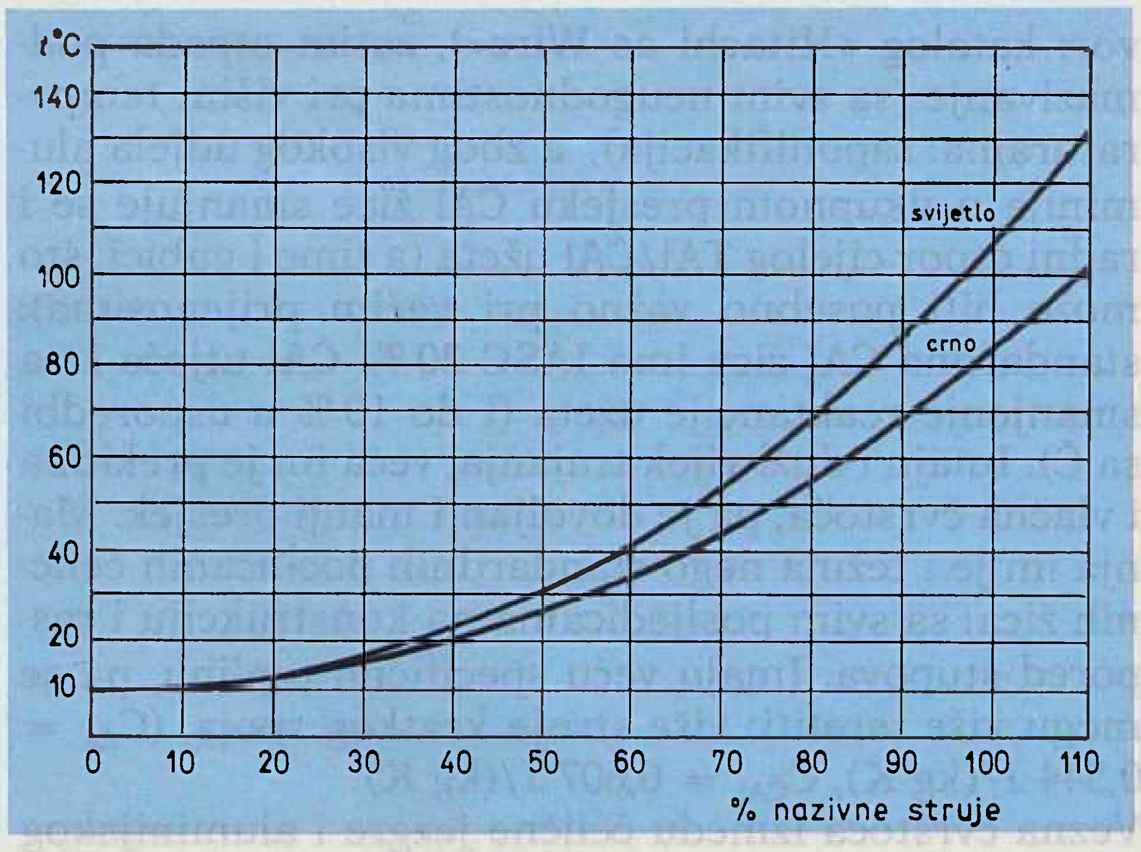
Problemi koji bi mogli nastati s većim provjesom pri zamjeni Al/Č užeta onima TAl/ČAl, posljedicom više dopuštene temperature vodiča, moguće je rješavati adaptacijama stupa ili većim zatezanjem užeta (ako to stup dopušta).

Pitanje *provjesa* ilustrirat ćemo na primjeru tipiziranog vodiča 240/40 Al/Č. Promatra se raspon 250 m i uže s maksimalnim (početnim) radnim naprezanjem σ_o = 8,00 daN/mm². Za Al/Č vodič temperature 80 °C (645 A, uvjeti DIN-a pa vrijedi sve ono rečeno uz tablicu 2) maksimalni je provjes 7,98 m; za isti presjek i temperaturu je provjes TAl/ČAl 7,87 m, a za njegovu maksimalnu temperaturu 150 °C (1015 A, uvjeti DIN-a) maksimalni je provjes 9,64 m. Dakle, ako se promatraju maksimalne dopuštene temperature (struje) Al/Č i TAl/ČAl užeta razlika provjesa jest 1,66 m. Ako se, međutim, uže TAl/ČAl ne opterećuje maksimalnom strujom, nego npr. s približno 80 % (841 A), što uzrokuje temperaturu 110 °C, maksimalni mu je provjes 8,67 m; dakle, za porast struje 30,4 % prema onoj maksimalnoj Al/Č užeta, provjes se povećao za 0,69 m[1].

Dodajmo usput da su 1980-ih zbog što manjih istezanja — koja prate povećavanje maksimalne trajno dopuštene pogonske temperature vodiča (dakle XTAl i ZTAl) — razvijene u Japanu posebne tzv. **invar žice za jezgre užeta** (invar je kratica za »invariable to change of temperature«): Fe-36 % Ni, s dodatkom molibdena i odgovarajućim termičkim tretmanom (zbog pove-

[1] Prema proračunima koje su nam ljubazno stavili na raspolaganje g. H. Egger i F. Lechner iz »Berndorfa«.

ćavanja vlačne čvrstoće) — bilo galvanizirane (pocinčane), bilo obložene aluminijem. S invar-jezgrom se ekstra (XTAl) i ultra (ZTAl) termorezistentna užeta vrlo malo istežu. Npr., provjes XTAl i ZTAl jednak je onom Al/Č istog presjeka iako se mogu dvostruko više strujno opteretiti. Dakle, bitno je povećan prijenosni kapacitet, a postignuto je malo istezanje (praktički isti provjesi), što omogućuje jednostavne zamjene postojećih užeta bez intervencija na stupovima i to uobičajenim metodama. Danas su takve kombinacije užeta (termorezistentnog aluminija i aluminizirane invar-žice u jezgri: XTACIR i ZTACIR) vrlo raširene u Japanu. [1]. Sl. 3 (izvor: »Hitachi AS Wire«).



Slika 4.

»CRNI VODIČI«

Zatamnjivanje površine bilo je dalje poboljšavanje termičkih svojstava »vrućih vodiča«.

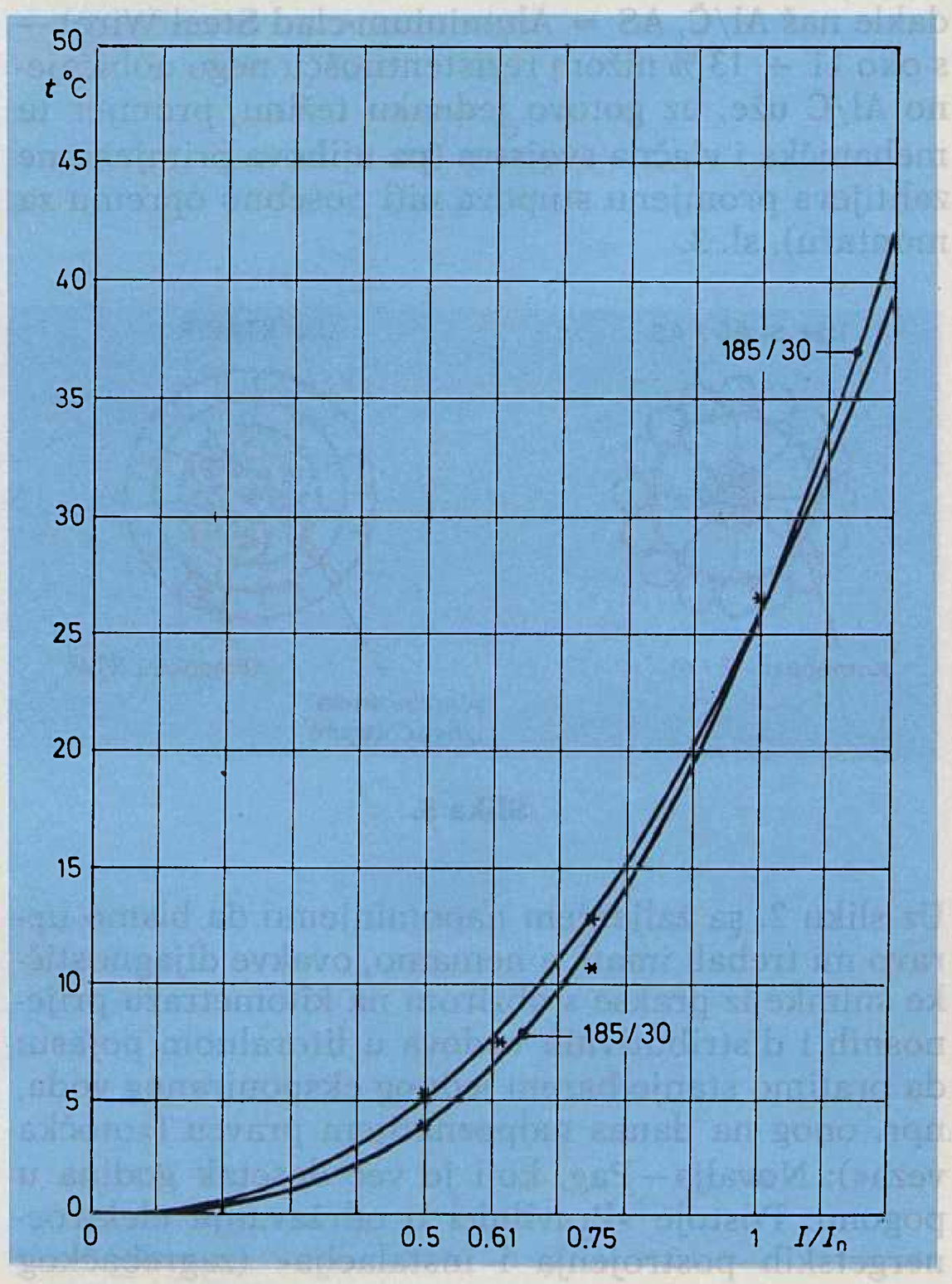
Empirijskim provjeravanjem rezultata A. Websa [2] na ispitnom poligonu i primjene njegovih razmišljanja i na užeta TAl/ČAl, tj. na temperature vodiča više od 80 °C, kao i utjecaja meteoroloških uvjeta i strujnog opterećenja nadzemnog voda — za modeliranje što realnijih stanja su ispitni uzroci užeta dijelom pocrnjeni, a dijelom ostavljeni svijetli. Ispitivana su TAl/ČAl užeta 435/55 i 185/30. Ispitivanjima tijekom godine dana (1987/88) i snimanjem mjernih vrijednosti svakih 5 min pokazalo se da dopuštene vrijednosti struja u DIN 48204 vrijede samo onda ako su ispunjeni svi granični (referentni) uvjeti, npr. emisijski omjer približno jednak apsorpcijskom $\in \approx \alpha = 0{,}55$, sniženje za približno 30% u područjima bez vjetra. Vrijedi spomenuti da se normativna brzina vjetra od 0,6 m/s nije registrirala ni u duljim vremenskim intervalima, a potvrdila se i važnost utjecaja smjera vjetra. Jasno se pokazalo da se dopuštene temperature mogu prekoračiti ako nisu ispunjeni uvjeti okoline, jednako za Al kao i za TAl.

Logičan rezultat tih testova bio je da bi trebalo pocrniti užad za koju se očekuje da će biti opterećena višim strujama sve do onih nazivnih (definiranih uvjetima okoline) i postigne emisijski omjer $\in = 0{,}9 \div 1$. Posebno to vrijedi za ovu novu termorezistentnu užad koja se može opteretiti višom strujom i dopušta više temperature — je isijana energija (toplina) proporcionalna emisijskom omjeru i četvrtoj potenciji apsolutne temperature (Stefan-Boltzmannov zakon). Sl. 4 (izvor: katalog »Berndorf«: za uže 435/55 TAl/Stalum).

Vrijedi i obrat: kod zadanih struja pocrnjivanje površine vodi snižavanju temperature vodiča i time snižavanju električnog otpora te smanjenju gubitaka prijenosa. Sve to vrijedi i za Al/Č užeta (i davno je predlagano), iako je manje izraženo zbog niže dopuštene temperature vodiča.

Ukratko: za iste struje pocrnjena užad se manje zagrijava od one svijetle (čiste). Što je veće strujno opterećenje, to je ta razlika značajnija. Za iste struje manji je provjes.

Složeni zahtjevi koji se postavljaju na materijal pocrnjivanja (postojanost, mogućnosti tankog nanošenja i odgovarajućih užetu sukladnih mehaničkih svojstava premaza) riješeni su primjenom višekomponentnog poliuretana. Prema posebnim zahtjevima može se taj sloj *posebno tonirati,* pa tako postoje zbog uvjeta okoline »zeleni vodiči« (primjenjuju se generalno u Švicarskoj, a počinju se primjenjivati i u Austriji na potezu Salzburg — Tirol).
Jednako se tako može tonirati i ČAl uže.
Slično kao prije (i prema istom izvoru), prikazujemo usporedbu rezultata proračuna *provjesa* za uže presjeka 150/25 mm², koji nam je neposredno interesan-



Slika 5.

Energija, god. 43 (1994) 3, 143 – 149

tniji. Za promatrani raspon 300 m i σ_o = 9,5 daN/-/mm² maksimalni je provjes pri temperaturi vodiča 80 °C (maksimalna trajno dozvoljena struja prema uvjetima DIN-a: 470 A) za uže Al/Č 10,69 m. Za »crno« uže BTAl/ČAl istih presjeka provjes je pri 80 °C 10,55 m (494 A), a pri 150 °C 12,50 m (790 A). Prema tome, ako se promatraju maksimalna trajno dopuštena strujna opterećenja užeta Al/Č i BTAl/-/ČAl razlika je provjesa 1,81 m; za oko 80 % iskorištenja prijenosne moći BTAl/ČAl užeta (643 A; 110 °C), tj. za porast struje 36,8 % ta je razlika 0,73 m.

PONEŠTO O CIJENI

Jednoznačno određene i usporedive cijene teško je utvrditi. Približna je informacija da je cijena »crnih« užeta s ČAl jezgrom 6,5 ÷ 7,5 DEM/kg (i na to treba dodati oko 15 %, na ime carine i evidencije te paušalnih pristojbi), dok da su Al/Č užeta otprilike upola jeftinija.

Možda je bolje u inicijalnoj fazi orijentirati se kvalitativno. Sinteza jedne široke ankete (37 država) daje sljedeće udjele na vodovima do 150 kV (koji nas, zasad, ponajviše zanimaju):

%

	Jednosistemski			Dvosistemski			Prosjek		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Vodiči	20,2	11,4	31,6	20,3	11,2	31,5	20,3	11,3	31,6
Zašt. užeta	2,4	1,7	4,1	2,2	1,9	4,1	2,3	1,8	4,1
Izolatori	5,2	3,5	8,7	5,0	3,9	8,9	5,1	3,7	8,8
Stupovi	23,4	12,7	36,1	23,6	12,5	36,1	23,5	12,6	36,0
Temelji	13,0	6,5	19,5	13,3	6,1	19,4	13,2	6,3	19,5
Ukupno	64,2	35,8	100,0	64,4	35,6	100,0	64,3	35,7	100,0

1 . . . troškovi materijala,
2 . . . troškovi izgradnje,
3 . . . ukupno.

Iz ovog statističkog pregleda slijedi da u troškovima izgradnje i materijala vodova do 150 kV, a slično je i kod onih najviših napona, sudjeluje meterijal s oko jedne petine (22 %) [3]. To znači da (eventualno) skuplja užad neće znatnije povećati troškove novog dalekovoda. U supstituciji postojećih užeta trošak je, dakako, razmjerno veći.

ZAKLJUČAK

Novi tehnološki razvoj omogućuje uporabu vodiča nadzemnih vodova znatno poboljšanih svojstava prema onima standardnih i u praksi najčešćih. To je prije svega posljedica boljih termičkih karakteristika koje dopuštaju višu trajno dopuštenu temperaturu vodiča, što u konačnici omogućuje veću strujnu opteretivost.

Prikazano je jedno takvo uže po primjeru jednoga renomiranog proizvođača koji dopušta temperaturu vodiča 150 °C, iako se već proizvodi i užad za trajnu temperaturu 230 °C.

Povećanje strujne opteretivosti »crnih« vrućih vodiča ($\in$ = 0,93), označavanih sa BTAl, prema onima »svijetlim« prirodno oksidiranim i malo zaprljanima, označavanih sa TAl ($\in$ = 0,55), jest oko 7,5 % za maksimalnu trajno dopuštenu temperaturu 150 °C. Računske usporedbe i dozvoljene struje za uže presjeka 150/25 mm² dane su u slijedećoj tablici 3; razlike počinju od oko 80 °C:

Tablica 3.

Temp. vodiča, °C:	60	80	90	100	110	120	130	140	150
Al/Č	343	470							
TAl/ČAl	348	477	527	570	610	645	677	708	735
povećanje, %	1,5	1,6	12,1	21,3	29,8	37,7	44,0	50,6	56,4
BTAl/ČAl	350	494	550	600	643	684	722	757	790
povećanje, %	2,0	5,1	17,0	21,3	36,8	45,5	53,6	61,1	68,1

Proračuni su provedeni na temelju pretpostavljene temperature okoline 35 °C, insolacije 895 W/m², brzine vjetra 0,6 m/s i kuta dalekovoda 135 °.
Insolacija i emisijski koeficijent pretpostavljeni su na temelju Websovih proračuna ([2], sl. 2 i tablica 2), no *sve bi te veličine trebalo verificirati za naše podneblje,* za naše buduće propise, pa čak i njegove markantne klimatske zone (kontinent, obala).
»Crni vodiči« imaju veće strujno opterećenje nego »svijetli« na pogonskim temperaturama višim od 60 °C, pa premda im je veća apsorbcija Sunčeva zračenja veće je i isijavanje i neće se dostići maksimalno dopuštena temperatura 150 °C.

Uvođenje »vrućih« vodiča ima značenje ekonomske i tehničke prednosti:

— osiguravanje kriterija (n-1) kod viših strujnih opterećenja zbog povećanja margina do termičke granice
— povećavanje prijenosne moći u trajnom pogonu
— otklanjanje uskih grla u prijenosnoj mreži
— odgađanje nove izgradnje, sa svim ekonomskim beneficijama koje iz toga proizlaze
— u planiranju i izgradnji u uvjetima neizvjesnosti ulaznih energetskih podataka termorezistentna užad pruža veću sigurnost.

Uz navedeno, za »crna« užeta još su ove dodatne prednosti: mogućnost opterećivanja maksimalno dopuštenom strujom u svim meteorološkim uvjetima, smanjivanje prijenosnih gubitaka, te smanjivanje potrebe pregradnje stupova (odnosno ugradnje međuetaža).

U korektnom planiranju treba za ovakve visokoopterećene pravce **osigurati odgovarajuću redundanciju,** prema kriteriju neraspoloživosti/ispada jedne grane mreže (n-1), no u interventnim zahvatima **mogla bi se uska grla prijenosa otklanjati primjenom termorezistentnih vodiča**. To bi omogućavalo zadržavanje postojećih trasa i stupova (s eventualnim, rješivim, modifikacijama), pa i postojeće spojene i ovjesne opreme (zbog malog prijenosa topline).
U slučaju nagle promjene uvjeta prijenosa trebalo bi napraviti računicu isplativosti: novi vod ili reanimacija postojećeg uz ponderiranje vremenskog faktora.

Implementacija TAl užeta treba biti »ciljana«: s jasnom predodžbom o namjeni i motiviranosti, uz **pomno ispitivanje** svih elemenata prijenosnog postrojenja od slučaja do slučaja, i to protegnuto na cijelu životnu dob.
Posebno pri supstitucijama Al užeta s onima TAl, a to će očito biti prva njihova primjena u našoj praksi, treba biti maksimalno pažljiv i **odlučivati nakon detaljne tehničko-ekonomske analize:** od energetske valorizacije do konstrukcijskih aspekata, s posljedicama na troškove — tj. **pitanja presjeka vodiča, izbora svijetlog ili »crnog« (s obzirom na značajnu razliku cijene: oko 30 %, jezgre i dispozicije žica).**
Ovo je promišljanje motivirano upravo našom aktualnom situacijom prijenosne mreže, u kojoj su nam uska grla neke kritične dionice izvedene s Al/Č užetima presjeka 150 mm². Opteretivnost je takvog presjeka TAl užeta oko 700 A (temperatura vodiča 150 °C, temperatura okoline 40 °C) prema 440 A postojećeg užeta (vodič 80 °C, okolina 40 °C); s »Furukawinim« ZTA1 užetom povećava se na 880 A (vodič 210 °C, okolina 40 °C).

Treba naglasiti da se **takvom supstitucijom rješava (povećava) samo propusnost voda, a ne njegova sigurnost** (iako se, striktno govoreći, zbog kvalitete vodiča ipak nešto smanjuje mogućnost kvara).

Navest ćemo *dva takva primjera* iz postojećeg »ratnog« stanja mreže. Očekivani prijenosi na tim dionicama dopuštali bi razmišljanje i o manjim presjecima TAl užeta (120 mm²) kada bi to omogućavalo povećanje provjesa. Za isti presjek 150 mm² mogla bi se prihvatiti povećanja provjesa koja bi nastala kao posljedica očekivanih većih struja (više temperature), ali daleko od graničnih.

Jedan je na području južne Hrvatske: vodiči DV 110 kV Komolac-Ston svojim presjekom i oštećenošću ne dopuštaju prijenos pune snage jednog agregata HE »Dubrovnik« (umanjene za potrošnju Komolca) koji je na taj vod radijalno priključen. Takvo stanje može potrajati, i umjesno je razmišljati o zamjeni vodiča na istoj trasi i stupovima. *Drugi primjer je slavonski*, gdje također jedna ratom iznuđena improvizacija u mreži ugrožava napajanje osječkoga širega gradskog područja: istočne Slavonije i Baranje.

U oba slučaja nije vjerojatno iskorištenje vodiča do termičke snage, tako da za očekivane prijenose ima dovoljno jalove snage za podršku napona (u južnom primjeru: HE »Dubrovnik« — cos ϑ = 0,90; u sjevernom: mreža 220 kV kroz TS 220/110 kV).

Zbog istog razloga (očekivanoga strujnog opterećenja) *vjerojatno bi bilo dovoljno koristiti svijetle, a ne crne* »vruće vodiče« (pitanje jezgre ostavljamo zasada po strani), no to je odluka, po detaljno snimljenom postojećem stanju, daljnje cost-benefit analize. Čini nam se, barem za dubrovački primjer (prosječni raspon nešto preko 300 m, ali sa dosta raspona preko 400 m (najveći: 550 m), da bi zadovoljavala i zamjena postojećeg užeta onim »vrućim« (svijetlim ili »crnim« — ovisno o rezultatima analize) presjeka 120 mm² (s jezgrom 70 ČAl: 720 A, a za 20 ČAl: 645 A; DIN uvjeti okoline).

Jer, ponovimo, **za oko 30 % razlike u cijeni** između »svijetlog« TAl ($\in$ = 0,55) i »crnog« BTAl vodiča ($\in$ = 0,93) **razlika je samo oko 8 % strujnog opterećenja** pri maksimalnoj trajno dozvoljenoj temperaturi vodiča: za 150/25 mm² ta je razlika 735 A (svijetli) prema 790 A (crni), a za 240/40 mm² 1015 A prema 1095 A! Navedimo i za presjeke 120/20 mm²: 645 A vs. 690 A, a 120/70: 720 A vs. 775 A.
Posebno široku primjenu u nas mogla bi naći ČAl, pa i TAl, užeta u **distributivnoj mreži.**
Za šire uvođenje visokoopteretivih vodova treba u planiranju lege artis predvidjeti odgovarajuću **kompenzaciju** zbog osiguravanja potrebne podrške većih prijenosa jalovom snagom. Jednako je potrebna **koordinirana logika** jakih struja na cijelom potezu: stupova, krajnjih postrojenja, opreme polja (na što će trebati misliti i u prije predloženim interventnim supstitucijama). Iako u samoj investiciji užad sudjeluje s malim postotkom, ipak treba provesti **temeljitu ekonomsku računicu protegnutu na cijeli životni vijek** takvog voda i utvrditi njegovu ekonomsku strujnu gustoću.
Treba, naime, podsjetiti da otpor (gubici) raste sa tempeaturom; tako je za TAl/ČAl 150/25: R (20 °C) = 0,185 Ω/km, R (100 °C) = 0,239 Ω/km, R (150 °C) = 0,275 Ω/km.
I za ČAl užeta može se razmišljati o korištenju za **supstituciju postojećih čeličnih zaštitnih užeta:** zadržale bi se iste mehaničke karakteristike (isti stup), a bitno poboljšale električke. Jednako tako **i pri projektiranju novih dalekovoda za jezgre faznih užeta, posebno u priobalju** (koliko nam je poznato, do sada je aluminizirana čelična žica u bivšoj jugoslavenskoj mreži ugrađena samo u jezgrama užeta vodiča na 380 kV vodu Divača – Redipuglia, i to Alumoweld: 3 × 3 × 475/25 Al/Aw; [4]).

LITERATURA

Osnovna literatura za ovaj prikaz su materijali »Berndorfa F.A.S.« — korespondencija 1991, za koje zahvaljujem g. Peter Fiers-u — te katalozi »Furukawe« i »Hitachija«.

[1] H. SHIGA, K. SATOH, S. MOMOMOTO, K. SANBONSUGI: »Low-Sag High-Current Invar-Reinforced Aluminium-Conductors«, »Hitachi Cable Review«, br. 11, August 1992, str. 41 – 46.

[2] Alfred WEBS: »Dauerstrombelastbarkeit von nach DIN 48201 gefertigten Freiluftleitungsseilen aus Kupfer, Aluminium und Aldrey«, »Elektrizitätswirtschaft«, H. 23, 5. XII. 1963, str. 861 – 872.

Generalno za termičko ponašanje vodiča nadzemnih vodova pogledati i »Electra«, Paris, br. 144, listopad 1992, str. 107 – 115.

[3] Parametric Studies of Overhead Transmission Costs; »Electra«, Paris, srpanj 1991, str. 31 – 67; i

International Survey of Component Costs of Overhead Transmission Lines; »Electra«, Paris, br. 137, kolovoz 1991, str. 61 – 79.

Pogledati i

N. VUČINIĆ: »The Influence of Certain Transmission Line Parameters on the Cost of Construction«, Trans-

mission Line Open Conference, sastanak CIGRÉ SC 22, XIX. savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Bled, 8 – 13. V. 1989, str. 9 – 18, te

N. VUČINIĆ: »Relativna cijena dalekovoda«, »Stručna konzultacija o razvoju u oblasti prijenosa Jees 1991 – 2000. godina«; ZJE + JuKo CIGRÉ + EI »Nikola Tesla«, Beograd + IE, Zagreb + EI »Milan Vidmar«, Ljubljana; Novi Sad, 25 – 26. X. 1990.

[4] F. NAMAC, L. LETONJA: »Izbor elemenata za dalekovod 400 kV Divača – Redipuglia,« XIV, savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Sarajevo, svibanj 1979, R. 22 – 04,

a pogledati i:

»Osnovna 400 kV mreža. Završena i druga faza«; »Elektroprenos«, Beograd, br. 141, studeni 1981.

P. S.

Prigodom korekture ovog prikaza možemo sa zadovoljstvom izvjestiti da je u međuvremenu, od prvih izlaganja ove problematike, došlo i do implementacije »vrućih vodiča« u prijenosnu mrežu HEP-a: 6. svibnja započela je zamjena postojećih vodiča na DV Komolac — Ston onim »crnim«, a tokom ljeta bit će završena i na »našičkom« vodu.

NEW CONDUCTORS IN THE TRANSMISSION NETWORK

In the paper basic data on the so called »hot« and »black« conductors for overhead conductors and transmission network substations are given, as well as their introduction in the Croatian electric power system. A review on steel wire clad with an aluminium layer is also given.

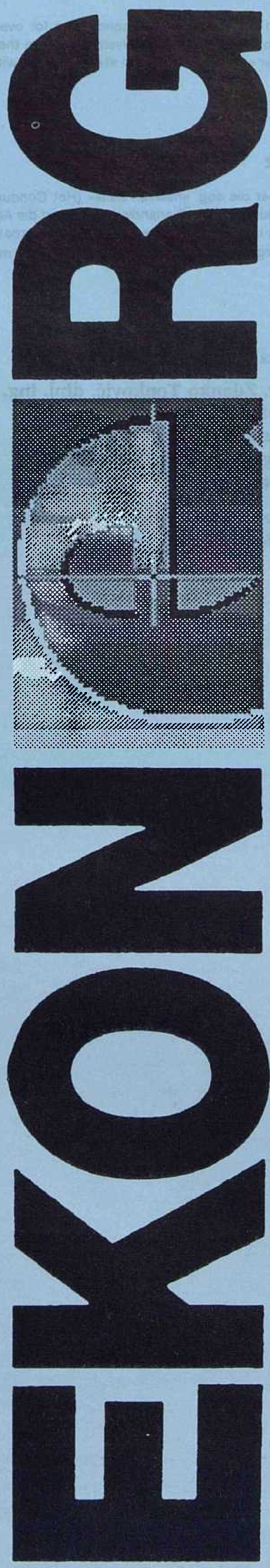
NEUE LEITER IM ÜBERTRAGUNGSNETZ

Im Artikel werden die Grundangaben über die sog. »heissen Seile« (Hot Conductors) und »schwarzen Seile« (Black Conductors) für Überlandleitungen und die Anlagen des Übertragungsnetzes dargelegt und ihre mögliche Anwendung im kroatischen elektrowirtschaftlichen System vorgeschlagen. Man bespricht auch den mit Aluminium überzogenen Stahldraht.

Naslov pisca:

Mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d.
Zagreb, Avenija Vukovar 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-03-12.



INSTITUT
ZA ENERGETIKU
I
ZAŠTITU
OKOLIŠA

NEKA RJEŠENJA POJEDNOSTAVNJENIH TS 110/10(20) kV

Dr. Srđan Žutobradić — Velimir Ravlić — Željko Radošević, Zagreb

UDK 621.311.42
PREGLEDNI ČLANAK

U članku su izložena neka pojednostavnjena rješenja TS 110/10(20) kV. Opisane su najvažnije komponente pojednostavnjene jednotransformatorske stanice. Također je dan osvrt na postojeću srednjonaponsku mrežu u Hrvatskoj i gospodarsku opravdanost primjene izloženih rješenja.

Ključne riječi: srednjonaponska mreža Hrvatske, jednotransformatorske stanice, pojednostavnjena rješenja.

1. UVOD

Lokacija TS 110/X kV u mreži, njezina namjena, kao i jednopolna shema određuju se kompleksno s obzirom na razvoj elektroenergetskog sustava i način napajanja dotičnog područja električnom energijom.
TS 110/X kV značajni su energetski objekti čija izgradnja traje relativno dugo i zahtijeva velika financijska sredstva. Zato treba nastojati da TS budu što bolje koncipirane, a sama izgradnja što racionalnija. To se postiže tipizacijom stanica u pogledu jednopolnih shema, opreme, pomoćnih uređaja i načina izgradnje. Prednosti tipizacije posebno su izražene kad u kratkom roku treba izgraditi više postrojenja.
Sigurno je da koncepcija razvoja srednjonaponske mreže uvelike utječe na odabir optimalnih rješenja pri izgradnji TS 110/X kV. U [7] predložene su zajedničke smjernice za razvoj srednjonaponske distribucije mreže u Hrvatskoj do 2010. god. Osnovni pristup u navedenoj studiji temeljen je na postupnom uvođenju direktne transformacije (110/10(20) kV) i naponskog nivoa 20 kV. Dakako, napon 35 kV trebao bi postupno odumrijeti. Uvjet za racionalnu, dakle tehnoekonomski opravdanu provedbu izložene koncepcije jest usvajanje više fleksibilnih rješenja za izgradnju TS 110/X kV, a u manjoj mjeri i za izgradnju TS 35/10(20) kV.
Kao što je poznato, u Hrvatskoj elektroprivredi je definirana tipska TS 110/X kV s jednostrukim sekcioniranim sabirnicama za maksimalno 4 vodna polja na 110 kV strani. Većinom se koriste dva vodna polja 110 kV, tako da se može govoriti o »H« shemi. Takav pristup koji omogućuje dvostrano napajanje transformatorske stanice najracionalnije je rješenje koje se primjenjuje u svijetu i u nas. No u pojedinim primjerima, posebno kada se želi zamijeniti transformacija 35/10 kV, direktnom transformacijom, navedena tipska TS 110/X kV nije najracionalnije rješenje. U izvangradskim uvjetima, s niskom gustoćom opterećenja, postoji potreba za uvođenjem jednostavnijih, a to znači i jeftinijih TS 110/10(20) kV. Potrebno je razmotriti barem dvije mogućnosti:

a) izgradnju tipskih stanica HEP-a, uz primjenu modularne izgradnje;
b) izgradnju pojednostavnjenih jednotransformatorskih TS 110/10(20) kV.

Navedena rješenja poznata su u mnogim inozemnim elektroprivrednim poduzećima. U anketi provedenoj u 15 zemalja [8] obrađene su osnovne karakteristike TS VN/SN. Utvrđen je udio transformatorskih stanica s ugrađenim jednim transformatorom, dva transformatora itd. Dobiveni su ovi rezultati:

Broj transformatora	1	2	3	> 3
Udio	22%	57%	14%	7%

Kao što se vidi, jednotrasfromatorske stanice nisu rijetkost. U daljnjem tekstu razmotrit će se razne alternative.

2. OSVRT NA OSNOVNE ZNAČAJKE DISTRIBUCIJSKE MREŽE U HRVATSKOJ

Pri definiranju koncepcije razvoja distribucijske mreže nužno je uzeti u obzir utjecaj postojećeg stanja mreže. Pošto je u [9] dan detaljan osvrt na postojeću srednjenaponsku mrežu u Hrvatskoj, na ovom mjestu će se navesti samo najvažnije značajke mreže, bitne za izgradnju budućih TS 110/10(20) kV.
Razdioba godišnjih vršnih opterećenja TS 110/10(20) kV i TS 35/10 kV (1989. g.) prikazana je u sljedećoj tablici:

Tablica 1.

Vršno opterećenje (MVA)	< 2	2—4	4—6	6—8	> 8
Udio (%)	18	25	19	14	24

Visoke vrijednosti vršnih opterećenja nazočne su prije svega kod TS 110/10(20) kV i TS 35/10 kV u velikim gradovima. U izvangradskim područjima opterećenja pojnih stanica redovito su niska.

S obzirom na velik udio nadzemnih 10 kV vodova u distribucijskoj mreži Hrvatske, razumljivo je da postoji problem loših naponskih prilika na tim vodovima. Analizom svih 10 kV mreža utvrđeno je da u Hrvatskoj danas postoji 131 izvod s lošim naponskim prilikama, a oni su priključeni na 78 TS X/10(20) kV. Razdioba maksimalnih padova napona na tim izvodima dana je u tablici 2.

Tablica 2.

Maksimalni pad napona (%)	7 – 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	> 25
Udio izvoda (%)	36	35	19	7	3

S porastom konzuma stanje će postati još lošije. Prema tome, može se zaključiti da u većini izvangradskih 10 kV mreža postoji samo problem loših naponskih prilika, a ne i problem kapaciteta transformacije X/10 kV.

Starost mreže 35 kV analizirana je na temelju informacija iz baze tehničkih podataka (BTP) Instituta za elektroprivredu i energetiku. U tabl. 3. prikazana je razdioba starosti TS 35/10 kV, te nadzemnih 35 kV vodova.

Tablica 3.

Starost TS 35/10 kV, te vodova 35 kV	> 40 g.	30 – 40 g.	20 – 30 g.	10 – 20 g.	< 10 g.
Udio (%) – TS 35/10 kV	6	19	26	27	22
Udio (%) – vodovi 35 kV	2	16	26	35	21

Navedeni podaci upućuju na činjenicu da će se velik dio TS 35/10 kV u doglednoj budućnosti morati rekonstruirati zbog **dotrajalosti**. Sličan je problem i kod nadzemnih vodova 35 kV. Time se otvaraju određene dvojbe: da li ulagati u revitalizaciju mreže 35 kV ili pristupiti izgradnji zemjenskih TS 110/10(20) kV?

Kod mreža 10 kV stanje dotrajalosti još je lošije nego u mreži 35 kV.

3. OPIS ALTERNATIVNIH TEHNIČKIH RJEŠENJA TS 110/10(20) kV

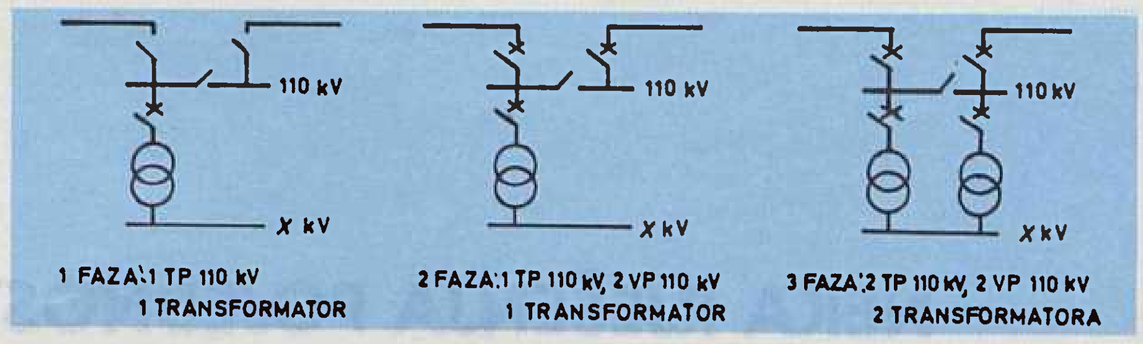
Kao što je rečeno u uvodnom dijelu ovog rada, u izvangradskim uvjetima potrebno je razmotriti mogućnosti korištenja:

— tipskih TS 110/10(20) kV HEP-a, uz primjenu modularne izgradnje
— pojednostavnjenih jednotransformatorskih TS 110/10(20) kV.

Kao specijalni slučaj jednotransformatorske stanice mogu se navesti mobilne TS 110/10(20) kV.

3.1. Modularna izgradnja TS 110/10(20) kV

Postupna (modularna) izgradnja TS 110/10(20) kV prikazana je na sl. 1. U prvoj etapi u stanicu ugrađuje



Slika 1. Modularna TS 110/X kV

se samo jedan transformator (obično snage 20 MVA), te se kompletno oprema njegovo trafopolje. Vodna polja 110 kV opremaju se samo rastavljačima. U takvoj situaciji potrebno je podešenje prvog stupnja distantne zaštite u susjednim 110 kV postrojenjima povisiti u odnosu prema diferencijalnoj zaštiti razmatranog transformatora kako ne bi došlo do neselektivnih ispada voda 110 kV. Alternativa je komunikacijska veza između tih releja.

U drugoj etapi ugrađuje se kompletna oprema u vodna polja 110 kV, s distantnim relejima koji omogućuju uobičajeno podešenje zaštite u mreži 110 kV.

U trećoj etapi TS 110/10(20) kV kompletno se oprema, tj. ugrađuje se drugi transformator 110/10(20) kV, te trafopolje 110 kV.

Predloženi postupak omogućuje postupnu izgradnju TS 110/10(20) kV u skladu s financijskim mogućnostima investitora. S druge strane, opterećenja u izvangradskim uvjetima obično su takva da opravdavaju **postupnu** izgradnju TS 110/10(20) kV.

Rezervno napajanje za slučaj ispada transformatora (dok postoji samo jedna jedinica) obično se može osigurati putem postojeće (stare) mreže 35 kV i transformaciju 35/10 kV. Uvođenjem napona 20 kV nužno rezervno napajanje moći će se osigurati kroz mrežu 20 kV od susjednih pojnih stanica.

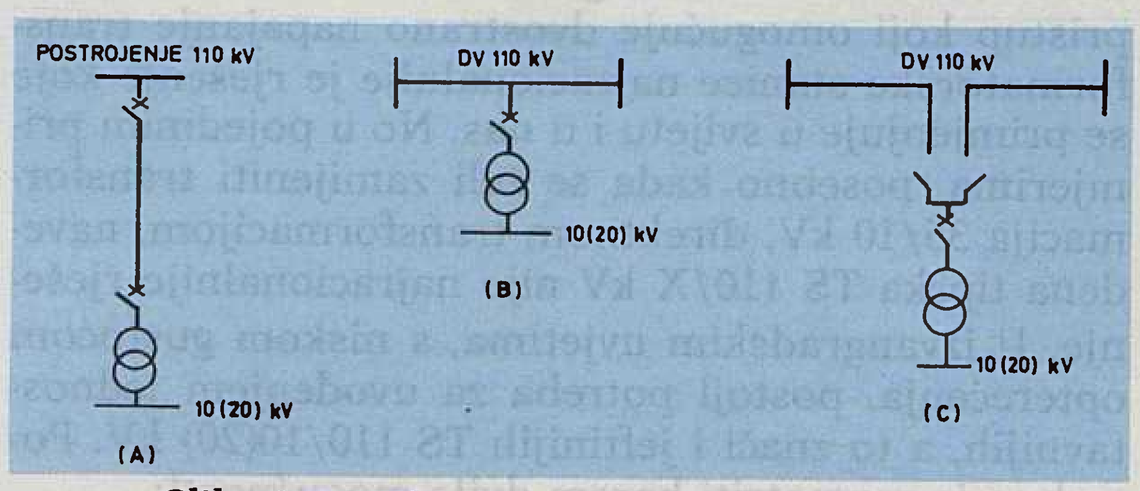
Raspodjela troškova izgradnje navedene TS 110/10(20) kV s transformatorima snage 20 MVA približno izgleda ovako:

— prva faza	60 % ukupne investicije
— druga faza	14 % ukupne investicije
— treća faza	26 % ukupne investicije
ukupno	100 %

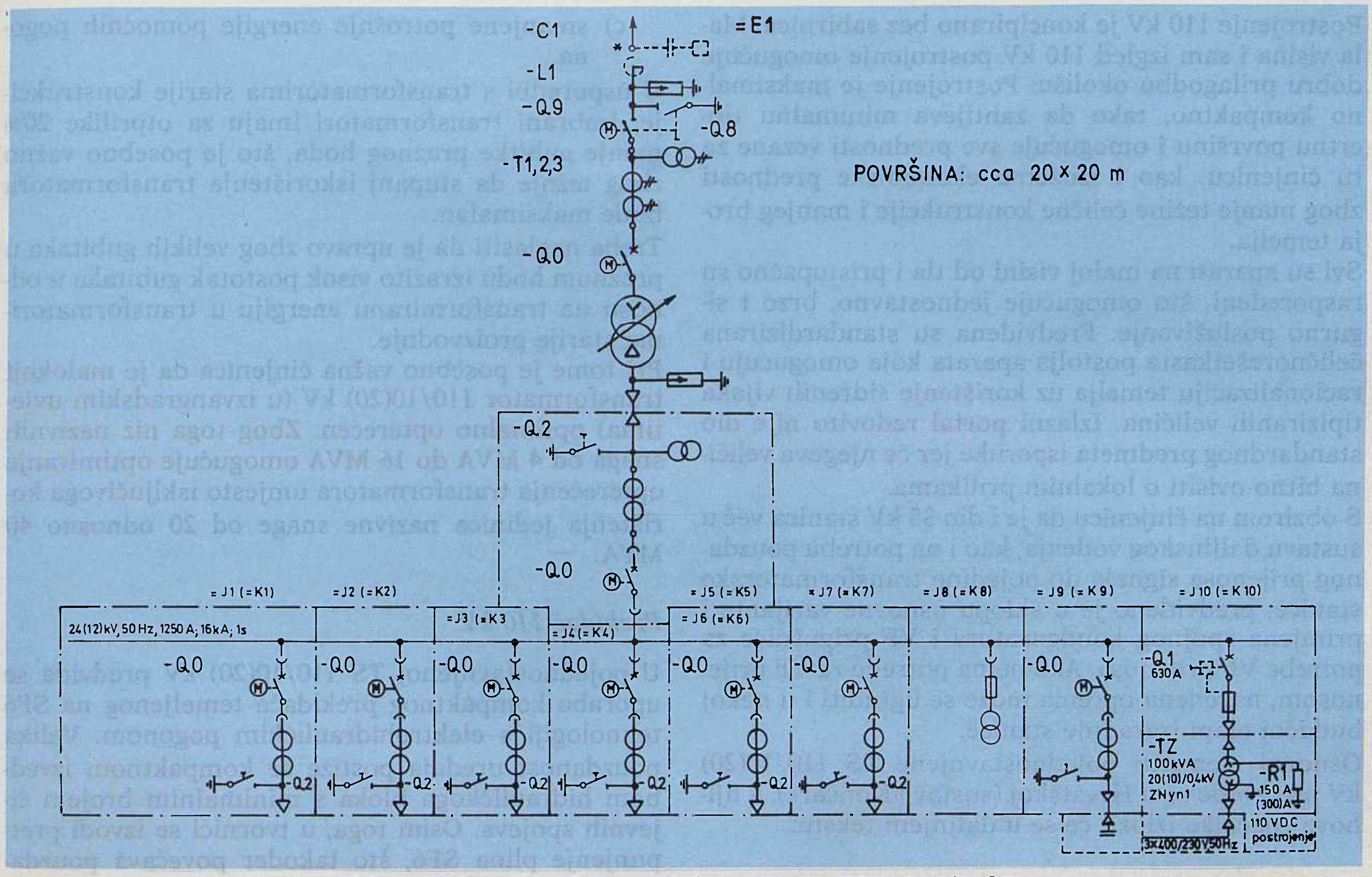
Navedeni pristup bitno olakšava gradnju tipskih TS 110/10(20) kV sa financijskog stajališta.

3.2. Pojednostavnjena jednotransformatorska TS 110/10(20) kV

Budući da je pojednostavnjena jednotransformatorska TS 110/10(20) kV novost u našim uvjetima, ovo rješenje podrobnije će se opisati na temelju idejnog projekta [10].



Slika 2. Pojednostavnjena TS 110/10(20) kV



Slika 3. Jednopolna shema pojednostavnjene TS 110/10(20 kV

Najčešće je riječ o stanicama s blok-spojem transformator — nadzemni vod, bez sabirnica 110 kV. Moguća shema spoja na mrežu 110 kV prikazana je na sl. 2, a jednopolna shema pojednostavnjene TS 110/10(20) kV dana je na sl. 3.

Ukupna cijena TS 110/10(20) kV može se približno prikazati relacijom

$$C = A + V + N + T + R,$$

gdje su:

A — cijena građevinskoga dijela
V — cijena 110 kV postrojenja
N — cijena 10(20) kV postrojenja
T — cijena energetskih transformatora
R — cijena sekundarne opreme i opreme za vlastitu potrošnju.

U slučaju pojednostavnjene jednotransformatorske stanice omogućeno je smanjenje svih dijelova u navedenoj relaciji jer se i nazivna snaga transformatora može prilagoditi stvarnim potrebama, odnosno ne mora biti 20 ili 40 MVA kao za tipsku TS 110/10(20) kV s dva energetska transformatora navedenih nazivnih snaga.

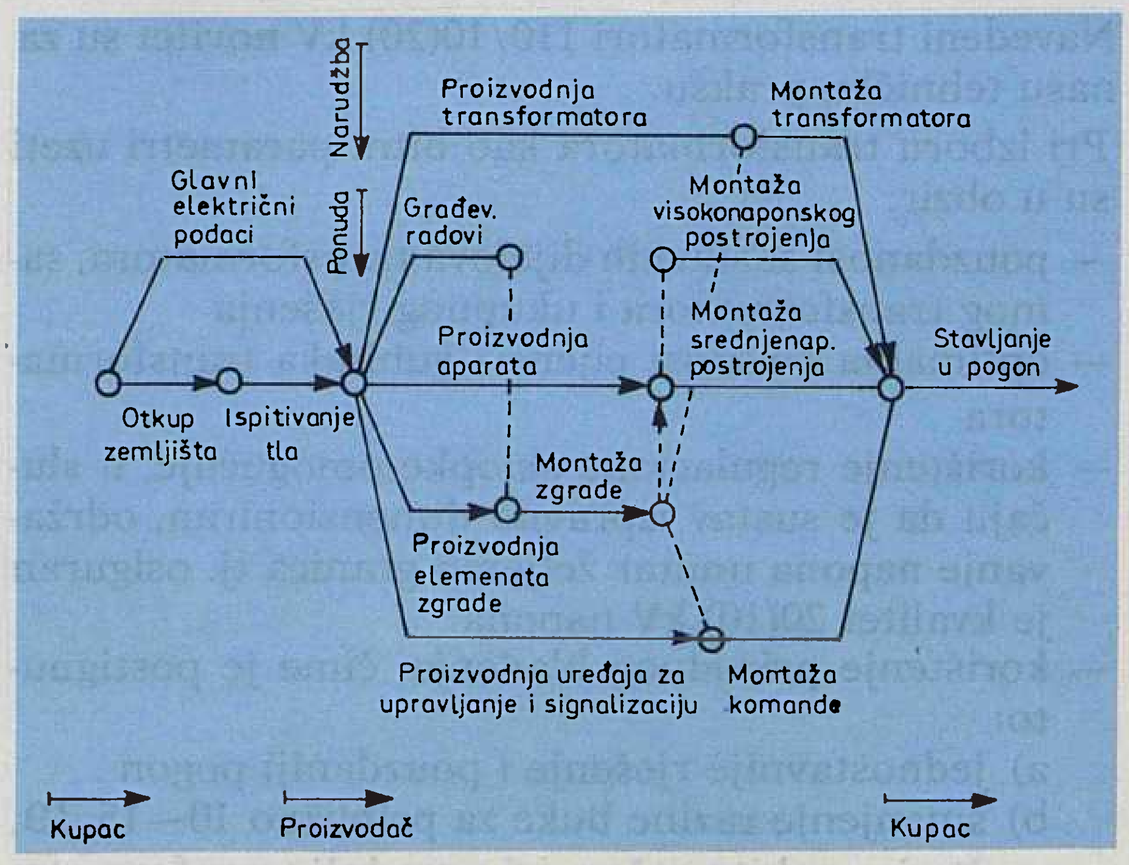
Način isporuke modularne pojednostavnjene jednotransfromatorske stanice 110/10(20) kV moguće je izvesti tako da je maksimalno skraćeno vrijeme svih faza izgradnje:

— izrade investicijsko-tehničke dokumentacije
— koordinacije radova različitih sudionika
— kontrole opreme
— nadzora pri izgradnji
— puštanja u pogon.

Osnovni mrežni dijagram izgradnje pojednostavnjene TS 110/10(20) kV prikazan je na sl. 4.

Građevinski radovi su maksimalno smanjeni zbog izuzetno male tlocrtne površine TS 110/10(20) kV i nakon osiguranja zemljišta obuhvaćaju poravnavanje zemljišta, izgradnju prilazne ceste, portala, postolja aparata, temelja transformatora, ograde vanjskog postrojenja i zgrade s pripadajućim instalacijama, kao i radove za izvedbu uzemljivača.

Dispozicija opreme u zgradi jest takva da omogućuje prilagodbu različitim zahtjevima. Kućni transformator i otpornik za uzemljenje nul-točke smješteni su u posebnu betonsku komoru radi zaštite od požara.



Slika 4. Mrežni dijagram pojednostavnjene jednotransformatorske TS 110/10(20) kV

Postrojenje 110 kV je koncipirano bez sabirnica. Mala visina i sam izgled 110 kV postrojenja omogućuje dobru prilagodbu okolišu. Postrojenje je maksimalno kompaktno, tako da zahtijeva minimalnu tlocrtnu površinu i omogućuje sve prednosti vezane za tu činjenicu, kao i izuzetne ekonomske prednosti zbog manje težine čelične konstrukcije i manjeg broja temelja.

Svi su aparati na maloj visini od tla i pristupačno su raspoređeni, što omogućuje jednostavno, brzo i sigurno posluživanje. Predviđena su standardizirana čeličnorešetkasta postolja aparata koja omogućuju i racionalizaciju temelja uz korištenje sidrenih vijaka tipiziranih veličina. Izlazni portal redovito nije dio standardnog predmeta isporuke jer će njegova veličina bitno ovisiti o lokalnim prilikama.

S obzirom na činjenicu da je i dio 35 kV stanica već u sustavu daljinskog vođenja, kao i na potrebu pouzdanog prijenosa signala do pojedine transformatorske stanice, predviđeno je u sklopu osnovne varijante i primjena spojnog kondenzatora i VF prigušnice za potrebe VF prijenosa. Ako nema potrebe za VF prijenosom, navedena oprema može se ugraditi i u nekoj budućoj etapi izgradnje stanice.

Osnovni elementi pojednostavnjene TS 110/10(20) kV proizvode se u Hrvatskoj (sustav »Končar«), a njihove značajke izložit će se u daljnjem tekstu.

Energetski transformator

Predviđeni su energetski transformatori s regulacijskom sklopkom, nazivnih snaga između 4 MVA i 16 MVA. Osnovni tehnički podaci energetskih transformatora su sljedeći:

— nazivne snage: 4; 6.3; 8; 10; 12.5; 16 MVA
— VN napon: $110 \pm 10 \times 1.5\%$ kV
— SN napon: 20(10) kV
— hlađenje: ONAN
— oznaka spoja: YynO ili Yd5
— napon kratkog spoja 8% za snage 4; 6.3 i 8 MVA te 10% za snage 10; 12.5 i 16 MVA
— transformatori su prespojivi na SN strani (10 – 20 kV) na ploči ispod poklopca
— ostali tehnički podaci su u skladu s IEC 76.

Navedeni transformatori 110/10(20) kV novitet su za našu tehničku praksu.

Pri izboru transformatora kao bitni parametri uzeti su u obzir:

— pouzdanost sastavnih dijelova transformatora, samog transformatora i ukupnog rješenja
— optimalna ovisnost cijene i gubitaka transformatora
— korištenje regulacione sklopke omogućuje, u slučaju da je sustav ispravno dimenzioniran, održavanje napona unutar željenih granica tj. osiguran je kvalitet 20(10) kV napona
— korištenje prirodnog hlađenja, čime je postignuto:
  a) jednostavnije rješenje i pouzdaniji pogon
  b) smanjenje razine buke za približno 10 – 15 dB, što je osobito važno pri ugradnji transformatora blizu naseljenih mjesta
  c) smanjene potrošnje energije pomoćnih pogona.

U usporedbi s transformatorima starije konstrukcije, izabrani transformatori imaju za otprilike 20% manje gubitke praznog hoda, što je posebno važno zbog težnje da stupanj iskorištenja transformatora bude maksimalan.

Treba naglasiti da je upravo zbog velikih gubitaka u praznom hodu izrazito visok postotak gubitaka u odnosu na transformiranu energiju u transformatorima starije proizvodnje.

Pri tome je posebno važna činjenica da je malokoji transformator 110/10(20) kV (u izvangradskim uvjetima) optimalno opterećen. Zbog toga niz nazivnih snaga od 4 MVA do 16 MVA omogućuje optimiranje opterećenja transformatora umjesto isključivoga korištenja jedinica nazivne snage od 20 odnosno 40 MVA.

Prekidač 110 kV

U pojednostavnjenoj TS 110/10(20) kV predviđa se uporaba kompaktnog prekidača temeljenog na SF6 tehnologiji s elektrohidrauličkim pogonom. Velika pouzdanost uređaja postiže se kompaktnom izvedbom hidrauličkoga bloka s minimalnim brojem cijevnih spojeva. Osim toga, u tvornici se izvodi pretpunjenje plina SF6, što također povećava pouzdanost rada prekidača.

Rastavljač 110 kV

Rastavljači se izrađuju kao tropolne jedinice. Izrazito robustna konstrukcija pogona omogućuje jednostavnu regulaciju otvaranja i zatvaranja glavnih noževa. Predviđa se uporaba okretnih rastavljača izvedenih sa po dva okretna izolatora po polu i jednim prekidnim mjestom po polu.

Mjerni transformatori 110 kV

Kao tehnički novitet uvodi se kombinirani strujno-naponski transformator kao kombinacija dviju mjernih jedinica u jednom kućištu: induktivnoga naponskog transformatora i strujnog transformatora. To je višestruko prihvatljivije i ekonomičnije rješenje u odnosu prema posebnim strujnim i naponskim mjernim transformatorima, a osobito u slučaju postrojenja ovakvog tipa gdje se na taj način mogu postići znatne uštede u potrebnom prostoru, čeličnim konstrukcijama, kabelskim kanalima, betonskim temeljima, spojnim vodovima, spojnim elementima, opremi za uzemljenje, kabelima itd.

Odvodnici prenapona na 110 kV strani

Metaloksidni odvodnici prenapona štite sve 110 kV elemente postrojenja. Predlaže se uporaba metaloksidnih odvodnika prenapona s izolatorima od plastičnih materijala, kao što je npr. silikonska guma, posebno u uvjetima nepovoljne okoline. Osim toga što posjeduju tzv. efekt samočišćenja, takvi izolatori su i jeftiniji od klasičnih porculanskih izolatora.

Srednjonaponsko postrojenje

Postrojenje srednjeg napona izvedeno je iz standardnih tvornički izrađenih sklopnih blokova nazivnog napona 12 kV ili 24 kV, s malouljnim prekidačima na izvlačivim kolicima (osim polja kompenzacije) i jednostrukim izoliranim sabirnicama. Za isti nazivni napon istovrsna polja se nešto razlikuju s obzirom na način uzemljenja neutralne točke SN mreže (uzemljenje preko otpora ili izolirano), a posebno glede zaštite.

Sklopni blokovi su izvlačive izvedbe i svaki sklopni blok je podijeljen na četiri međusobno pregrađena prostora. Broj polja se određuje prema konkretnom zahtjevu, tako da srednjonaponsko postrojenje može biti u načelu po volji veliko.

S obzirom na izuzetno teške zahtjeve koji se postavljaju pri izboru prekidača za polje kompenzacije, predlaže se za to polje izbor vakuumskog prekidača za distribucijske mreže. Prednosti vakuumske sklopne tehnike iskorištene su uporabom vakuumske prekidne komore. Na taj se način optimalno riješila problematika održavanja elemenata i sklopova koji sudjeluju u procesu prekidanja i gašenja električnog luka (nema održavanja ovih sklopova). Navedena vakuumska komora je po svojim dimenzijama znatno manja od standardnih vakuumskih komora, što znači da je i znatno jeftinija. Budući da komora tako malih dimenzija nema dostatnu kliznu stazu po vanjskom izolacijskom plaštu, komora je uronjena u ulje, pa je na taj način osigurana dielektrična čvrstoća. Kako ulje ne sudjeluje u procesu sklapanja, već služi samo kao izolacija, to može ostati u prekidaču praktično za cijelog vijeka trajanja prekidača.

Budući da je cijena opisanih vakuumskih prekidača za distribucijske mreže konkurentna u odnosu na malouljne prekidače, dolazi u obzir i njihova primjena u svim srednjonaponskim poljima.

Upravljanje, mjerenje i zaštita

Upravljanje prekidačem u 110 kV postrojenju moguće je:

— neposredno s prekidača
— lokalno iz ormara polja
— daljinski iz CDU, preko odvojenih releja 48V = (eventulano).

Upravljanje prekidačima u SN postrojenju moguće je:

— neposredno s prekidača kad su otvorena vrata prekidačkog odjeljka
— lokalno s vrata poslužnog ormarića pomoću tipkala
— daljinski iz CDU, preko odvojnih releja 48V = (eventualno).

Osim upravljanja prekidačem, u poslužnom je ormariću sklopnih blokova srednjeg napona i oprema za zaštitu, signalizaciju i mjerenje.

U komandnoj zgradi je slobodnostojeća komandna ploča na kojoj se nalaze instrumenti za očitanje napona i struje te uređaji za mjerenje djelatne i jalove snage na visokonaponskoj strani transformatora.

Zaštita ovisi o izvedbi i zahtjevima pojne mreže i zato se mora za svaki konkretni slučaj posebno definirati. Zaštitni uređaji se nalaze u posebnom relejnom ormaru smještenom u komandnoj prostoriji. Zaštita transformatora obuhvaća nadstrujnu zaštitu i eventualno diferencijalnu zaštitu za veće jedinice. U srednjonaponskom postrojenju izvedena je nadstrujna i zemljospojna zaštita.

Vlastita potrošnja

Kao vlastiti izvor električne energije služe kućni transformator te ispravljač i akumulatorska baterija. Kućni transformator je u spoju ZNyn1 i ima sekundarni namot 400/231 V, a služi za napajanje rasvjete, grijanja, utičnica, ispravljača, motora prekidača. Kućni transformator, zajedno s otpornikom za uzemljenje srednjonaponske mreže, može biti smješten u posebnoj prostoriji ili na otvorenom.

Olovna akumulatorska baterija nazivnog napona 110 V napaja strujne krugove upravljanja i nužne rasvjete. Za punjenje i nadopunjavanje akumulatorske baterije služi trofazni tiristorski ispravljač. Signalizacija kvara provodi se ako napon baterije padne ispod 100 V ili ako dođe do zemljospoja. Akumulatorska baterija je smještena u posebnoj prostoriji koja je prilagođena uvjetima što se postavljaju na akumulatorske prostorije.

Zbog vrlo dobrih tehničkih karakteristika predlaže se korištenje suvremenih rješenja, kao što su NiCd baterije s novom generacijom ispravljača, a pri čemu nije potrebna posebna prostorija.

3.3. Mobilna TS 110/10(20) kV

Glavne značajke mobilnih transformatorskih stanica jesu:

— velika pokretljivost
— brza i jeftina montaža
— nepotrebni ili minimalni građevinski radovi
— maksimalno smanjenje nužnog prostora
— isporuka tvornički dogotovljene i ispitane transformatorske stanice koja je odmah spremna za pogon.

Iako je riječ o jednostransformatorskoj stanici, može se konstatirati da postoje različite izvedbe, ovisno o konkretnom zahtjevu.

Postrojenje visokog napona može biti metalom oklopljeno i izolirano plinom SF6 ili konvencionalne izvedbe. Češće se koriste rješenja s metalom oklopljenim i izoliranim plinom SF6 postrojenima.

Kombinacija vučno vozilo — prikolica treba odgovarati međunarodnim i domaćim zahtjevima o prometu cestovnih vozila.

Velike havarije i ispadi transformatorskih stanica iz pogona na duže razdoblje i zahtjevi potrošača električne energije za brzim i kvalitetnim ponovnim uspostavljanjem napajanja čine mobilne transformatorske stanice gotovo idealnim rješenjem za takve kritične uvjete rada jednoga elektroenergetskog objekta.

U takvim je slučajevima moguće mobilnu stanicu vrlo brzo dopremiti i priključiti kao »by pass« havarirane transformatorske stanice. Na taj se način može uspostaviti brzo i kvalitetno ponovno napajanje električnom energijom.
Isto tako, mobilna stanica može se koristiti za osiguranje napajanja za vrijeme održavanja neke postojeće jednostransformatorske stanice. Za vrijeme rekonstrukcije ili proširenja postojeće transformatorske stanice i za vrijeme izgradnje nove transformatorske stanice, odnosno za vrijeme izgradnje nekog drugog objekta moguće je koristiti mobilne stanice. Ponekad se one koriste za osiguranje napajanja pri neplaniranom povećanju opterećenja. Posebno je potrebno istaknuti ulogu mobilnih stanica u formiranju fleksibilnog i žilavoga elektroenergetskog sustava koji će moći zadovoljiti različite uvjete rada u kriznim situacijama kao što su rat, diverzije itd.
Mobilne stanice su obično koncipirane tako da se mogu s primarne strane priključiti na postojeću transformatorsku stanicu preko rezervnog polja (ako ono postoji), odnosno neposredno na sabirnice ili na sam ulaz u visokonaponsko postrojenje. Isto tako mogu se priključiti i izravno na dalekovod 110 kV.
U svakom su slučaju mobilne stanice jedan oblik pogonske rezerve koja u svim kritičnim i specifičnim situacijama može biti vrlo brzo aktivirana.

4. NEKI PROBLEMI VEZANI ZA POGON POJEDNOSTAVNJENIH TRANSFORMATORSKIH STANICA

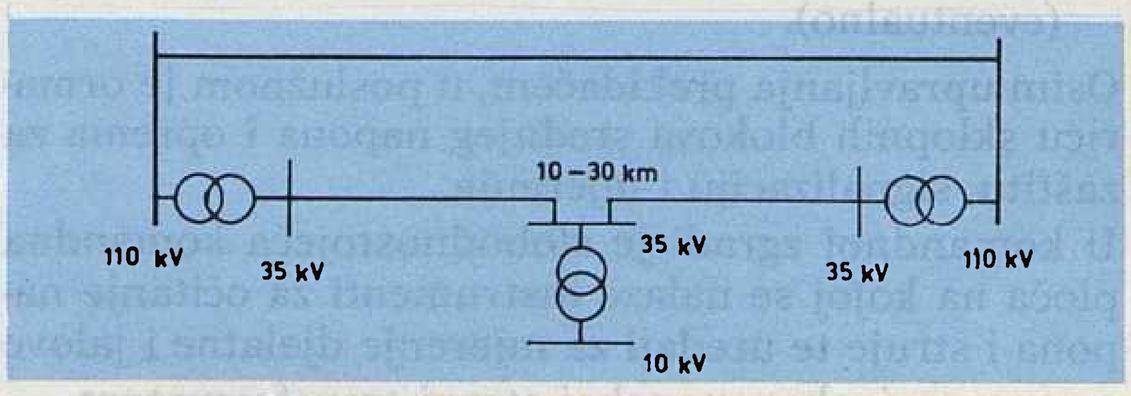
Osim niza prednosti, pojednostavnjene jednotransformatorske stanice (kao, uostalom, i svako jednostavno i jeftino rješenje), imaju i niz nedostataka koji mogu uzrokovati probleme tijekom pogona.
Osnovni problem je u smanjenoj pouzdanosti napajanja konzuma i u narušenoj selektivnosti rada relejne zaštite u 110 kV mreži.
Povećanje raspoloživosti rada pojednostavnjenih transformatorskih stanica može se u prvom redu postići odabirom **kvalitetnih komponenti.** Osim toga, u nekim elektroprivrednim poduzećima u svijetu koriste se dodatni rastavljači za premoštenje prekidača kako bi se mogao osigurati pogon i tijekom održavanja prekidača [11].
U pojedinim slučajevima dolazi u obzir rješenje s ugrađenim **portalom** na koji se postavljaju dva rastavljača (sl. 2.c). Takvo rješenje povećava raspoloživost transformatorske stanice. U slučaju kvara na jednom dijelu nadzemnog voda 110 kV, omogućeno je napajanje stanice s druge strane, i to zahvaljujući mogućnosti da se dionica u kvaru odvoji pomoću jednog rastavljača 110 kV postavljenog na portalu.
Glede selektivnosti rada zaštite u mreži 110 kV, problem može nastupiti u slučaju kvara na transformatoru 110/10(20) kV. Postoji mogućnost da u tom slučaju prorade distantni releji u susjednim postrojenjima 110 kV prije zaštite transformatora te nepotrebno isključe vod 110 kV iz pogona.
Moguća su sljedeća rješenja:

a) Ako vod 110 kV nije jako opterećen, može se tolerirati rizik neselektivnog rada distantnih releja. Kvarovi na transformatorima 110/10(20) kV izuzetno su rijetki, a eventualno neselektivno isključivanje slabo opterećenog voda 110 kV obično neće imati ozbiljnije posljedice na prijenosni sustav.
b) Ako je vod 110 kV izrazito opterećen, odnosno ako taj vod ima bitnu ulogu u prijenosnoj mreži, postoji mogućnost povezivanja distantnih releja u susjednim 110 kV postrojenjima s diferencijalnom zaštitom transformatora (putem komunikacijskih veza). Tada je moguće uvjetovati proradu distantnih releja nakon »provjere« stanja diferencijalne zaštite transformatora. No ovakvo rješenje bi trebalo koristiti samo iznimno, kod stanica priključenih na 110 kV vodove čiji bi ispadi mogli imati teške posljedice za prijenosni sustav.
Pritom je važno da zvjezdište transformatora na 110 kV strani bude izolirano, kako bi se izbjegao štetni utjecaj pojave nultih struja na rad distantnih releja u susjednim stanicama.

Sigurno je da ovakva pojednostavnjena rješenja uvjetuju nešto manju pouzdanost rada TS 110/10(20) kV (posebno zbog dužeg traženja mjesta kvara na vodu). No to se kod transformatorskih stanica koje napajaju područja s malim opterećenjima može prihvatiti.

5. GOSPODARSKA OPRAVDANOST IZGRADNJE POJEDNOSTAVNJENIH TRANSFORMATORSKIH STANICA

Pojednostavnjena TS 110/10(20) kV pogodna je za uporabu u mrežama gdje se u doglednoj budućnosti (oko 30 godina) ne očekuje pojava visokih opterećenja (preko 15 MW). Osnovni ekonomski uvjet za opravdanost uporabe takvih stanica jest mogućnost priključka na mrežu 110 kV bez izgradnje novih — dugačkih 110 kV vodova.
Kao karakterističan primjer situacije u kojoj je uporaba pojednostavnjenih TS 110/10(20) kV veoma atraktivno rješenje može se navesti problem dotrajalosti nadzemnih vodova 35 kV.
Ta situacija je prikazana na sl. 5. Nadzemni vod 35 kV redovito je mnogo stariji od paralelno izgrađenog voda 110 kV. U slučaju izrazite dotrajalosti postavlja se zahtjev za gradnjom novoga, zamjenskog voda 35 kV. Kao alternativa nameće se izgradnja pojednostavnjene TS 110/10(20) kV koja bi se priključila na susjedni vod 110 kV, te bi zamijenila TS 35/10 kV. Ako je to novija TS 35/10 kV, tada se može iskoristiti



Slika 5. Tipična mreža 110 i 35 kV

10 kV postrojenje u toj stanici kao »produžena« sabirnica nove TS 110/10(20) kV.
Uz današnje odnose cijena, može se reći da pojednostavnjena TS 110/10(20) kV košta kao **10 – 12 km** nadzemnog voda 35 kV (ovisno o lokalnim uvjetima).
S druge strane, tehnički gledano, izgradnja TS 110/10(20) kV bitno je kvalitetnije rješenje od gradnje novog voda 35 kV. Pritom treba uzeti u obzir da je situacija sa sl. 5. vrlo česta u Hrvatskoj.
Također je potrebno upozoriti da se izgradnjom pojednostavnjene TS 110/10(20) kV umjesto zamjenskih vodova 35 kV, postižu i dodatne prednosti kao što su:

- manji troškovi eksploatacije ako se demontira postojeći (dotrajali) vod 35 kV
- dobivanje slobodnog terena koji zauzima trasa postojećeg voda 35 kV (u nekim područjima tereni su vrlo skupi!).

Što se tiče usporedbe cijene pojednostavnjene jednotransformatorske TS 110/10(20) kV s cijenom tipske TS 110/10(20) kV HEP-a, može se reći da je pojednostavnjena stanica oko **3 puta jeftinija** (ovisno o snazi ugrađenih transformatora).
Procjena potrebnoga broja pojednostavnjenih TS 110/10(20) kV uvjetovana je stanjem postojeće prijenosne i distribucijske mreže u Hrvatskoj i porastom konzuma električne energije u budućnosti. Uza sve prisutne nepoznanice, u [7] je utvrđena potreba za izgradnjom barem 15 pojednostavnjenih TS 110/10(20) kV u razdoblju 1995 – 2010. g.

6. ZAKLJUČAK

U ovom članku pokušala su se na pregledan način prikazati neka alternativna rješenja za izgradnju TS 110/10(20) kV. Glavna značajka navedenih transformatorskih stanica jest njihova pojednostavnjena koncepcija u odnosu prema sadašnjem tipskom rješenju HEP-a.
Prijedlog osnovnih komponenti jednostransformatorske stanice 110/X kV prilog je kvalitetnijoj i racionalnijoj izgradnji. Odlikuje se jednostavnom jednopolnom shemom, tipiziranim osnovnim komponentama i pomoćnim uređajima te omogućuje efikasnu izgradnju. Važno je naglasiti da se većina komponenti može nabaviti kod domaćih proizvođača.
Izložena rješenja omogućuju fleksibilan razvoj srednjonaponskih mreža u budućnosti, s naglaskom na postupnoj zamjeni tronaponskog sustava (110/35/10 kV) dvonaponskim sustavom (110/10(20) kV). Ovaj zaključak je uvjetovan i značajkama srednjonaponske mreže u Hrvatskoj.
Dakako, predložena rješenja trebat će svestrano razmotriti prije usvajanja eventualnih tipizacija. Zbog toga je nužna uska suradnja HEP-a, projektnih organizacija, znanstvenoistraživačkih institucija i industrije električne opreme.

LITERATURA

[1] FAGARAZZI, A.: »Modularna transformatorksa stanica«, visoki napon/srednji napon proizvodnje ASEA, »Energija«, 5 – 6/1978.

[2] Mobile substations, kataloški materijal ABB

[3] Integral transformer substation, Pamphlet KD 91-108E, ABB

[4] SCHENNER, R.: »Optimalizacija sistema transformatorske stanice 110/10(20) kV i mreže 10(20) kV«, »Energija«, 3 – 4/1977.

[5] BS 162 — Specification for electric power switchgear and associated apparatus 1961.

[6] BIBIĆ, M.: »Tipska transformatorska stanica 30/10 kV«, »Končar« — stučne informacije, Zagreb, broj 3/1977.

[7] ŽUTOBRADIĆ S., SCHENNER, R.: »Uvođenje napona 20 kV u distribucijsku mrežu Hrvatske s posebnim osvrtom na sanaciju ratom oštećenih postrojenja«, studija IEE, Zagreb, 1933.

[8] WORKING Group CC. 01: »Interaction between transmission and distribution system planning density and size of substations,« »Electra«, 150/1993.

[9] ŽUTOBRADIĆ, S.: »O razvoju srednjonaponskih mreža u Hrvatskoj elektroprivredi, »Energija«, 6/1992.

[10] RAVLIĆ, V., RADOŠEVIĆ, Ž.: »Idejni projekt pojednostavnjene jednotransformatorske TS 110/10(20) kV, »MIRAVEL«, d.o.o.«, Zagreb, 1992.

[11] LAKERVI, E.: »Electricity distribution network design«, »P. Peregrinus«, (knjiga), 1989.

SOME SOLUTIONS OF SIMPLIFIED 110/10(20) kV TRANSFORMER SUBSTATIONS

Some simplified solutions of 110/10(20) kV transformer substations are described in the paper.
The most important components of the simplified single transformer substation are described. A review of the existing mid-voltage network of Croatia is given as well as an economic justification of the given solution application.

EINIGE LÖSUNGEN VEREINFACHTER TS 110/10(20) kV

Im Artikel sind einige vereinfachte Lösungen TS 110/10(20) kV besprochen worden. Es werden die wichtigsten Komponenten einer vereinfachten Eintransformatorstation beschrieben.
Man bespricht auch das bestehende Mittelspannungsnetz in Kroatien und die wirtschaftliche Rechtfertigung der Anwendung der vorgeschlagenen Lösungen.

Naslov pisaca:

Dr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d.,
Zagreb, Avenija Vukovar 37,
Hrvatska

Velimir Ravlić, dipl. ing.
Željko Radošević, dipl. ing.
»Mireval«, d.o.o. Zagreb
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-03-01.

PRILOG PRENAPONSKOJ ZAŠTITI DISTRIBUCIJSKIH POSTROJENJA SREDNJEG NAPONA

Dr. Zorko Cvetković, Zagreb

UDK 621.316.933
STRUČNI ČLANAK

Opisan je kompozitni metaloksidni odvodnik u seriji s iskrištem i program ispitivanja koja su tijekom dviju godina provedena u dijelu 20 kV mreže ENEL-a.

Ključne riječi: prenaponska zaštita, iskrište, odvodnik prenapona.

1. UVOD

U *Energiji* br. 2/1994 izašao je članak [1] koji vrlo pregledno obrađuje iskustva s postojećom prenaponskom zaštitom u mrežama srednjeg napona nekih europskih zemalja, uključujući i Hrvatsku. Obrađena je i tendencija daljeg razvoja s tehnoekonomskim osvrtom na primjenu MO odvodnika prenapona. Iz članka je vidljivo da su iskustva s klasičnim SiC odvodnicima u mreži Hrvatske prilično loša, jer su oni dosta često uzročnici kvarova u mreži. Iskustva s iskrištem poglavito u mreži 10 kV relativno su dobra, dok su iskustva s MO odvodnicima još nedovoljna da bi se mogli stvoriti neki zaključci. Dodamo li k tome činjenicu [2] da ne postoji opće prihvaćena metodologija ni regulativa za procjenu cjelokupnog stanja odvodnika prenapona, vidljivo je da je prenaponska zaštita mreže srednjeg napona 10 kV, 20 kV, 30(35) kV područje kojim će se trebati intenzivno baviti.
Dok je tendencija prema MO odvodnicima jasna, rokovi zamjene i prioriteti još su nedefinirani. Prema [3] ta zamjena neće biti brza prije svega zbog visoke cijene, a i zbog činjenice da je prednost odvodnika MO spram SiC odvodnika u mreži srednjeg napona manje izražena.
U ovome članku dano je jedno iskustvo iz mreže ENEL-a [4] kao dodatna varijanta rješenjima opisanim u [1].

2. OGRANIČENJA KLASIČNIH RJEŠENJA

Kako je navedeno u [1], srednjonaponska mreža ENEL-a redovito je štićena iskrištima, a iznimno i odvodnicima prenapona. Sve veći zahtjevi na pouzdanost napajanja potrošača naveli su ENEL na preispitivanje djelotvornosti postojeće prenaponske zaštite. U tu svrhu provedena su ispitivanja u sjeveroistočnoj regiji ENEL-ove mreže gdje je u uporabi zaštita iskrištem. Ova je regija inače karakteristična po vrlo visokoj kerauničkoj razini.

Polazne spoznaje o efikasnosti i ograničenju prenaponske zaštite mogu se sažeti u sljedećem:

2.1. Iskrište

Iskrište je vrlo jednostavno i robusno rješenje sa samostalnim regeneriranjem i relativno niskim investicijskim troškovima. Pogonska iskustva, međutim, pokazuju čestu manjkavost iskrišta u gašenju prateće struje (follow current), što dovodi do nužnog djelovanja zaštite i odgovarajućeg iskopčavanja elemenata mreže iz pogona. Spomenuta ispitivanja su pokazala da je vjerojatnost gašenja luka na iskrištu to manja što je ono udaljenije od transformatorske stanice i što je struja kratkog spoja veća.

Kao daljnji nedostaci iskrišta navedeni su visoka disperzija vrijednosti prorade, odrezani val koji može oštetiti izolaciju transformatora i prenaponi koji se mogu pojaviti u pogonu.

2.2. Odvodnik prenapona

Razmatrajući SiC i MO odvodnike kako u porculanskom tako i u kompozitnom kućištu, polazi se od podataka specificiranih u [1], pa ih ovdje ne treba ponavljati. Ipak treba dodati još neke praktične spoznaje. Za eliminiranje trajno vodljivih odvodnika iz pogona koriste se dvije metode:

— automatski osigurač koji odvaja odvodnik. U tom slučaju pogon se nastavlja bež smetnje, ali i bez prenaponske zaštite dok se ne izvrši zamjena oštećenog odvodnika. U doba učestalih atmosferskih pražnjenja to donosi stanovit rizik.
— ugrađeni indikator koji signalizira odvodnik u kvaru.

U tom slučaju vod je izvan pogona do zamjene odvodnika. U poglavlju 3. predočeno je rješenje koje koristi ENEL kako bi kompromisno riješio navedene probleme.

3. RJEŠENJE SA MO ODVODNICIMA U KOMPOZITNOM KUĆIŠTU NA ISKRIŠTU

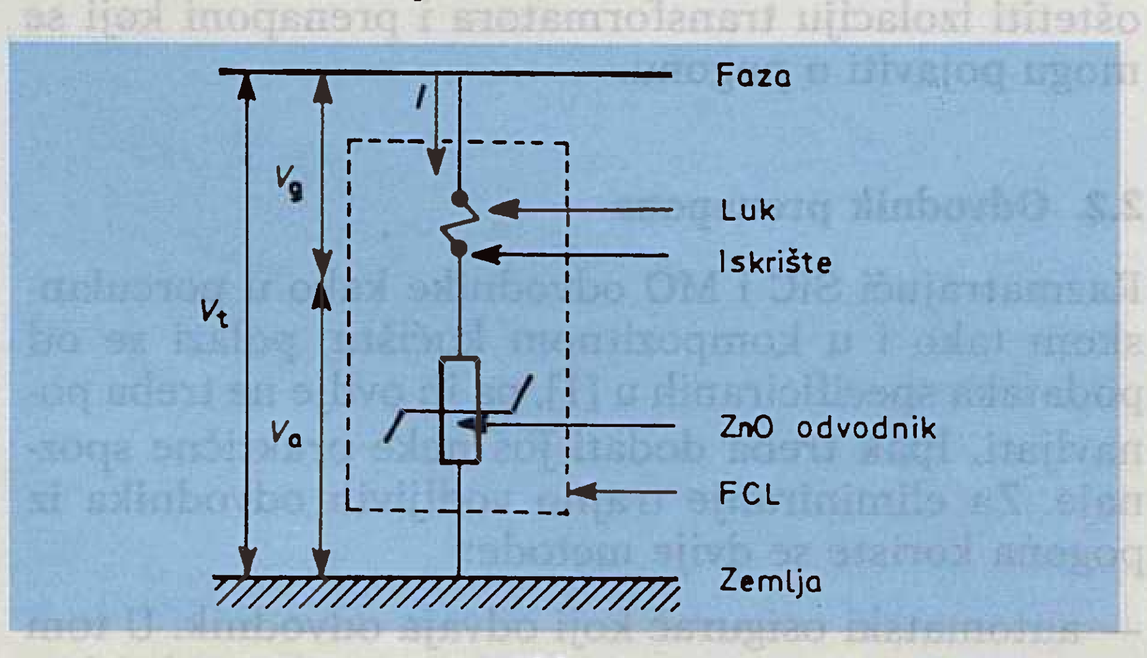
Ovo rješenje, kako pokazuje sl. 1, jest serijski spoj MO odvodnika i iskrišta. U normalnom pogonu odvodnik se ne nalazi pod naponom. U slučaju prenapona, što se u srednjenaponskoj mreži redovito odnosi na atmosferski prenapon, zračni raspor iskrišta postaje vodljiva staza, a struja koja protječe ograničena je odvodnikom. Odvodnik, dakle, djeluje kao ograničavač prateće struje (follow current limiter), pa odatle i ime cijelom uređaju FCL.

Slika 1.

Ovo rješenje je jednostavno i ekonomično, a velika mu je prednost da i u slučaju proboja odvodnika štićeni vod ostaje u pogonu sa samim iskrištem kao prenaponskom zaštitom.
U ENEL-u obavlja se montaža ovih odvodnika na postojeća iskrišta čak i bez prekida pogona. Treba napomenuti da su odvodnici izvedeni u kompozitnom kućištu pa su vrlo lagani.
Na sl. 2. prikazan je preostali napon između faze i zemlje (V_t) za vrijeme prorade uređaja. Pri tome je:

$$V_t = V_g + V_a$$
$$V_g = K_2 + K_3 I^{-1},$$

gdje su K_2 i K_3 konstante određene mahom materijalom elektroda i duljinom luka.



Slika 2.

U regiji gdje su provedena ispitivanja

$$V_a = K_1 I^{1/\alpha},$$

gdje je K_1 konstanta, a α koeficijent nelinearnosti metaloksida u MO odvodniku.
Dimenzioniranje kompozitnog MO odvodnika na iskrištu je funkcija sljedećih zahtjeva:

— eliminiranje prateće struje
  Pogonska karakteristika kompozitnog odvodnika na iskrištu odabrana je, naime, tako da je gašenje luka iza prolaza impulsne struje momentalno. To se postiže odgovarajućim odnosom minimalne vrijednosti napona MO odvodnika spram vršne vrijednosti napona na vodu.
— otpornost u slučaju nepredvidivoga kratkog spoja iskrišta što stavlja odvodnik na trajni fazni napon odnosno i prenapon u slučaju kvara na mreži.
— otpornost na kratkotrajne strujne udare 65 ili 100 kA (4/10μs)
— u slučaju ENEL-a mogućnost montaže na iskrište bez prekida pogona.

U izvedbi odvodnik u FCL zaštiti je kraći od klasičnog odvodnika jer se ne nalazi pod stalnim naponom. On je, međutim, istog promjera kao i klasični jer su strujna opterećenja u oba slučaja identična.

4. POGONSKA ISKUSTVA

Spomenuta ispitivanja ENEL-a obavljena su tijekom dvije godine na mreži 20 kV.
Promatrane su četiri sekcije voda na udaljenosti od 7 do 16 km od transformatorske stanice. Vrijednost jednofazne struje kvara iznosila je 27 do 122 A.
U prvoj godini ispitivanja korištena su iskrišta kao prenaponska zaštita, a u drugoj godini su iskrišta zamijenjena SiC odvodnicima i MO odvodnicima na iskrištima.
Rezultati ispitivanja s raznim vrstama zaštite dani su u tablici 1. Vidljivo je da za pojedine sekcije voda smanjenje broja kratkotrajnih prekida pogona iznosi približno 60 %.

Tablica 1.

Vod	Doz. struja A	Dulj. sekcije km	Udaljen. od TS km	broj zaštit. ured.	Prva godina		Druga godina	
					tip. ured.	broj kvar.	tip. ured.	broj kvar.
A	84	4,3	9,8	6	I	17	II	13
B	122	3,4	6,9	10	I	35	III	8
C	27	4,0	7,6	5	I	66	II	22
D	75	3,7	10,6	3	I	19	III	8

I. iskrišta
II. SiC odvodnik
III. kompozitni odvodnik na iskrištu

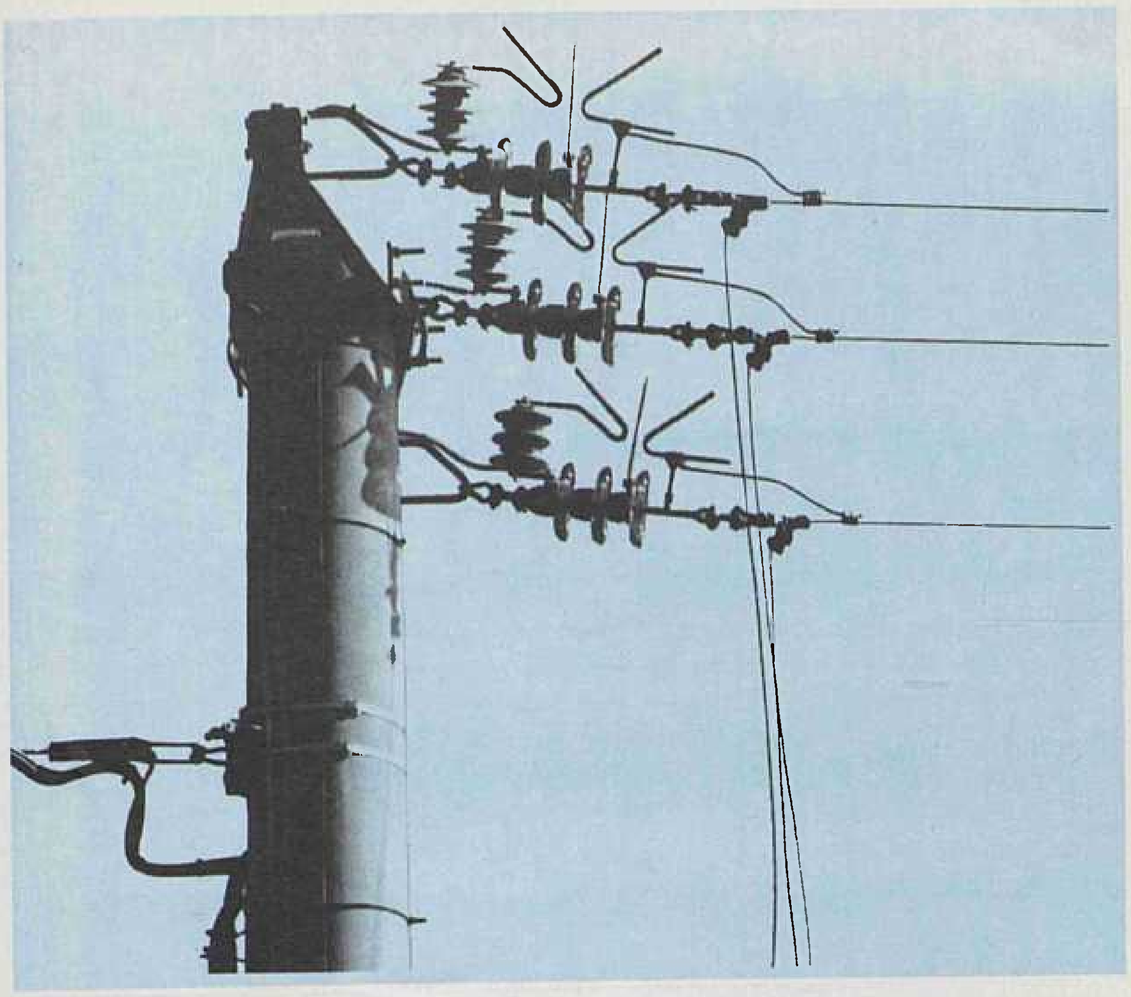
Rezultati ovog ispitivanja u ENEL-u pokazali su sljedeće prednosti ovoga specifičnog rješenja:

— dobre pogonske značajke
— znatno ograničenje starenja, jer odvodnik nije pod stalnim naponom
— osigurana prenaponska zaštita i kad odvodnik probije
— niža cijena od klasičnih rješenja, što je osobito naglašeno kad se odvodnici montiraju na postojeća iskrišta.

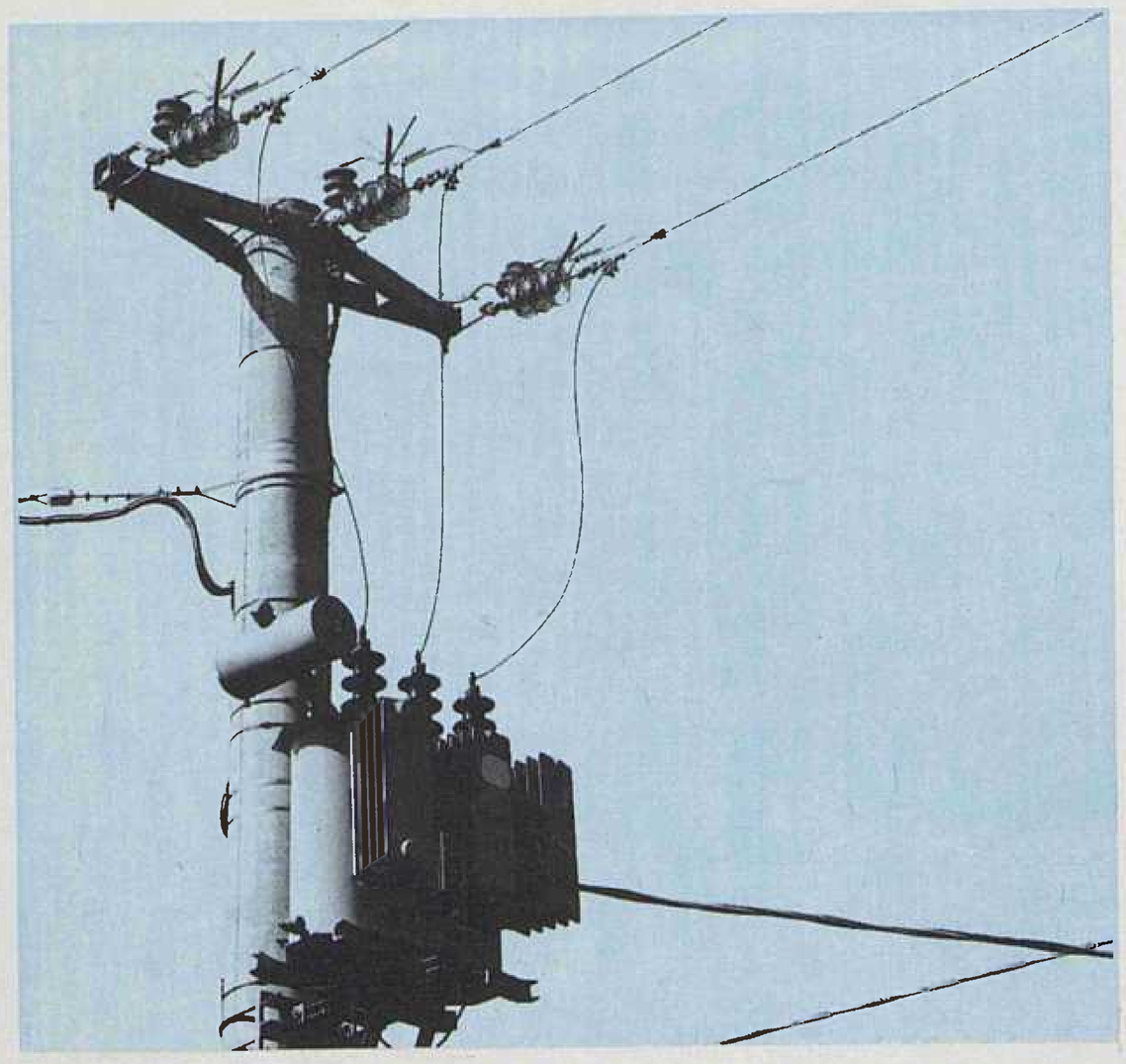
Ipak, uz nabrojene prednosti postoje i mane ovog rješenja. Naime, klasična zaštita MO odvodnikom ima povoljniju karakteristiku djelovanja, što se oči-

Energija, god. 43 (1994) 3, 159 – 161

tuje u limitiranju tjemene vrijednosti napona na vodu.
Na sl. 3. i 4. pokazana su dva primjera FCL zaštite u mreži ENEL-a.



Slika 3.



Slika 4.

5. ZAKLJUČAK

Očito je da postojeću zaštitu sa SiC odvodnicima u našoj srednjonaponskoj mreži treba mijenjati i da tendencija ide prema MO odvodnicima. Pri odabiru najpovoljnijih rješenja treba razmotriti tehnoekonomske i pogonske prednosti i mane svih rješenja: kako onih navedenih u [1], tako i FCL rješenja s odvodnikom u seriji s iskrištem. Na temelju te analize treba se odlučiti za optimalno rješenje u cijeloj mreži ili, možda, za specifična rješenja u pojedinim dijelovima mreže.

LITERATURA

[1] M. PUHARIĆ, S. ŽUTOBRADIĆ: »Suvremene tendencije u razvoju prenaponske zaštite distribucijskih postrojenja«, *Energija* br. 2, 1994.

[2] N. JANKOVIĆ, D. FILIPOVIĆ, D. HRVIĆ, S. STEVANOVIĆ, M. ŠENČOVIĆ: »Razvoj i primena metode i uređaja za ispitivanja odvodnika prenapona u pogonu«, Savjetovanje JUKO CIGRE Neum, 1991.

[3] I. HRS, V. KOMEN: »Primjena metaloksidnih odvodnika za prenaponsku zaštitu distributivnih mreža«, I savjetovanje HK CIGRE Zagreb, 1993.

[4] I. BISIACH, G. GUIZZO, M. ALFIERI, Z. LODI, R. JOULIE, P. PARRAUD: »Improvement of service quality by the use of composite ZnO surge arresters on horn gaps«, 8th International Symposium on High Voltage Engineering Yokohama, Japan, 1993.

CONTRIBUTION TO OVERVOLTAGE PROTECTION OF THE MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION SUBSTATIONS

Composite metal oxide surge arrester mounted in a series with the horn air-gap and monitoring program which has been performed during two years on a part of 20 kV distribution network of ENEL is described.

BEITRAG ZUM VORSPANNUNGSSCHUTZ DER VERTEILUNGSANLAGEN DER MITTELSPANNUNG

Hier wird der komposite metalloxyde Ableiter in der Serie mit dem Funkenpunkt und das Programm der Experimente die im Laufe von zwei Jahren im Teil 20 Kv des Netzes ENEL durchgeführt wurden beschrieben.

Naslov pisca:

Dr. Zorko Cvetković, dipl. ing.
41000 Zagreb, Medvešćak 55,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-03-25

PRORAČUN PARAMETARA VIŠESTRUKIH NADZEMNIH VODOVA OSOBNIM RAČUNALOM

Dr. Srete Nikolovski, Osijek

UDK 621.315.1.001 :681.3.06

PREGLEDNI ČLANAK

Prikazan je matematički model za proračun parametara višestrukih nadzemnih trofaznih sustava s programom za osobno računalo.
Program se koristi Carsonovim modelom nadzemnog voda s utjecajem zemlje i obuhvaća frekvencijsku ovisnost parametara voda. Poznavanje parametara nadzemnih vodova nužno je za studij tokova snaga, studij kratkih spojeva, studij stabilnosti i druge proračune.
Zbog ratnih razaranja dokumentacija o pojedinim vodovima je uništena, a izgrađeni su mnogi novi vodovi napona 110 kV i 220 kV. Kako su oni neprekidno u pogonu, nije moguće obaviti mjerenja parametara vodova, pa se pristupilo njihovu proračunu pomoću programa »Line Constants«. Program je primijenjen na dva konkretna dalekovoda, a to su, dvosistemski vod 110 kV, Osijek1 – Osijek3 i novoizgrađeni vod 110 kV pod oznakom 505/5.

Ključne riječi: višestruki sustav, nadzemni vod, parametri voda, osobno računalo.

1. UVOD

Zbog ratnih razaranja godine 1991. potpuno su uništeni ili znatno oštećeni objekti u prijenosnoj mreži elektroprijenosnog područja Osijeka. Prijetila je opasnost od potpunog prekida u opskrbi električnom energijom Osijeka i njegove uže i šire okolice. Zbog toga je odlučeno da se izgrade objekti koji bi osigurali redovitu i nesmetanu opskrbu tog područja električnom energijom. Projekt je obuhvaćao izgradnju 110 kV dalekovoda (nazvan interventni vod 505), 220 kV dalekovoda s transformacijom 220/110 kV (objekt 1505/2) i transformatorski objekt 110/35 kV. Dalekovodna mreža 110 kV poslije je proširena te su vodovi dobili oznake: 505/1, 505/2, 505/3, 505/4, 505/5. Zbog hitnosti situacije predviđeni projekt trebalo je od zamisli do ostvarenja izvesti u što kraćem roku.

Posla su se prihvatili djelatnici »Elektroprijenosa« Osijek, te je od odluke do puštanja u pogon proteklo 22 dana za objekt 505, a 44 dana za objekt 1505/2. Kratkoća izvođenja radova je još izraženija kada se zna da su radovi izvođeni u tijeku najžešćih borbi za obranu Osijeka i cijele regije, pa su se često izvođači radova nalazili pod izravnim djelovanjem neprijateljskog topništva. Ukupno je u ovim projektima izgrađeno 30-ak km prijenosne mreže i dva transformatorska objekta.

Projekti su dovršeni i vodovi izgrađeni, a ostali su nepoznati parametri prijenosnih vodova koji su potrebni u raznim proračunima. Postojanje programa ATP 20 (Alternativni tranzijentni program) koji vrlo brzo, djelotvorno i točno proračunava parametre prijenosnih nadzemnih vodova omogućilo je da se priđe izračunavanju parametara nadzemnih vodova. Za praktični primjer odabrani su proračuni parametara voda 505/5 koje nije trenutno moguće izmjeriti, te parametara dvosistemskog voda Osijek1 – Osijek3.

Korišteni software jest program LINE CONSTANTS koji je samo mali dio mnogo većeg i snažnijeg programa ATP 20. Izlazni podaci ovog programa nalaze primjenu u sljedećim analizama:

1. stacionarna stanja pri nazivnoj frekvenciji sa složenim efektima sprezanja,
2. kod problema stacionarnih stanja za više frekvencije,
3. kod problema prijelaznih pojava.

Osim slučaja kada su parametri vodova bili nepoznati za već izgrađene vodove, program se može koristiti i za modeliranje linija u samim projektima, pa je uočljiva velika važnost u svezi s projektiranjem, gradnjom i razvijanjem elektroenergetskog sustava.

2. MATEMATIČKI MODEL

Pad napona duž prijenosnog voda može se napisati u obliku parcijalne diferencijalne jednadžbe:

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = R'\mathrm{i} + L'\frac{\partial i}{\partial t}, \qquad (1)$$

gdje je:

R' — djelatni otpor voda po jedinici dužine
L' — induktivitet voda po jedinici dužine.

Parametri voda R' i L' nisu konstantni, već su ovisni o frekvenciji. Za stacionarna stanja pri trofaznim izmjeničnim naponima pad napona se može izraziti u obliku fazorske jednadžbe. Za primjer dvosistemskog voda s jednim zaštitnim užetom (sl. 1) jednadžba 1 prelazi u matričnu jednadžbu:

$$-\begin{bmatrix} \frac{D V_1}{Dx} \\ \frac{D V_2}{Dx} \\ \dots \\ \frac{D V_7}{Dx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_{11} & Z'_{12} & \dots & Z'_{17} \\ Z'_{21} & Z'_{22} & \dots & Z'_{27} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z'_{71} & Z'_{72} & \dots & Z'_{77} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_7 \end{bmatrix} \quad (2)$$

gdje je:

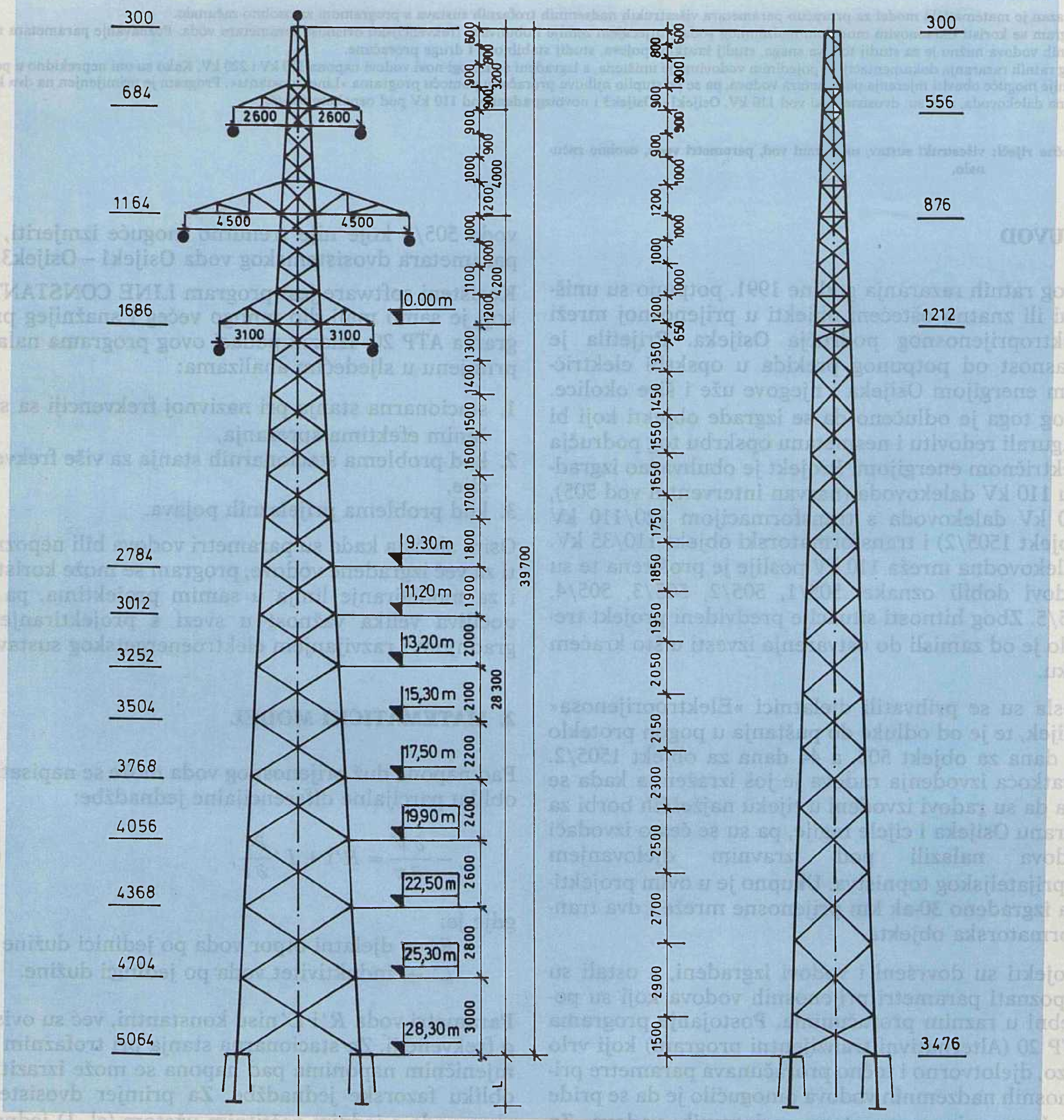
V_i — fazor napona, mjeren od i-tog vodiča prema referentnoj zemlji

I_i — fazor struje kroz i-ti vodič

Z'_{ii} — vlastita impedancija i-tog vodiča

Z'_{ik} — međusobna impedancija vodiča »i« i »k«

Za izračunavanje elementa matrice uzdužnih impedancija postoji nekoliko izraza. To su izrazi što su ih razvili Carson, Polaček te Hartenstein, Koglin i Rees, i Gary, Tevan, Semlyen i Castenheir. Svaka od metoda ima svoje prednosti i mane, ali sve daju približno iste rezultate. Program LINE CONSTANTS koristi Carsonovu metodu. Maksimalna razlika među rezultatima dobivenim Carsonovom metodom i metodom Gary, Dery i ostalih je 9%, i to u opsegu frekvencija od 100 Hz do 10 kHz, a na drugim područjima biva i niža. Carsonova metoda za homogenu zemlju je dovoljno točna za proračun parametara energetskog voda, posebno zato što su podaci o višeslojnosti zemljišta rijetko dostupni. Ako se želi analizirati utjecaj višeslojnog tla, može se koristiti program CABLE



Slika 1. Skica nosećeg stupa Nc 15

CONSTANTS koji uzima u razmatranja tri sloja tla. Uzdužna impedancija 7 vodiča je izražena formulom (2). Njezini članovi (elementi) se izračunavaju Carsonovim formulama:

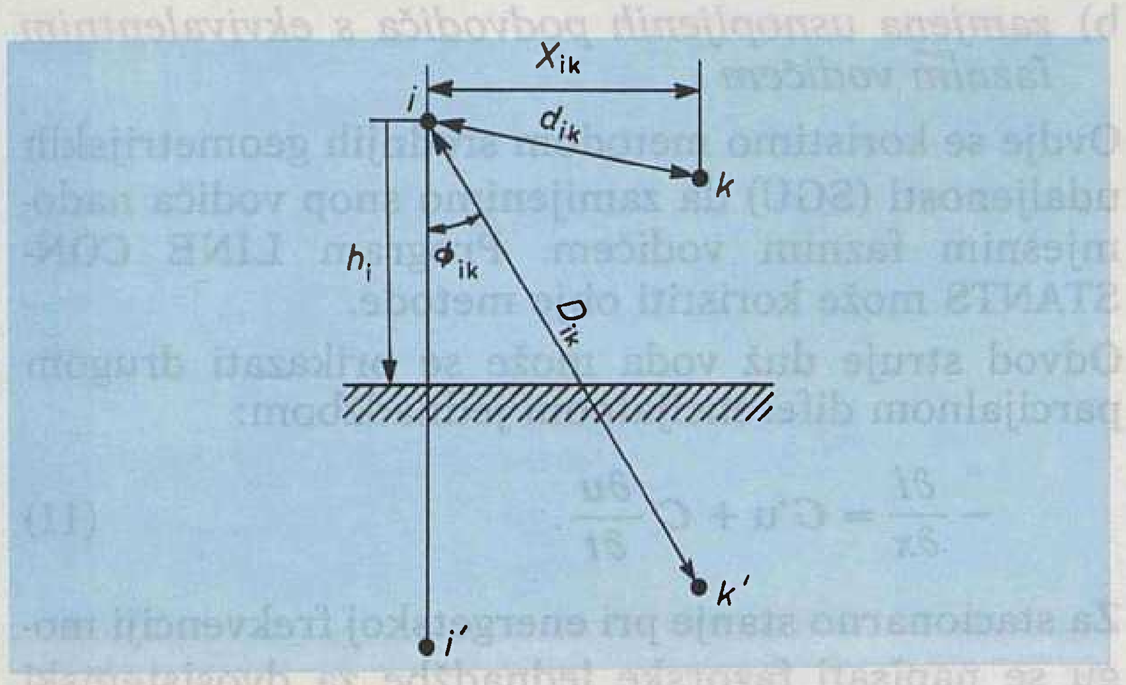
za vlastitu impedanciju i-tog vodiča

$$Z'_{ii} = (R'_{i-un} + \Delta R'_{ii}) + j\,(\omega \frac{\mu 0}{2\pi} \ln \frac{2h_i}{SGR_i} + \Delta X'_{ii}) \qquad (3)$$

za međusobnu impedanciju i-tog i k-tog vodiča

$$Z'_{ik} = Z'_{ki} = \Delta R'_{ik} + j\,(\omega \frac{\mu 0}{2\pi} \ln \frac{2D_{ik}}{d_{ik}} + \Delta X'_{ik}) \qquad (4)$$

koristeći $\frac{\mu 0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-4}$ (H/km) dobijemo vrijednosti u Ω/km.



Slika 2. Geometrija vodiča

Udaljenosti u relacijama (3) i (4) prikazane su na slici 2.

gdje je:

R_{i-un} — izmjenična otpornost vodiča »i« u Ω/km

h_i — srednja visina iznad zemlje vodiča »i«

D_{ik} — udaljenost između vodiča »i« i slike vodiča »k«

d_{ik} — udaljenost između vodiča »i« i »k«

SGR_i — srednji geometrijski radijus vodiča »i«

$\omega = 2\pi f$ gdje je f — frekvencija mreže u Hz

$\Delta R'$, $\Delta X'$ — Carsonovi korekcijski faktori uslijed efekta povratnog puta kroz zemlju.

Srednja visina vodiča »i« iznad zemlje određuje se po izrazu:

h_i = visina pri max. provjesu + 1/3 provjesa (5)

Carsonovi korekcijski faktori ($\Delta R'$ i $\Delta X'$) predstavljaju zemljopovratni efekt i funkcija su kuta Φ ($\Phi = 0$ za vlastitu impedanciju, $\Phi = \Phi_{ik}$ za međusobnu impedanciju, sl. 2.) i parametra »a«:

$$a = 4\pi\sqrt{5}\ 10^{-4}\ D\sqrt{\frac{f}{\rho}}, \qquad (6)$$

gdje je:

$D = 2h_i$ u (m) za vlastitu impedanciju

$D = D_{ik}$ u (m) za međusobnu impedanciju

ρ — specifični otpor tla u (Ωm).

$\Delta R'$ i $\Delta X'$ postaju nula kada »a« teži u beskonačnost (slučaj vrlo niske otpornosti tla). Carson daje neodređeni integral za $\Delta R'$ i $\Delta X'$ koji je razvio unutar umnoška četiri neograničena reda za $a \leq 5$. Dotjerano za lakše korištenje to možemo napisati kao jedan red, te za impedanciju u Ω/km postaje:

$$\Delta R' = 4\omega 10^{-4}\Big\{\frac{\pi}{8} - b_1 a \cos\Phi + b_2[(c_2 - \ln a)\,a^2 \cdot \cos 2\Phi + \Phi a^2 \sin 2\Phi] + b_3 a^3 \cos 3\Phi - d_4 a^4 \cos 4\Phi - b_5 a^5 \cos 5\Phi + b_6[(c_6 - \ln a)\,a^6 \cos 6\Phi + \Phi a^6 \sin 6\Phi] + b_7 a^7 \cos 7\Phi - d_8 a^8 \cos 8\Phi - \ldots\Big\}\ [\Omega/\mathrm{km}]$$

$$\Delta X' = 4\omega 10^{-4}\Big\{\frac{1}{2}(0{,}6159315 - \ln a) + b_1 a \cos\Phi - d_2 a^2 \cos 2\Phi + b_3 a^3 \cos 3\Phi - b_4[(c_4 - \ln a)\,a^4 \cos 4\Phi + \Phi a^4 \sin 4\Phi] + b_5 a^5 \cos 5\Phi - d_6 a^6 \cos 6\Phi + b_7 a^7 \cos 7\Phi - b_8[(c_8 - \ln a)\,a^8 \cos 8\Phi + \Phi a^8 \sin 8\Phi] + \ldots\Big\}.$$

Svaki četvrti uzastopni član čini ponovljenu šablonu.

Koeficijenti b_i, c_i, i d_i su konstante koje mogu biti unaprijed izračunate i pohranjene u listama. Oni se dobivaju iz iterativnih izraza koji glase:

$b_i = b_{i-2}\,\frac{\text{sign}}{i\,(i+2)}$ sa početnom vrijednošću

$b_1 = \frac{\sqrt{2}}{6}$ za neparne članove

$b_2 = \frac{1}{16}$ za parne članove

$c_i = c_{i-2} + \frac{1}{i} + \frac{1}{i+2}$ sa početnom vrijednošću

$c_2 = 1{,}365\,9315$

$d_i = \frac{\pi}{4}\ b_i$,

gdje je:

sign = ± 1; predznak koji se mijenja nakon 4 člana (npr. sign = +1 za i = 1,2,3,4; sign = −1 za i = 5,6,7,8, . . .).

Trigonometrijske funkcije su računljive izravno iz geometrije:

$$\cos\Phi = \frac{h_i + h_k}{D_{ik}} \quad \text{i} \quad \sin\Phi_{ik} = \frac{x_{ik}}{D_{ik}},$$

te za više harmonike u nizu iz iterativnih izraza:

$$a^i \cos i\Phi = [a^{i-1}\cos(i-1)\Phi\cos\Phi - a^{i-1}\sin(i-1)\Phi\sin\Phi]\cdot a$$

$$a^{i} \sin i\,\Phi = [a^{i-1} \cos(i-1)\,\Phi \sin \Phi + a^{i-1} \sin(i-1)\,\Phi \cos \Phi] \cdot a$$

Za energetske vodove na industrijskoj frekvenciji potrebno je samo nekoliko članova ovog niza. Carsonov red konvergira izuzetno brzo.
Za energetske nadzemne vodove $a<0.2$ uzimamo za korekcijske faktore:
za radni dio $\pi/8$
za imaginarni dio $-0.0368 + 0.5\, a \ln(2/a)$.
Nakon sređivanja za elemente matrice uzdužne impedancije s utjecajem zemlje dobijemo izraz:

$$\dot{Z}_{ii-z} = R' + \pi^2 f 10^{-4} + \mathrm{j}\,(4\,\Pi\, f 10^{-4} \ln \frac{658}{r}\sqrt{\frac{\rho}{f}} + X_u)\ [\Omega/\mathrm{km}] \tag{7}$$

$$\dot{Z}_{ik-\dot{z}} = \pi^2 f 10^{-4} + \mathrm{j}\, 4\,\Pi\, f 10^{-4} \ln \frac{658}{D_{ik}}\sqrt{\frac{\rho}{f}}\ [\Omega/\mathrm{km}], \tag{8}$$

gdje je:
R' — jedinični djelatni otpor vodiča (Ω/km)
ρ — specifični otpor zemlje (Ωm)
$X_u = 2\,\Pi\, f L_u = 4\,\Pi\, f 10^{-4} \ln \frac{1}{4}$ unutarnja reaktancija vodiča.

Dvosistemski trofazni vod s jednim zaštitnim užetom koji spaja transformatorske stanice 110/35 kV, Osijek1 – Osijek3 sastoji se od 7 vodiča. Svaka od 6 faza sastoji se od jednog vodiča Al-če nazivnog presjeka 240/40 mm². Zaštitno uže je jednostruko od AlMg1E/č presjeka 95/55 mm². Matrica impedancija bit će dimenzija 7×7.
Vrijednosti pojedinih elemenata matrice određuju se prema izrazima (7) i (8), pa je samim time utjecaj zemlje uzet u obzir. Zaštitno uže je uzemljeno, pa je napon na njemu jednak nuli. To nam omogućuje da se riješimo retka i stupca zaštitnog užeta blok-transformacijom. Matrice i vektore u izrazu (2) podijelimo na skup »n« neuzemljenih vodiča i na skup »g« zaštitnog užeta:

$$-\begin{bmatrix} \mathrm{d}V_n/dx \\ \mathrm{d}V_g/\mathrm{d}x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [Z'_{nn}] & [Z'_{ng}] \\ [Z'_{gn}] & [Z'_{gg}] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_n \\ I_g \end{bmatrix} \tag{9}$$

Budući da su V_g i $\mathrm{d}V_g/\mathrm{d}x$ jednaki nuli, matrična jednadžba može biti reducirana eliminiranjem I_g:

$$-\left[\frac{\mathrm{d}V_n}{\mathrm{d}x}\right] = [Z'_{red}] \cdot [I_n] \tag{10}$$

gdje je: $[Z'_{red}] = [Z'_{uu}] - [Z'_{ug}] \cdot [Z'_{gg}]^{-1} \cdot [Z'_{gu}]$.

U programu LINE CONSTANTS koristi se Gauss-Jordanova metoda redukcije. Na sl. 1. prikazan je dvosistemski vod s transformacijom zaštitnog užeta.

Ako su nadzemni vodovi izvedeni s faznim vodičima u snopu, program LINE CONSTANTS ima mogućnost proračuna parametara vodova s usnopljenim vodičima. Snopovi su obično simetrični, ali se pojavljuju i nesimetrični, snopovi. Postoje dvije metode koje koristimo za proračun parametara usnopljenih vodiča:

a) *grupiranje podvodiča pomoću redukcije matrica vodiča*

Kod ove metode parametri se izvorno izračunavaju sa svakim podvodičem predstavljenim kao poseban vodič. Sve dok je napon jednak na podvodičima unutar snopa, jednakost napona tada koristimo za reduciranje reda matrice na broj »ekvivalentnih faznih vodiča«.

b) *zamjena usnopljenih podvodiča s ekvivalentnim faznim vodičem*

Ovdje se koristimo metodom srednjih geometrijskih udaljenosti (SGU) da zamijenimo snop vodiča nadomjesnim faznim vodičem. Program LINE CONSTANTS može koristiti obje metode.
Odvod struje duž voda može se prikazati drugom parcijalnom diferencijalnom jednadžbom:

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G'u + C'\frac{\partial u}{\partial t}. \tag{11}$$

Za stacionarno stanje pri energetskoj frekvenciji mogu se napisati fazorske jednadžbe za dvosistemski vod:

$$-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}V}\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} & \dots & Y'_{17} \\ Y'_{21} & Y'_{22} & \dots & Y'_{27} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y'_{71} & Y'_{72} & \dots & Y'_{77} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_7 \end{bmatrix} \tag{12}$$

gdje je:
$Y'_{ii} = G'_{ii} + \mathrm{j}B'_{ii}$ vlastita admitancija i-tog vodiča
$Y'_{ik} = G'_{ik} + \mathrm{j}B'_{ik}$ međusobna admitancija i-tog i k-tog vodiča

Kako se odvod često zanemaruje, ostaje matrica susceptancija $[B'] = \omega[C']$ s elementima $B'_{ii} = \omega C'_{ii}$, $B'_{ik} = \omega C'_{ik}$.
Za nalaženje elemenata matrice kapaciteta programa LINE CONSTANTS koristi verziju Gauss-Jordanove metode za matričnu inverziju: $[C'] = [P']^{-1}$. Odabrana je ova metoda jer je jednostavna čak i za ručnu pretvorbu u eliminaciji zaštitnog užeta i usnopljavanju vodiča. Matrica kapaciteta C' je u čvornom obliku. To znači da su dijagonalni elementi C'_{ii} suma poprečnih kapaciteta po jedinici dužine između vodiča »i« i svih drugih vodiča, kao i zemlje, a izvandijagonalni elementi $C'_{ik} = C'_{ki}$ su negativni međusobni kapaciteti po jedinici dužine između vodiča »i« i »k«.
Elementi matrice potencijalnih koeficijenata dani su izrazom

$$P_{ii} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{2h_i}{r_i} = 18 \cdot 10^9 \ln \frac{2h_i}{r_i} \tag{13}$$

$$P_{ik} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{D_{i'k}}{D_{ik}} = 18 \cdot 10^9 \ln \frac{D_{i'k}}{D_{ik}}, \qquad (14)$$

Najčešće odvod uopće ne uzimamo u obzir, tj. $[G',\text{vodiča}]=0$. Tada se matrice $[B',123456]$ i $[B',123]$ dobivaju transformacijom iz matrice potencijalnih koeficijenata. Za vodove Osijek1-Osijek3 i 505/5 matrice su dimenzija 7×7 i 3×3. Blok-transformacijom jednakom kao za uzdužnu matricu impedancija rješavamo se zaštitnog užeta i eventualno usnopljenih vodiča. Tu metodu koristi i program LINE CONSTANTS koji elemente potencijalnih koeficijenata izračunava iz geometrije vodiča.

$$[B'] = \omega[C'] = \omega[P']^{-1} \left[\frac{\text{S}}{\text{km}}\right]$$

Program LINE CONSTANTS izračunava i sljedeće parametre neovisne o duljini voda: valnu impedanciju, konstantu prigušenja, valnu brzinu i valnu dužinu prema relacijama.

Valna impedancija voda je

$$Z_v = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \qquad (15)$$

Konstanta rasprostiranja je

$$\gamma = \sqrt{Z'\,Y'} = \alpha + \text{j}\,\beta. \qquad (16)$$

Konstanta prigušenja je $\alpha = Re\{\gamma\}$ a fazna konstanta je $\beta = Im\{\gamma\}$.

Valna brzina je

$$v = \frac{\omega}{\beta}. \qquad (17)$$

Valna dužina je

$$\lambda = \frac{2\,\Pi}{\beta}. \qquad (18)$$

Kao što se razmatranje nesimetričnih prilika na vodovima može pojednostaviti pomoću sustava simetričnih komponenata, to se isto postiže i sa Clarkovim sustavom komponenata. No simetrične komponente nisu pogodne sve dok transformacije njihovom uporabom sadržavaju kompleksne koeficijente, te zbog toga nisu dobre za modeliranje prijelaznih pojava gdje su sve varijable realne. ATP koristi stoga transformaciju na α, β, 0 komponente. Za trofazni vod s jednim vodičem po fazi vrijede jednadžbe:

$$-\frac{dV_0}{dx} = Z'_{NUL}\, I_0$$
$$-\frac{dV_\alpha}{dx} = Z'_{DIR}\, I_\alpha \qquad (19)$$
$$-\frac{dV_\beta}{dx} = Z'_{DIR}\, I_\beta.$$

Transformacije faznih veličina na α, β, 0 — komponente glase:

$$[\upsilon_{fazno}] = [T]\,[\upsilon_{0\alpha,\beta}] \qquad [\upsilon_{0\alpha\beta}] = [T]^{-1}\,[\upsilon_{fazno}]$$
$$[i_{fazno}] = [T]\,[i_{0\alpha,\beta}] \qquad [i_{0\alpha\beta}] = [T]^{-1}\,[i_{fazno}] \qquad (20)$$

gdje su matrice transformacije:

$$[T] = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 0 \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

$$[T]^{-1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \sqrt{2} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \qquad (21)$$

Primjenom tih transformacija dobijemo matricu:

$$\begin{bmatrix} Z'_0 \\ Z'_\alpha \\ Z'_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_s + 2Z'_m & 0 & 0 \\ 0 & Z'_s - Z'_m & 0 \\ 0 & 0 & Z'_s - Z'_m \end{bmatrix} \qquad (22)$$

gdje je:

$Z'_0 = Z'_s + 2\,Z'_m$ impedancija nultog redoslijeda
$Z'_\alpha = Z'_\beta = Z'_{dir} = Z'_s - Z'_m$ impedancija direktnog redoslijeda.

Program ATP može biti korišten i za slučaj bilo kojeg broja faza (M). Za taj poopćeni slučaj α, β, 0 transformacija za M faza prikazana je matricom:

$$[T] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{M}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \cdots & \frac{1}{\sqrt{J(J-1)}} & \cdots & \frac{1}{\sqrt{M(M-1)}} \\ \frac{1}{\sqrt{M}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \cdots & \frac{1}{\sqrt{J(J-1)}} & \cdots & \frac{1}{\sqrt{M(M-1)}} \\ \frac{1}{\sqrt{M}} & 0 & \cdots & & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & 0 & \cdots & \frac{1}{\sqrt{J(J-1)}} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{1}{\sqrt{M}} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & \frac{1}{\sqrt{M(M-1)}} \end{bmatrix} \qquad (23)$$

Za dvosistemski trofazni vod, koji se najčešće aproksimira kao simetrirani vod matrica, impedancija ima oblik:

$$\begin{bmatrix} \bar{Z}'_s & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p \\ \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_s & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p \\ \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_s & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p \\ \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_s & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_m \\ \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_s & \bar{Z}'_m \\ \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_p & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_m & \bar{Z}'_s \end{bmatrix} \qquad (24)$$

Matricu impedancija dijagonaliziramo matricom transformacija za dvosistemski trofazni vod koja glasi:

$$[T] = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \sqrt{3} & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -\sqrt{3} & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & \sqrt{3} & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & -\sqrt{3} & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

te dobijemo:

$$\begin{bmatrix} Z'_{\text{NUL}} & - & - & - & - \\ - & Z'_{\text{DIR}} & - & - & - \\ - & - & Z'_{\text{DIR}} & - & - \\ - & - & - & \cdots & - \\ - & - & - & - & Z'_{\text{DIR}} \end{bmatrix} \quad (26)$$

gdje je Z'_{nul}, nulta komponenta impedancije, a sljedeći M-1 dijagonalni element direktna komponenta impedancije:

$$Z'_{\text{nul}} = Z'_{\text{s}} + (\text{M}-1)\, Z'_{\text{m}}$$
$$Z'_{\text{dir}} = Z'_{\text{s}} - Z'_{\text{m}} \quad (27)$$

Slično za kapacitete:

$$C'_{\text{dir}} = C'_{\text{s}} - C'_{\text{m}}$$
$$C'_{\text{nul}} = C'_{\text{s}} + (\text{M}-1)\, C'_{\text{m}} \quad (28)$$

3. PRORAČUN PARAMETARA VODOVA POMOĆU PROGRAMA »LINE CONSTANTS«

Kako bismo prikazali mogućnosti primjene programa LINE CONSTANTS na elektroničkom računalu u modeliranju viskonaponskih vodova, napravit ćemo dva praktična primjera proračuna konstanti već izgrađenih vodova. Na osnovi prikupljenih podataka o tim vodovima formira se ulazna datoteka podataka. Svi podaci o vodovima prikupljeni su u HEP-u, »Elektroslavoniji« Osijek, iz projektne dokumentacije.

Dvosistemski trofazni vod povezuje transformatorske stanice Osijek 1 i Osijek 3. Ukupna dužina promatranog voda je 3 499 m i ima ukupno 11 nosećih stupova, što znači da je raspon između stupova prosječno 313 m, a provjesi faznih vodiča iznose 7.8 m, a zaštitnog užeta 7.4 m. Dužina izolatorskog lanca je 1.5 m. Stupovi su čeličnorešetkasti tipa »bačva«, oznake Nc 15. Vod se sastoji od 6 faznih vodiča Al/č nazivnog presjeka 240/40 mm², i jednog zaštitnog užeta A1Mg1E/č nazivnog presjeka 95/55 mm². Izgled ulazne kartice vodiča dan je na sl. 3.

Ovaj vod ima ukupno 7 vodiča, 6 faznih i jedno zaštitno uže.

IP	SKIN	RESIS	IX	REACT	DIAM	HORIZ	VTOWER	VMID
metric		Ohm/km	vidi dalje		cm	m	m	m
13	F5.4	F8.5	12	F8.5	F8.5	F8.3	F8.3	F 8.3
1 2 3	4 5 6 7 8	9 0 1 2 3 4 5 6	7 8	9 0 1 2 3 4 5 6	7 8 9 0 1 2 3 4	5 6 7 8 9 0 1	2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8

Slika 3. Kartica vodiča

Svaki fazni vodič je izveden od jednog vodiča (nema vodiča u snopu).

IP: fazni broj vodiča. Unosimo sljedeće vrijednosti po karticama: 1, 2, 3, 4, 5, 6 za fazne vodiče, i 0 za zaštitno uže.

SKIN: Ovim podatkom određujemo utjecaj skin-efekta. Fazni vodiči su Al/č nazivnog presjeka 240/40 mm². Ukupni promjer vodiča je 21.9 mm. Plašt vodiča sastoji se od 2 sloja s ukupno 26 pletenih žica, svake promjera 3.45 mm. Jezgra vodiča sastoji se od 2 sloja s ukupno 7 žica, svaka promjera 2.68 mm. Iz tih podataka određujemo: D=2.184 (2.19) cm, T=0.69 cm te iz toga dobijemo iznos T/D=0.315. Uzdužni srednji električni otpor na 20 °C iznosi 0.1188 Ω/km što unosimo u polje RESIS. Zaštitno uže A1Mg1E/č nazivnog presjeka 95/55 mm².

Promjer cijelog užeta je 16.0 mm. Plašt se sastoji od jednog sloja s ukupno 12 žica, svaka promjera 3.20 mm. Jezgra se sastoji od 2 sloja s ukupno 7 žica, svaka promjera 3.20 mm. Iz tih podataka određujemo: D=16.0 cm, T=6.4 mm, te iz toga dobijemo T/D=0.4. Uzdužni srednji električni otpor na 20 °C iznosi 0.3412 Ω/km, što unosimo u polje RESIS.

U polje IX. unosimo podatak 4, što označava da je riječ o cjevastom vodiču. Polje REACT u ovom slučaju ostavljamo praznim.

U polje DIAM unosimo vrijednost vanjskog promjera vodiča.

U polje HORIZ unosimo podatke o udaljenostima vodiča.

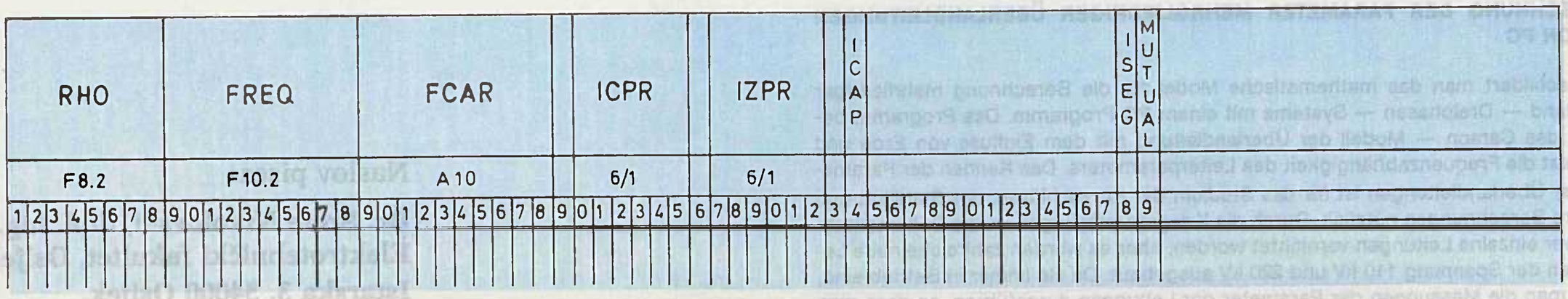
U polje VTOWER unosimo vertikalne udaljenosti vodiča od zemlje.

U polje VMID unosimo udaljenosti od centra vodiča do zemlje.

Nakon jedne prazne kartice dolazi frekventna kartica čiji je izgled dan slikom 4.

U polje RHO unosimo 50 (Ωm), što je otpornost zemljišta na trasi dalekovoda dobivena geološkim istraživanjima tla. U polje FREQ unosimo podatak 50 (Hz), što je frekvencija industrijskog napona. U polje FCAR unosimo 1, što znači da će program raditi s najvećom točnošću Carsonova korekcijskog faktora. U polje ICAP unosimo 1, a u ICPR 000111, što znači da želimo podatke o $[C]$, $[C_e]$, $[C_s]$. Polje DIST ostavljamo praznim. U polje IZPR unosimo 111000, što znači da želimo podatke o $[Z]$, $[Z_e]$, $[Z_s]$.

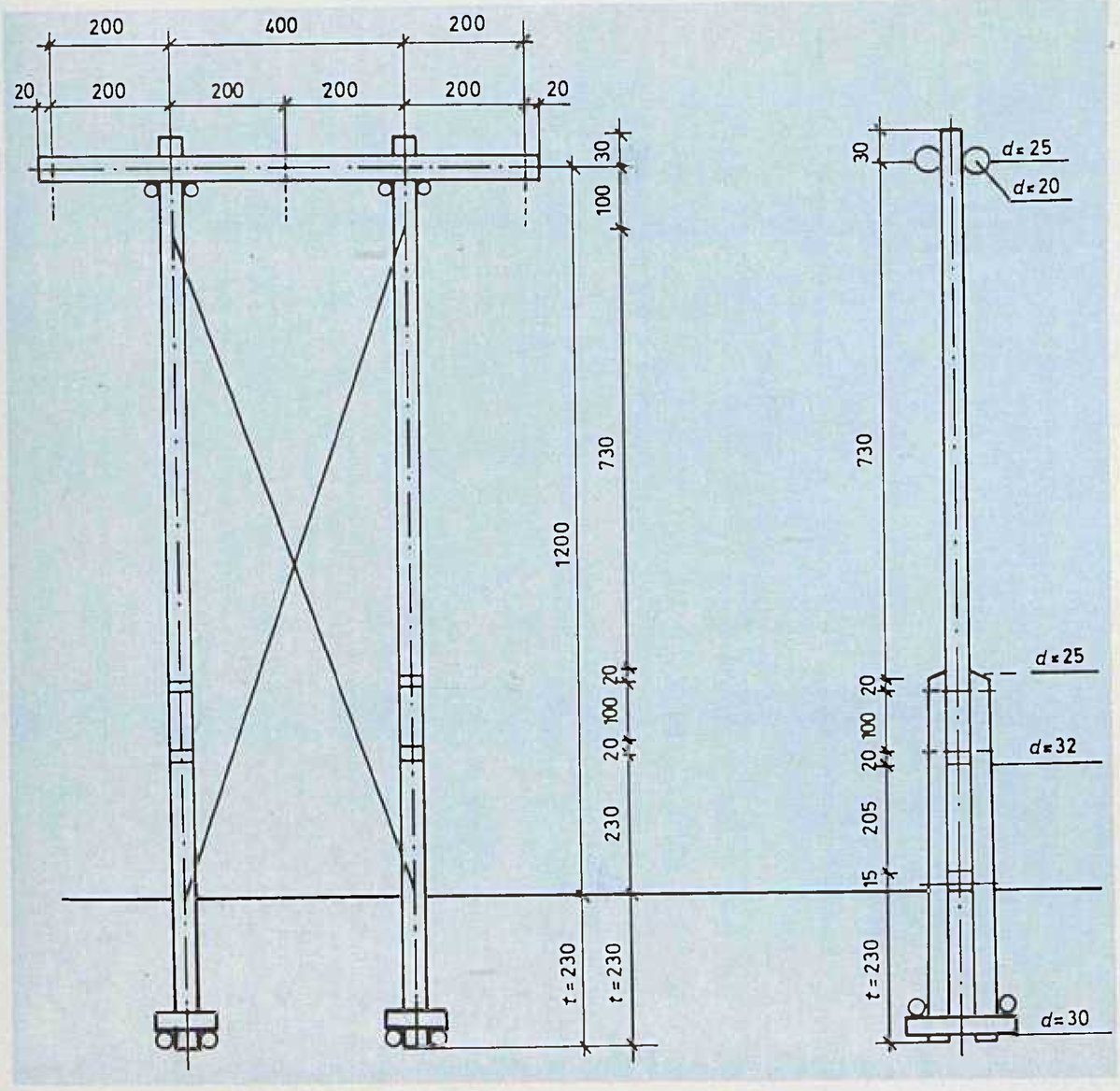
Interventni vod 505/5 rađen je tijekom domovinskog rata 1991/92. godine, u tijeku najžešćih borbi za ob-



Slika 4. Kartica frekvencija

ranu grada Osijeka. Izgradnjom sistema od pet interventnih vodova, pod oznakama 505/1,2,3,4,5 te tajnom transformatorskom stanicom Osijek 4, djelatnici HEP-a uspjeli su osigurati redovitu opskrbu grada Osijeka električnom energijom iako je situacija bila kritična, pogotovo nakon gubitka transformatorske stanice Ernestinovo i gotovo potpunog okruženja grada.

Nazivni napon voda je 110 kV, ukupna dužina voda 4670 m, s ukupno 32 drvena noseća stupa. Skica stupa dana je na slici 5. Vodiči su Al/č $3 \times 240/40$ mm². Prosječni raspon između dva stupa iznosi 146 m, a provjes vodiča 1.5 m.



Slika 5. Skica nosećeg portalnog stupa ND.110

Izlazni rezultati prikazani su listama u prilogu.
Iz izlaznih lista vidimo donje trokute matrica susceptancija (ili kapaciteta) i matrica impedancija kako za kompletan sustav vodiča dvosistemskog voda sa zaštitnim užetom, tako i za reducirani sustav s eliminiranim zaštitnim užetom. Ti parametri mogu se koristiti pri izračunu elemenata zamjenske sheme voda u proračunu tokova snaga u mreži. Lista daje i vrijednosti nulte, direktne i inverzne komponente matrice impedancije dvosistemskog voda koje se mogu koristiti pri proračunu kratkih spojeva u mreži. Za studije prijelaznih pojava kada se uzimaju efekti putnih valova (prenaponi) koristi se zadnji dio izlazne liste i podaci o valnim karakteristikama voda. Podaci o valnim karakteristikama voda dani su za nulti i direktni sustav komponenata.

4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan matematički model i program za osobno računalo LINE CONSTANTS koji izračunava točno parametre nadzemnih vodova, uzimajući u obzir i njihovu frekvencijsku ovisnost i utjecaj tla. Program koristi Carsonovu metodu i može izračunati parametre kako jednostrukih, tako i višestrukih vodova. Program je iskorišten za proračun parametara konkretnih nadzemnih vodova jednoga dvosistemskog voda i novoizgrađenoga jednostrukoga interventnog voda. Kako se vodovi zbog kontinuiteta opskrbe ne mogu isključiti da bi se mjerenjem odredili parametri vodova, to je potreba za ovakvim proračunima očevidna. Modelom se mogu izračunati kapaciteti, susceptancije, impedancije svih vodiča, zatim ekvivalentnih vodiča (eliminiranjem zaštitnog užeta i snopa ako postoji), kao i njihove simetrične komponente i valne karakteristike voda.

LITERATURA

[1] M. OŽEGOVIĆ: »Električne mreže 1«, ETF Split, 1990.
[2] »Alternative Transients Program«, Rule Book, K. U. Leuven EMTP Center, 1987.
[3] M. KALEA: »Izgradnja privremene transformacije povodom ratnih razaranja mreže«, Prvo savjetovanje HK CIGRE, Zagreb, 1993.
[4] M. RADKO: »Napajanje konzuma Hrvatske elektroprivrede DP Elektroslavonije Osijek do 1995. godine«, Prvo savjetovanje HK CIGRE, Zagreb, 1993.

CALCULATION OF MULTIPLE OVERHEAD LINE PARAMETERS USING PERSONAL COMPUTER

The mathematical model for parameter calculation of multiple overhead three-phase system by personal computer programme is described.
The programme uses Carson's model of the overhead line influenced by earth and it takes into account frequency dependence of the line's parameters. Knowledge of overhead line parameters is needed for the study of load flows, short circuits, stability and other calculations.
Because of the war, documentation of certain lines has been destroyed and a lot of new lines at 110 kV and 220 kV voltage have been constructed. These new lines are in operation constantly and it is not possible to organize line parameters measurement, so their calculation is made using programme package »Line Constants«. This programme has been applied to two real transmission lines, the are: double-system 110 kV line, Osijek 1 — Osijek 3 and new constructed 110 kV line labelled 505/5.

Energija, god. 43 (1994) 3, 163 – 170

BERECHNUNG DER PARAMETER MEHRGLIEDRIGER ÜBERLANDLEITUNGEN DURCH PC

Hier schildert man das mathematische Model für die Berechnung mehrliedriger Überland — Dreiphasen — Systeme mit einem PC Programm. Das Programm benutzt das Carson — Modell der Überlandleitung mit dem Einfluss von Erde und umfasst die Frequenzabhängigkeit des Leiterparameters. Das Kennen der Parameter der Überlandleitungen ist für das Studium der Kurzschlüsse, der Stabilität und andere Berechnungen nützlich. Durch die Kriegszerstörungen ist die Dokumentation über einzelne Leitungen vernichtet worden, aber es wurden zahlreiche neue Leitungen der Spannung 110 kV und 220 kV ausgebaut. Da sie immer in Betrieb sind, kann man die Messungen der Parameter der Leitungen durchführen, so dass man die Berechnung durch das Programm »Line Constants« durchführte. Das Programm wurde an zwei konkreten Überlandleitungen angewendet und zwar an dem Zwei — System — Leitung 110 Kv, Osijek 1 Osijek 3 und die neuerbaute Leitung 110 kV mit dem Kennzeichen 505/5.

Naslov pisca:

Dr. Srete Nikolovski, dipl. ing.
Elektrotehnički fakultet, Osijek
Istarska 3, 54000 Osijek,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-01-05.

```
Alternative Transients Program (ATP). Salford 80386 translation.  All rights reserved by LEC User Group of Leuven, Belgium.
 Date (dd-mth-yy) and time of day (hh.mm.ss) = 30-Sep-93  10.01.38    Name of disk plot file, if any, is D:BATPDBN.PL4
Consult the 800-page ATP Rule Book of LEC (Leuven, Belgium).  UTPF is not older than October, 1992. LEC corrections are not older
than May 1993.
Total size of LABCOM tables =  2280555   INTEGER words.   VARDIM  List Sizes follow :   5002  6000 10000  1000 50000   300
 14000  35000 1500 3200 1000 1000100000   400 72000   800    80   100  32000  13200  2000  3000 80000    60  8000  1680    20  640
-------------------------------------------------+-----------------------------------------------------------------------------
Descriptive interpretation of input data cards.  d  Input data card images are shown below, all 80 columns, character by charact-
                                                 0       1       2       3       4       5       6       7
                                                 01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
-------------------------------------------------+-----------------------------------------------------------------------------
Comment card.   KOMPAR = 1.                      dC data:D:BATPDBNCHMARK=KUP0.DAT
Marker card preceding new EMTP data case.        dBEGIN NEW DATA CASE
Compute overhead line constants.  Limit = 100    dLINE CONSTANTS
Request for metric (not English) units.          dMETRIC
Comment card.   KOMPAR = 1.                      dC  ****KARTICE VODICCA****
Line conductor card.  3.160E-01  1.185E-01    4  d  10.316  0.1188 4          2.19   -2.6   35.00   28.18
Line conductor card.  3.160E-01  1.185E-01    4  d  20.316  0.1188 4          2.19   -4.5   31.00   24.18
Line conductor card.  3.160E-01  1.185E-01    4  d  30.316  0.1188 4          2.19   -3.1   26.80   19.00
Line conductor card.  3.160E-01  1.185E-01    4  d  40.316  0.1188 4          2.19    2.6   35.00   28.18
Line conductor card.  3.160E-01  1.185E-01    4  d  50.316  0.1188 4          2.19    4.5   31.00   24.18
Line conductor card.  3.160E-01  1.185E-01    4  d  60.316  0.1188 4          2.19    3.1   26.80   19.00
Line conductor card.  2.060E-01  3.412E-01    4  d  00.206  0.3412 4          1.60    0.0   39.70   32.33
Blank card terminating conductor cards.          d
Comment card.   KOMPAR = 1.                      dC 345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456
Comment card.   KOMPAR = 1.                      dC       1       2       3       4       5       6       7
Comment card.   KOMPAR = 1.                      dC  ***FREKVENTNA KARTICA**
Frequency card.  5.000E+01  5.000E-01  0.000E+00  d   50.0      50.0         1   111 111    0       0
```

Line conductor table after sorting and initial processing.

Table Row	Phase Number	Skin effect R-type	Resistance R (ohm/km)	Reactance data specification X-type	X(ohm/km) or GMR	Diameter (cm)	Horizontal X (mtrs)	Avg height Y (mtrs)	Name
1	1	0.31600	0.11880	4	0.000000	2.19000	-2.600	30.453	
2	2	0.31600	0.11880	4	0.000000	2.19000	-4.500	26.453	
3	3	0.31600	0.11880	4	0.000000	2.19000	-3.100	21.600	
4	4	0.31600	0.11880	4	0.000000	2.19000	2.600	30.453	
5	5	0.31600	0.11880	4	0.000000	2.19000	4.500	26.453	
6	6	0.31600	0.11880	4	0.000000	2.19000	3.100	21.600	
7	0	0.20600	0.34120	4	0.000000	1.60000	0.000	34.787	

Matrices are for earth resistivity = 5.000000000E+01 ohm-meters and frequency 5.000000000E+01 Hz. Correction factor =
1.000000000E-05

Susceptance matrix, in units of mhos/kmeter for the system of physical conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```
1  2.500350E-06

2 -4.555946E-07  2.473735E-06

3 -1.940668E-07 -4.223025E-07  2.434288E-06

4 -3.633579E-07 -2.023083E-07 -1.417213E-07  2.500350E-06

5 -2.023083E-07 -1.782575E-07 -1.910935E-07 -4.555946E-07  2.473735E-06

6 -1.417213E-07 -1.910935E-07 -3.494141E-07 -1.940668E-07 -4.223025E-07  2.434288E-06

7 -4.144018E-07 -1.909191E-07 -1.070066E-07 -4.144018E-07 -1.909191E-07 -1.070066E-07  2.272982E-06
```

Prilog 1.

```
Alternative Transients Program (ATP). Leuven EMTP translation.  All rights reserved by LEC, Univ. Leuven, Belg.
 Date (dd-mth-yy) and time of day (hh.mm.ss) = 27-Sep-96 15.47.59   Name of disk plot file, if any, is DUMATTEN.PL4
Consult the 600-page ATP Rule Book of LEC (Leuven, Belgium).  UTPF is no  older than October, 1990.  LEC corrections are no older
than May 1993.
Total size of LABCOM tables =  2280555   INTEGER words.   VARDIM  List Sizes follow :    500  5000 10000  1000 50000   500
 14000  35000 1500 3200 1000 1000100000   400 72000   800    50   100  32000  18200  2000  2000 80000   60  8000  1650    20  640
-----------------------------------------+-----------------------------------------------------------------------------------
Descriptive interpretation of input data cards.  0 Input data card images are shown below. all 80 columns. character by characte
                                                 0       1       2       3       4       5       6       7
                                                 01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
-----------------------------------------+-----------------------------------------------------------------------------------
Comment card.   KOMPAR = 1.                 6C data:D:\ATPBENCHMARK\EUP1.DAT
Marker card preceding new EMTP data case.  6BEGIN NEW DATA CASE
Compute overhead line constants.  Limit = 100  6LINE CONSTANTS
Request for metric (not English) units.    6METRIC
Comment card.   KOMPAR = 1.                6C ****INTERVENTNI VOD 50558****
Line conductor card.  3.160E-01  1.189E-01    4  3  10.316  0.1195 4      2.19    -4.0     10.5     9.5
Line conductor card.  3.160E-01  1.189E-01    4  3  20.316  0.1188 4      2.19     0.0     10.5     9.5
Line conductor card.  3.160E-01  1.189E-01    4  3  30.316  0.1188 4      2.19     4.0     10.5     9.5
Blank card terminating conductor cards.    3
Frequency card.  5.000E+01  5.000E+01  0.000E+00  6    50.0     50.0  1   111 111     1
```

Line conductor table after sorting and initial processing.

Table Row	Phase Number	Skin effect R-type	Resistance R (ohm/km)	Reactance data specification X-type	X(ohm/km) or GMR	Diameter (cm)	Horizontal X (mtrs)	Avg height Y (mtrs)	Name
1	1	0.31600	0.11500	4	0.000000	2.19000	-4.000	9.933	
2	2	0.31600	0.11800	4	0.000000	2.19000	0.000	9.833	
3	3	0.31600	0.11900	4	0.000000	2.19000	4.000	9.833	

Matrices are for earth resistivity = 5.00000000E+01 ohm-meters and frequency 5.00000000E+01 Hz. Correction factor =
1.00000000E-05

Capacitance matrix, in units of farads/kmeter for the system of physical conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```
   1  7.845709E-09

   2 -1.540130E-09  8.067259E-09

   3 -6.904393E-10 -1.540130E-09  7.845709E-09
```

Capacitance matrix, in units of farads/kmeter for the system of equivalent phase conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

```
   1  7.845709E-09

   2 -1.540130E-09  8.067259E-09

   3 -6.904393E-10 -1.540130E-09  7.845709E-09
```

Capacitance matrix, in units of farads/kmeter for symmetrical components of the equivalent phase conductor
Rows proceed in the sequence (0, 1, 2), (0, 1, 2), etc.; columns proceed in the sequence (0, 2, 1), (0, 2, 1), etc.

```
0  5.412433E-09
   0.000000E+00

1  1.013533E-10 -3.234921E-10
  -1.755491E-10 -5.603048E-10

2  1.013533E-10  9.183132E-09 -3.234921E-10
   1.755491E-10  1.284956E-25  5.603048E-10
```

Prilog 2.

```
Impedance matrix,  in units of   ohms/kmeter    for the system of physical conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

   1  1.669785E-01
      7.053932E-01

   2  4.781107E-02  1.669785E-01
      3.223282E-01  7.053932E-01

   3  4.780278E-02  4.781107E-02  1.669785E-01
      2.787786E-01  3.223282E-01  7.053932E-01

Impedance matrix,  in units of   ohms/kmeter    for the system of equivalent phase conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

   1  1.669785E-01
      7.053932E-01

   2  4.781107E-02  1.669785E-01
      3.223282E-01  7.053932E-01

   3  4.780278E-02  4.781107E-02  1.669785E-01
      2.787786E-01  3.223282E-01  7.053932E-01

Impedance matrix,  in units of   ohms/kmeter    for symmetrical components of the equivalent phase conductor
Rows proceed in the sequence  (0, 1, 2),  (0, 1, 2),  etc.;  columns proceed in the sequence  (0, 2, 1),  (0, 2, 1),  etc.

   0  2.625952E-01
      1.321016E+00

   1 -1.257306E-02 -2.514060E-02
     -7.255870E-03  1.452132E-02

   2  1.257030E-02  1.191702E-01  2.514613E-02
     -7.260658E-03  3.975815E-01  1.451174E-02

Sequence      Surge impedance       Attenuation   velocity    Wavelength   Resistance    Reactance   Susceptance
        magnitude(ohm) angle(degr.)    db/km        km/sec        km          ohm/km        ohm/km      mho/km
   Zero :  8.90001E+02 -5.62143E+00  1.28758E-03  2.88598E+05  4.17196E+03  2.62595E-01  1.32102E+00  1.70037E-06
Positive:  3.79301E+02 -8.34273E+00  1.37908E-03  2.90165E+05  5.80331E+03  1.19170E-01  3.97582E-01  2.88497E-06
Blank card terminating frequency cards.                    d
Blank card ending "LINE CONSTANTS" cases.                  d
Total case timing (CP, I/O, tot), sec:     12.527     0.000    12.527

Alternative Transients Program (ATP), Salford 80386 translation.  All rights reserved by LEC User Group of Leuven, Belgium.
 Date (dd-mth-yy) and time of day (hh.mm.ss) = 27-Sep-93  15.08.12    Name of disk plot file, if any, is  D:BATPBBNCHMAR
Consult the 800-page ATP Rule Book of LEC (Leuven, Belgium).  UTPF is no  older than October, 1992. LEC corrections are no older
than May 1993.
Total size of LABCOM tables =  2280555   INTEGER words.   VARDIM  List Sizes follow :   5002  6000 10000  1000 50000   800
 14000  35000 1500 3200 1000 1000100000   400 72000   800    80   100  32000  13200  2000  3000 80000   60  8000  1680    20  640
-------------------------------------------------+-------------------------------------------------------------------------
Descriptive interpretation of input data cards.  d  Input data card images are shown below, all 80 columns, character by charact
                                                 0       1       2       3       4       5       6       7
                                                 01234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
-------------------------------------------------+-------------------------------------------------------------------------
Marker card preceding new EMTP data case.        dBEGIN NEW DATA CASE
Blank card to terminate EMTP execution.          d
```

Prilog 3.

```
Impedance matrix.  in units of   ohms/kmeter    for the system of equivalent phase conductors.
Rows and columns proceed in the same order as the sorted input.

  1  1.884829E-01
     5.907690E-01

  2  6.431631E-02  1.794092E-01
     2.152927E-01  6.170402E-01

  3  6.154824E-02  5.801960E-02  1.752797E-01
     1.794791E-01  2.261596E-01  6.301763E-01

  4  6.931531E-02  6.431104E-02  6.154446E-02  1.884829E-01
     1.912195E-01  1.769732E-01  1.686859E-01  5.907690E-01

  5  6.431104E-02  6.023506E-02  5.801280E-02  6.431631E-02  1.794092E-01
     1.769732E-01  1.630256E-01  1.597488E-01  2.152927E-01  6.170402E-01

  6  6.154446E-02  5.801280E-02  5.611005E-02  6.154824E-02  5.801960E-02  1.752797E-01
     1.686859E-01  1.597488E-01  2.195759E-01  1.794791E-01  2.261596E-01  6.301763E-01

Impedance matrix,  in units of   ohms/kmeter    for symmetrical components of the equivalent phase conductor
Rows proceed in the sequence  (0, 1, 2),  (0, 1, 2),  etc.;  columns proceed in the sequence  (0, 2, 1),  (0, 2, 1),  etc.

  0  3.036467E-01
     1.026616E+00

  1 -1.196045E-03 -2.403136E-02
    -1.854652E-02  8.642102E-03

  2  1.189655E-02  1.197625E-01  2.490666E-02
    -2.252884E-02  4.056847E-01  7.830603E-03

  0  1.844657E-01  1.351138E-02 -2.806241E-03  3.036467E-01
     5.548789E-01 -7.010704E-03 -1.098957E-02  1.026615E+00

  1  1.351138E-02 -1.489820E-02  5.973732E-04 -1.196045E-03 -2.403136E-02
    -7.010704E-03  8.325550E-03  1.947103E-02 -1.854652E-02  8.642102E-03

  2 -2.806241E-03  5.973732E-04  1.977343E-02  1.189655E-02  1.197625E-01  2.490666E-02
    -1.098957E-02  1.947103E-02  7.512549E-03 -2.252884E-02  4.056847E-01  7.830603E-03

Sequence       Surge Impedance          Attenuation    Velocity      Wavelength   Resistance   Reactance   Susceptance
          magnitude(ohm) angle(degr.)      db/km         km/sec          km         ohm/km       ohm/km      mho/km
   Zero :  7.810775E+02 -8.238435E-02  1.705948E-03  2.815883E-05  4.831982E+03  3.036467E-01  1.026628E+00  1.754822E-06
Positive:  3.868382E+02 -8.223593E-02  1.358854E-03  2.982666E-05  5.305729E+03  1.197635E-01  4.056855E-01  2.826788E-06
Blank card terminating frequency cards.                    0
Blank card ending "LINE CONSTANTS" cases.                  0
Total case timing (CP, I/O, tot), sec:        12.309       0.000       12.309
```

Prilog 4.

ANALIZA NAPREZANJA U SPOJU CIJEVI I CIJEVNE STIJENE GENERATORA PARE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Damir Stanić — mr. Hrvoje Kunaj, Zagreb

UDK 621.039.5 :621.181
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U radu su prikazani rezultati proračuna naprezanja u spoju cijevi i cijevne stijenke, primjenom elastoplastične metode proračuna pomoću metode konačnih elemenata korištenjem programskog paketa NISA II

Ključne riječi: generator pare, hidraulička ekspanzija, spoj cijev — cijevna stijena, elastoplastične deformacije, metoda konačnih elemenata.

1. UVOD

Nuklearne elektrane danas su važan izvor energetskih potreba visokorazvijenih zemalja, pri čemu su elektrane tipa PWR i VVER najzastupljenije nuklearne elektrane u svijetu. Pitanje sigurnosti NE tipa PWR i VVER ovisi u najvećoj mjeri o pouzdanosti rada generatora pare, koji su se pokazali kao najkritičnije komponente kod svih elektrana ovog tipa.

Jedan od važnijih pojedinosti u konstrukciji parogeneratora jest izrada spoja cijevi i cijevne stijene. Kakvoća spoja, kao i kvaliteta izvođenja samog procesa važni su čimbenici koji utječu na pouzdanost generatora pare za vrijeme njegove eksploatacije. Ovaj spoj mora u radnim uvjetima podnijeti dinamička i termička opterećenja, a pri čemu je stalno izložen i agresivnim kemijskim procesima. U takvim uvjetima pojavljuje se napetosna korozija (stress corrosion cracking) koja je uzrok brojnim oštećenjima cijevi u PWR generatorima pare, odnosno pukotine u samoj cijevnoj stijeni zbog zaostalih naprezanja od ekspanzije što se pojavljuje kod VVER generatora pare.

Spoj cijevi i cijevne stijene ostvaruje se najčešće pomoću ekspanzijskih procesa. Postoji nekoliko različitih tehnika izrade spoja koje su razvijene radi zadovoljenja strogih kriterija postavljenih za izradu generatora pare:

1. uvaljavanje cijevi pomoću valjaka za razvrtavanje,
2. hidraulička ekspanzija,
3. kinetička ekspanzija (ekspanzija pomoću eksplozivnog naboja),
4. zavarivanje cijevi na cijevnu stijenu.

Kao posljedica ostvarenja spoja pomoću nekog od ekspanzijskih procesa, pojavljuju se zaostala naprezanja. Njihova veličina znatno utječe na razvoj napetosne korozije, pa je zbog toga potrebno poznavati raspodjelu i veličine zaostalih naprezanja. Za provođenje analize raspodjele naprezanja koja bi dala objašnjenja vezana za nastanak i razvoj oštećenja u tom dijelu cijevi potreban je kompleksan proračun čvrstoće koji objedinjuje linearnu i nelinearnu statiku (elastoplastične deformacije), dinamiku (vibracije), hidrodinamiku, toplinska naprezanja i mehaniku loma, uključujući i zamor materijala.

Ovdje prikazana analiza ima zasad samo ograničen cilj pokazati naprezanja u materijalu i ponašanje cijevi i okolnog manjega dijela cijevne stijene za vrijeme izvođenja procesa hidrauličke ekspanzije, kao i konačno stanje nakon završetka procesa. U sklopu proračuna prikazan je i raspored naprezanja i pomaka za vrijeme cjelokupnog procesa, pri čemu vrijednosti koje zaostaju nakon prestanka djelovanja hidrauličkog tlaka predstavljaju zaostala (rezidualna) naprezanja.

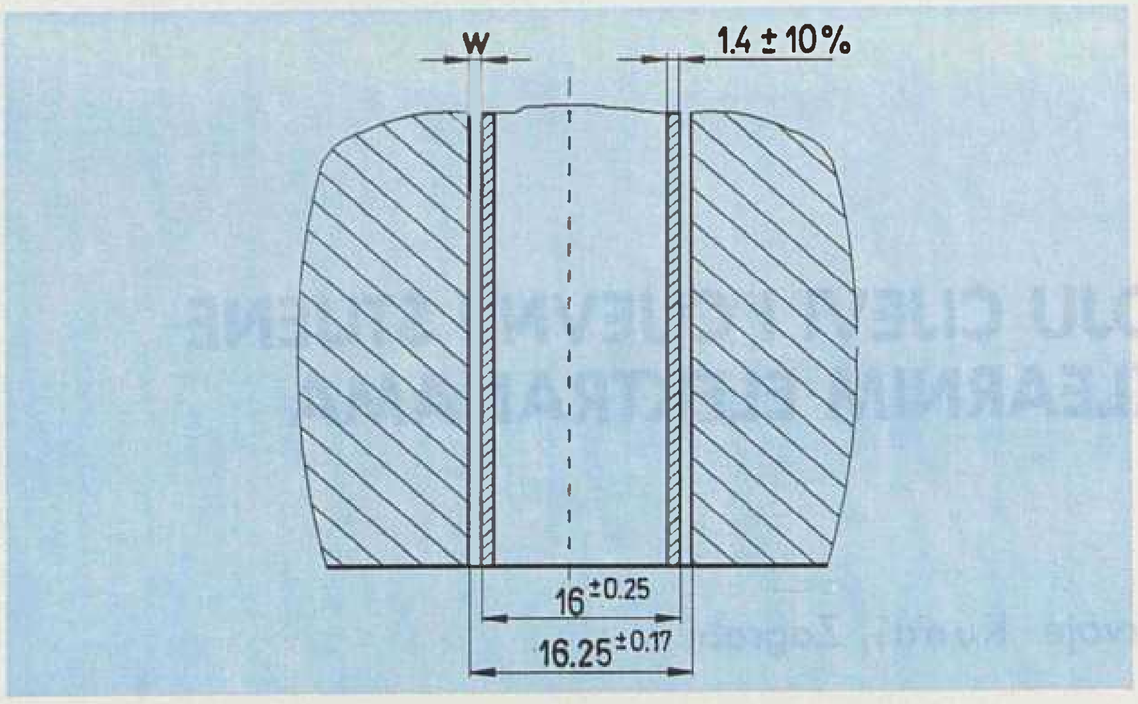
Proces hidrauličke ekspanzije izveden na generatoru pare tipa VVER uzet je kao primjer jedne od boljih novijih metoda, čija je primjena pridonijela smanjenju broja oštećenih cijevi generatora pare u eksploataciji.

Pokušaj egzaktnog praktično primjenljivog proračuna naprezanja u spoju cijevi i cijevne stijene, primjenom elastoplastične metode proračuna u nas je pionirski pokušaj analize takvih pojava. Eksperimentalna laboratorijska i metalografska ispitivanja takvih pojava koja su do sada rađena u svijetu nisu mogla zbog kompleksnih strukturnih pojava unutar samog materijala u potpunosti oslikati pravo stanje materijala.

Primjenom metode konačnih elemenata, kao i razvojem visoko sofisticiranih programa koji objedinjuju proračune naprezanja materijala u elastičnom i plastičnom području deformacija mogu se i složene teorijske postavke praktično primijeniti.

2. OPIS PROBLEMA

Na slici 1. prikazan je detalj spoja cijevi s cijevnom stijenom. Dimenzije koje su predočene na slici i sa



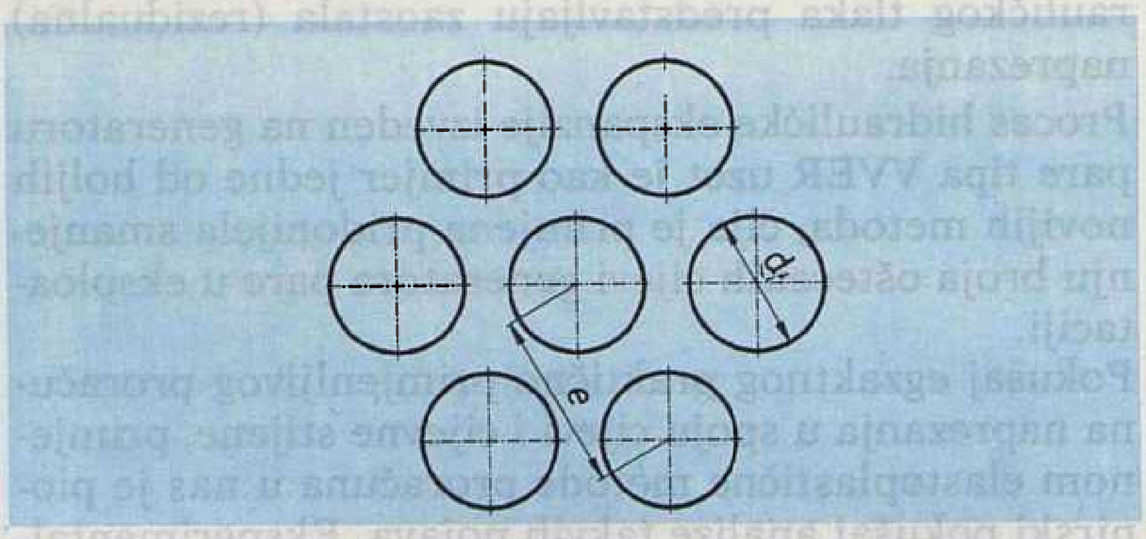
Slika 1. Detalj spoja cijevi i cijevne stijene prije početka procesa hidrauličke ekspanzije

kojima je proveden proračun naprezanja u spoju pripadaju horizontalnim generatorima pare na nuklearnim elektranama tipa VVER 440.

Veličine naprezanja sile koje se pojavljuju u toku hidrauličke ekspanzije odgovaraju prosječnim stvarnim veličinama koje se koriste u procesu proizvodnje parogeneratora u svijetu.

Početni zazor w između cijevi i cijevne stijene u granicama je 0,000 – 0,335 mm. Relativno velika tolerancija u spoju utječe i na velike razlike u rezultatima proračuna, odnosno u vrijednostima maksimalnih i rezidualnih naprezanja koja će se pojaviti u dva krajnja slučaja: početni minimalni zazor $w = 0{,}000$ mm i početni maksimalan zazor $w = 0{,}335$ mm.

Detalj cijevne stijene prikazan je na slici 2. Kako je vidljivo iz slike, svaka cijev je okružena sa po 6 cijevi, pravilno raspoređenih po sistemu trokutaste rešetke sa stranicama istostraničnog trokuta dimenzija $e = 22{,}000$ mm.



Slika 2. Detalj rasporeda cijevi na cijevnoj stijeni kod generatora pare tipa VVER

Jedna od značajki procesa hidrauličke ekspanzije jest mogućnost točne kontrole veličina područja cijevi koje se ekspandiraju, pri čemu je tlak ekspanzije ravnomjerno raspoređen cijelom dužinom cijevi. Za osiguranje potrebnog tlaka koristi se voda, pri čemu je maksimalna vrijednost tlaka kojom se ulazi u proračun 300 MPa.

Djelovanjem tlaka ekspanzije cijev se slobodno širi sve dok zazor ne postane jednak nuli, što znači da je došlo do kontakta između cijevi i cijevne stijene. Nakon ostvarenja kontakta oba dijela će se dalje zajedno deformirati do punog iznosa tlaka. U ovisnosti o veličini zazora, tlaku ekspanzije odnosno svojstvima materijala cijev može biti i prije ostvarenja kontakta s cijevnom stijenom potpuno plastificirana po punoj debljini stijenke cijevi. Za razliku od cijevi, pri punom tlaku hidrauličke ekspanzije cijevna stijena bit će plastificirana samo djelomično u uskom području oko cijevi.

Nakon rasterećenja, zbog utjecaja plastifikacije, cijev i cijevna stijena neće se vratiti u početni položaj, već će ostati u kontaktu. Upravo naprezanja koja omogućuju ostvarenje tog kontakta odnosno pritisak koji se javlja između cijevi i cijevne stijene, te residualna naprezanja koja će zaostati polazne su veličine potrebne za dalje analize. Kako problem zalazi u područje plastičnosti, za njegovo rješavanje potrebno je poznavati kompletne dijagrame naprezanja i deformacija za oba materijala, jer je to osnova za ovakve proračune.

Numerički dio analize, kao i grafički prikaz rezultata proveden je pomoću softwareovskog paketa NISA II, koji služi za proračun mehaničkih konstrukcija metodom konačnih elemenata, te sadrži u sebi modul za linearnu i nelinearnu statiku, kao i mogućnost rješavanja kontaktnih problema zajedničke ekspanzije na mjestu dodira dvaju različitih tijela.

3. POSTUPAK PRORAČUNA

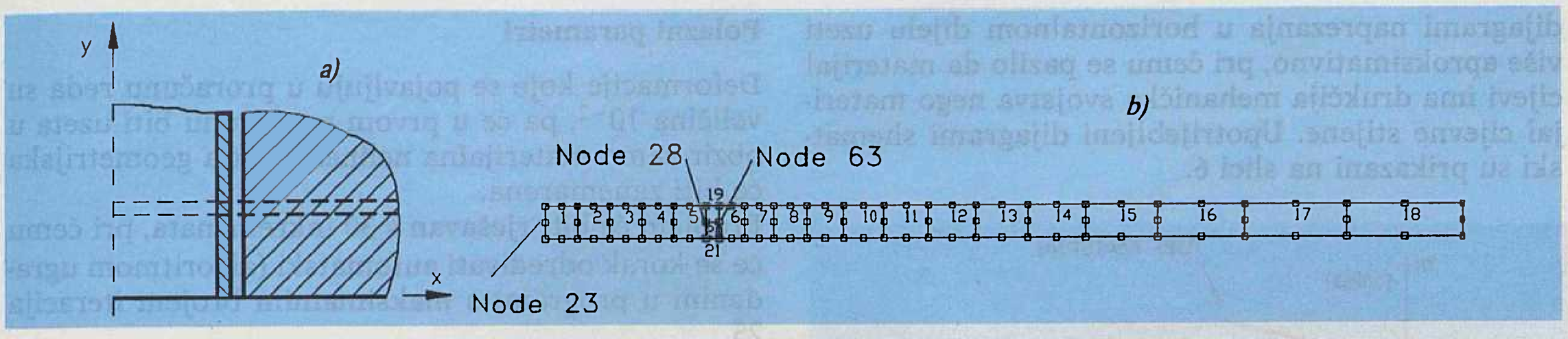
Pri opisu rješenja korištene su opće smjernice kojim se program NISA II koristi za oblikovanje ulaznih datoteka. Istim redoslijedom predočen je i način na koji će problem biti rješavan.

Geometrijsko modeliranje

Budući da je analiza naprezanja ograničena samo na parcijalno promatranje jednoga izdvojenog segmenta cijevi i cijevne stijene, moguće je model oblikovati u osnosimetričnoj geometriji i opterećenjima. Takav je model za oblikovanje geometrije, prikaz naprezanja i analizu rezultata metodom konačnih elemenata relativno jednostavan i zahtijeva mali broj stupnjeva slobode i mali broj čvorova. Tome pridonosi i činjenica da je tlak ekspanzije ravnomjerno raspoređen po cijeloj dužini cijevi na kojoj se odvija ekspanzija.

Na slici 3. prikazan je izabrani model, kao i njegova pozicija u cijelom spoju. Ovdje je potrebno napomenuti da je, glede zazora, uzet slučaj da su cijev i rupa u cijevnoj stijeni izvedeni u osnovnim dimenzijama (početni $w = 0{,}250$ mm po promjeru), što predstavlja neki srednji slučaj između dva ekstremna. Dakako da je s aspekta veličine naprezanja slučaj s početnim zazorom $w = 0{,}000$ mm mnogo nepovoljniji, jer će tada naprezanja koja se pojavljuju u cijevi biti mnogo veća.

Ukupni broj elemenata je 21, ukupan broj čvorova 96, dok je ukupni broj stupnjeva slobode 187.



Slika 3. a) Položaj proračunskog modela u realnoj konstrukciji, b) prikaz odabranog proračunskog

Elementi proračuna

U ovoj analizi upotrijebljeni su osnosimetrični elementi (1 – 18) čija je namjena upravo rješavanje ovakove vrste problema. Radi veće točnosti i brže konvergencije rezultata u tijeku proračuna korišteni su elementi drugog reda (8 čvorova po elementu). Za simulaciju dosjednog spoja između cijevi i cijevne stijenke upotrijebljeni su tzv. gap-friction elementi (19 – 21), koji služe za rješavanje kontaktnih problema između dvaju tijela.
Upotrijebljeni elementi predstavljaju:

elementi 1 – 5 — stijenka cijevi; elementi su pravilni i ravnomjerno raspoređeni

elementi 6 – 18 — cijevna stijenka; elementi su gušće raspoređeni u blizini kontakta s cijevi

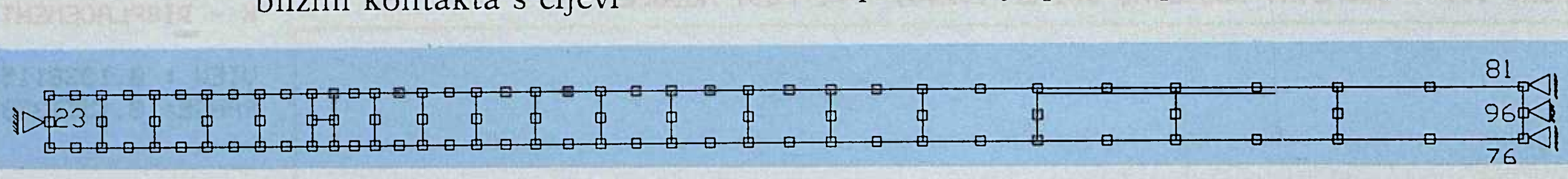
elementi 19 – 21 — zazor; njihova orijentacija i početni zazor su određeni koordinatama čvorova.

Rubni uvjeti

Za potrebe proračuna pretpostavljeni su sljedeći rubni uvjeti (vidjeti sl. 4):

čvor 23	UY = 0
čvor 76	UX = 0
čvor 81	UX = 0
čvor 96	UX = 0
čvor 96	UY = 0.

UX predstavlja pomak po koordinati x.
UY predstavlja pomak po koordinati y.

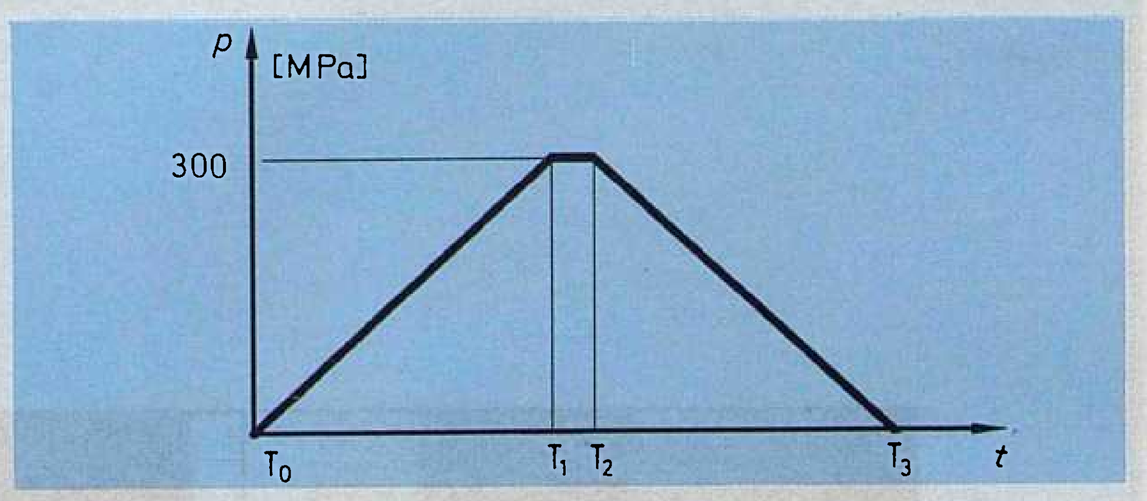


Slika 4. Prikaz rubnih uvjeta za potrebe proračuna

Tako određeni rubni uvjeti onemogućuju pomak krutog tijela obaju dijelova po y-koordinati. Ograničenje postavljeno u x-smjeru ne predstavlja realnu fizikalnu situaciju s obzirom da desna strana modela cijevne stijene (čvorovi 76, 81, 96 na slici 4.) može u stvarnosti ostvariti određen pomak. Budući da je u proračunskom modelu uzet u obzir samo dio cijevne stijene koji neposredno okružuje cijev, a ne cijela cijevna stijena, na ovaj način je samo simulirana njezina krutost (cijevna stijena kod horizontalnih generatora pare tipa VVER 440 jest cilindar promjera približno 700 mm, s debljinom stijene od 136 mm).
Poštujući načelo Saint-Venon, utjecaj tlaka trebao bi se izgubiti nakon 5-6 d (vidjeti sliku 2). To znači da bi se s drukčijim modelom (2D) mogao i taj utjecaj uzeti u obzir, odnosno izvršiti proračun s većom točnošću.

Opterećenje

Od vanjskih opterećenja prisutan je samo hidrostatski tlak u cijevi. Zato je na proračunskom modelu tlak narinut samo na elemenat 1. Slika 5 prikazuje opterećenje u ovisnosti o vremenu (t) s kakvim se mora pristupiti proračunu pri promatranju cijelog procesa ekspanzije.



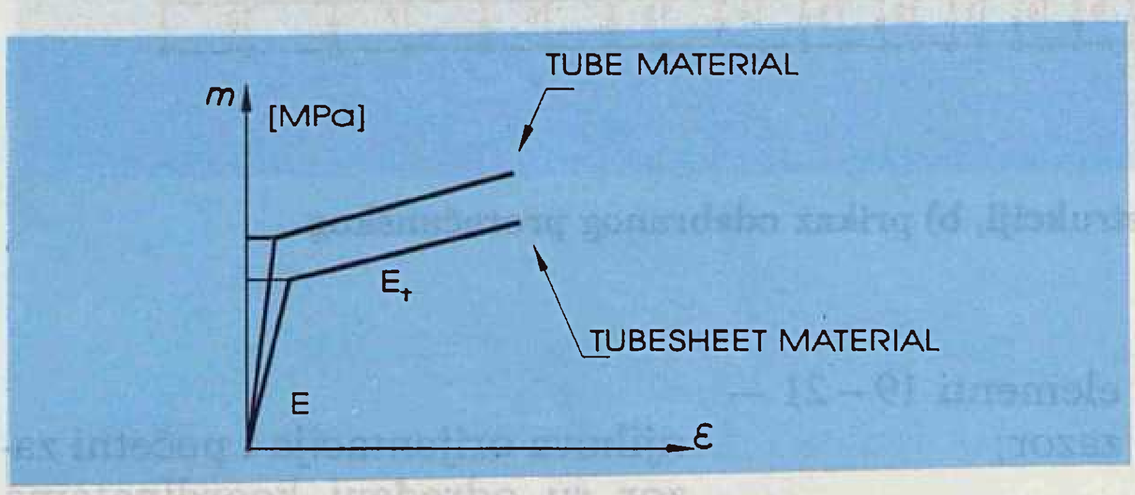
Slika 5. Promjena opterećenja u ovisnosti i o vremenu

U razdoblju T-T1 tlak raste dok ne dostigne maksimalnu vrijednost. Nakon toga, vrijednost tlaka jedno je vrijeme konstantna, a zatim opada. Tako opisana promjena opterećenja s vremenom simulira realan slučaj pri hidrauličkoj ekspanziji, pri čemu u ovom slučaju vrijeme (T) ne treba shvatiti kao stvarno vrijeme, već samo kao simulirani prikaz radi lakšeg promatranja cjelokupnog procesa.

Materijali

Kao što je već spomenuto, pri određivanju svojstava materijala potrebno je poznavati cijelokupni dijagram naprezanja i deformacija. U ovom proračunu su

dijagrami naprezanja u horizontalnom dijelu uzeti više aproksimativno, pri čemu se pazilo da materijal cijevi ima drukčija mehanička svojstva nego materijal cijevne stijene. Upotrijebljeni dijagrami shematski su prikazani na slici 6.



Slika 6. Shematski prikaz dijagrama ovisnosti veličine deformacija o naprezanju

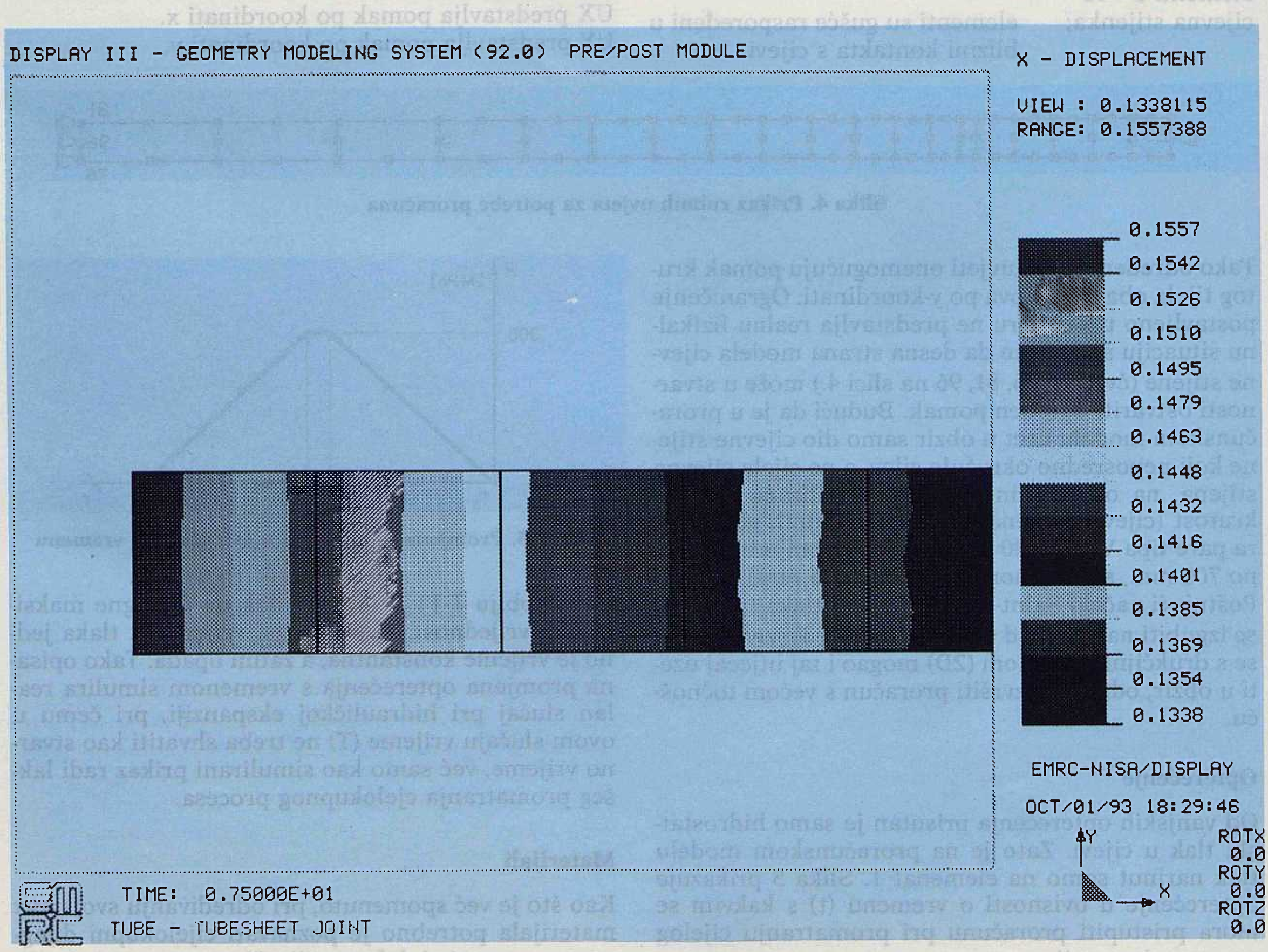
Kao što se vidi sa slike, upotrijebljeni dijagrami predstavljeni su bilinearnim krivuljama (materijali s linernim očvršćivanjem). Budući da se radi samo o jednom ciklusu opterećenja i rasterećenja, u proračunu je pretpostavljeno izotropno očvršćivanje, odnosno nije uzet u obzir Bauschingerov efekt. Za kriterij tečenja izabran je von Misesov kriterij.

Polazni parametri

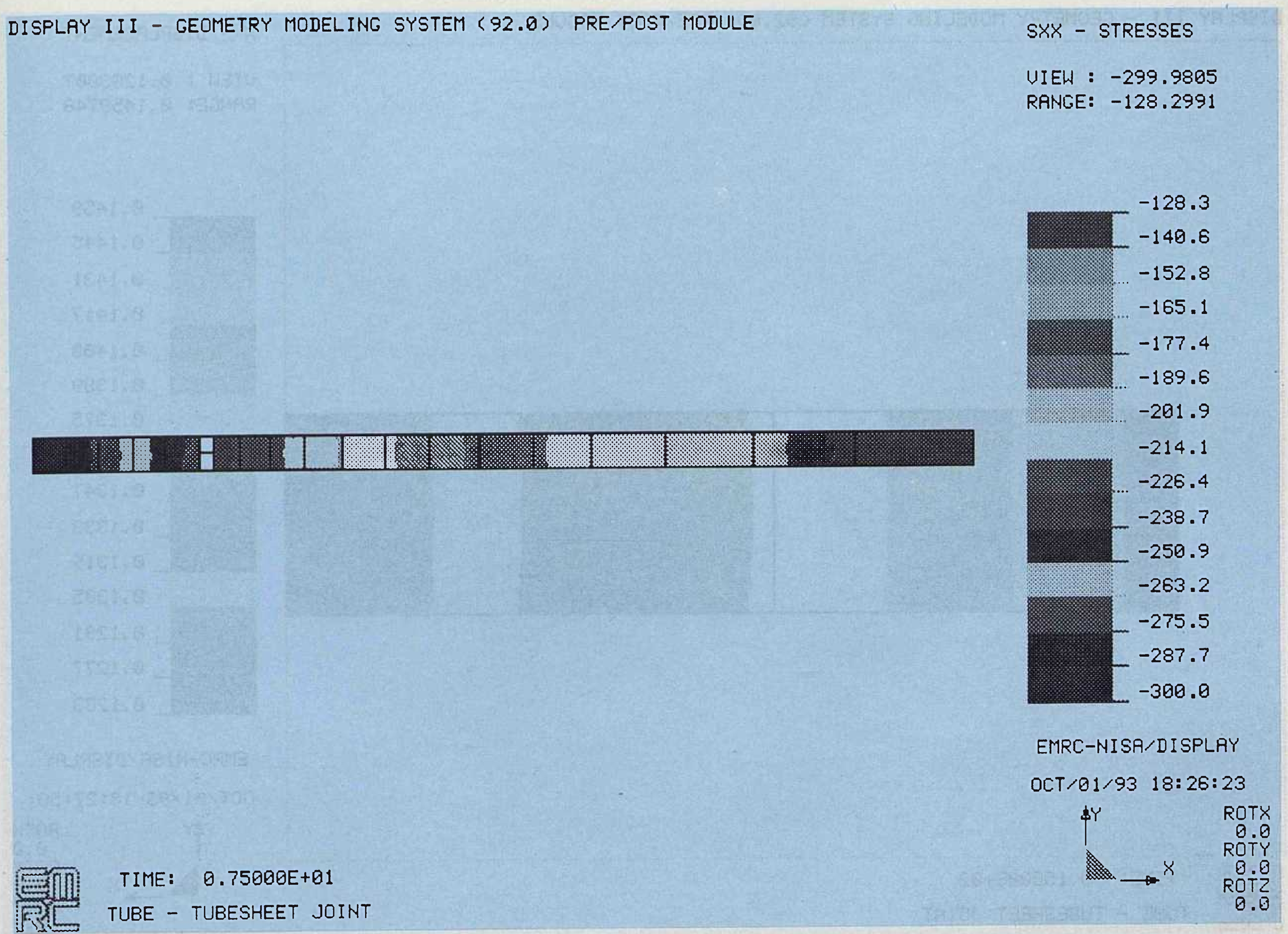
Deformacije koje se pojavljuju u proračunu reda su veličina 10^{-2}, pa će u prvom proračunu biti uzeta u obzir samo materijalna nelinearnost a geometrijska će biti zanemarena.
Problem će biti rješavan s 30 inkremenata, pri čemu će se korak određivati automatski (algoritmom ugrađenim u program) s maksimalnim brojem iteracija 25.
Za rješavanje nelinearnih jednadžbi ravnoteže upotrijebljena će biti puna Newton-Raphsonova metoda. Krutost će biti računata nakon svake iteracije.

4. ANALIZA REZULTATA

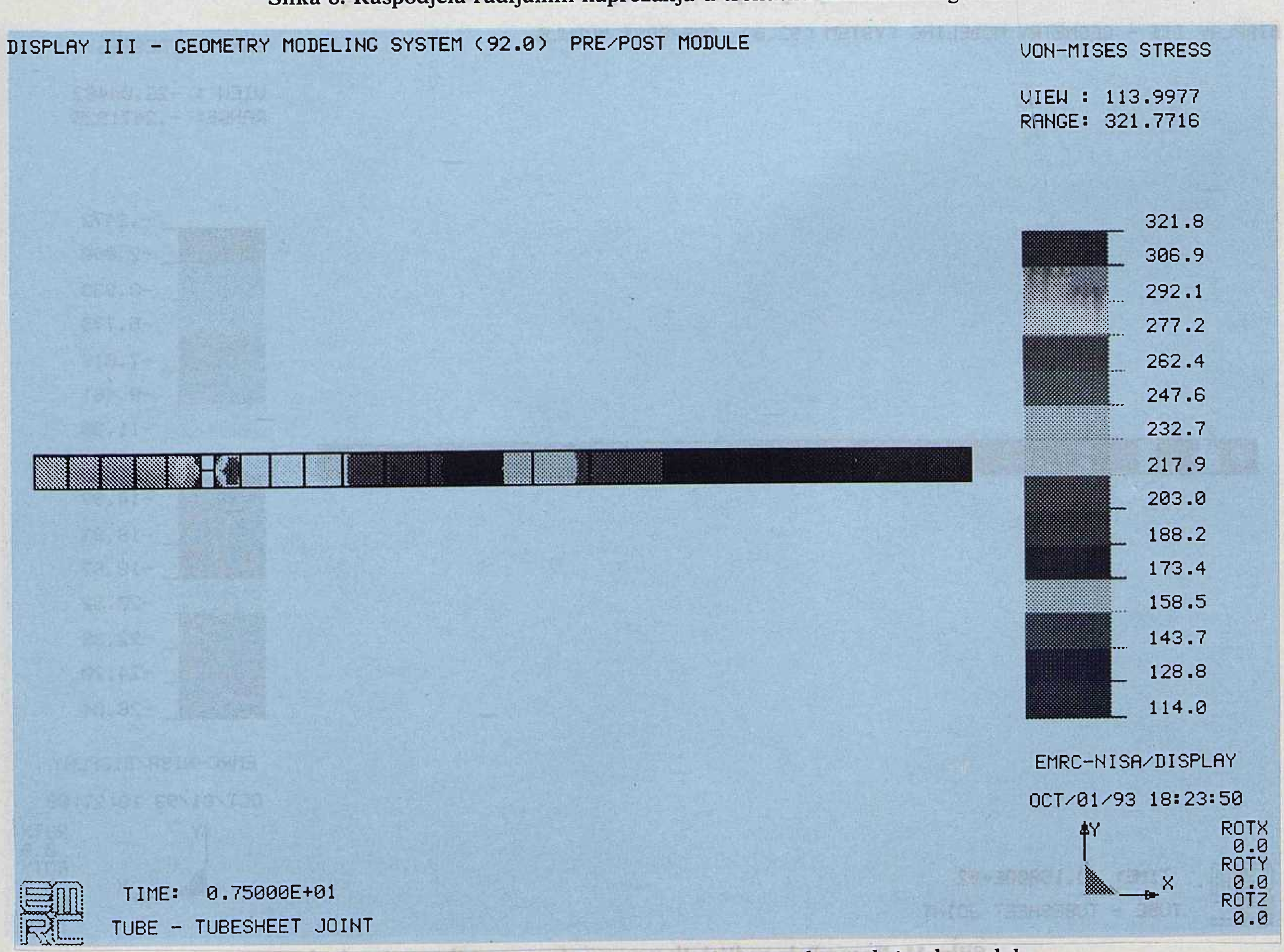
Rezultati analize prikazani su na slikama 7 – 15. Dobiveni su pomoću NISA II — DISPLAY III softwareovskog paketa koji omogućuje grafičko predočavanje rezultata proračuna. Ovdje je prikazan samo dio dobivenih rezultata koji omogućuje cijelovito razumijevanje ponašanja cijevi i cijevne stijene za vrijeme procesa hidrauličke ekspanzije. Kao što je prije napomenuto, neki ulazni podaci nisu u potpunosti odraz stvarnog stanja. Zbog toga i rezultati koji su dobiveni trebaju biti shvaćeni aproksimativno. To znači da je iz njih potrebno uočiti samo kvalitativne odno-



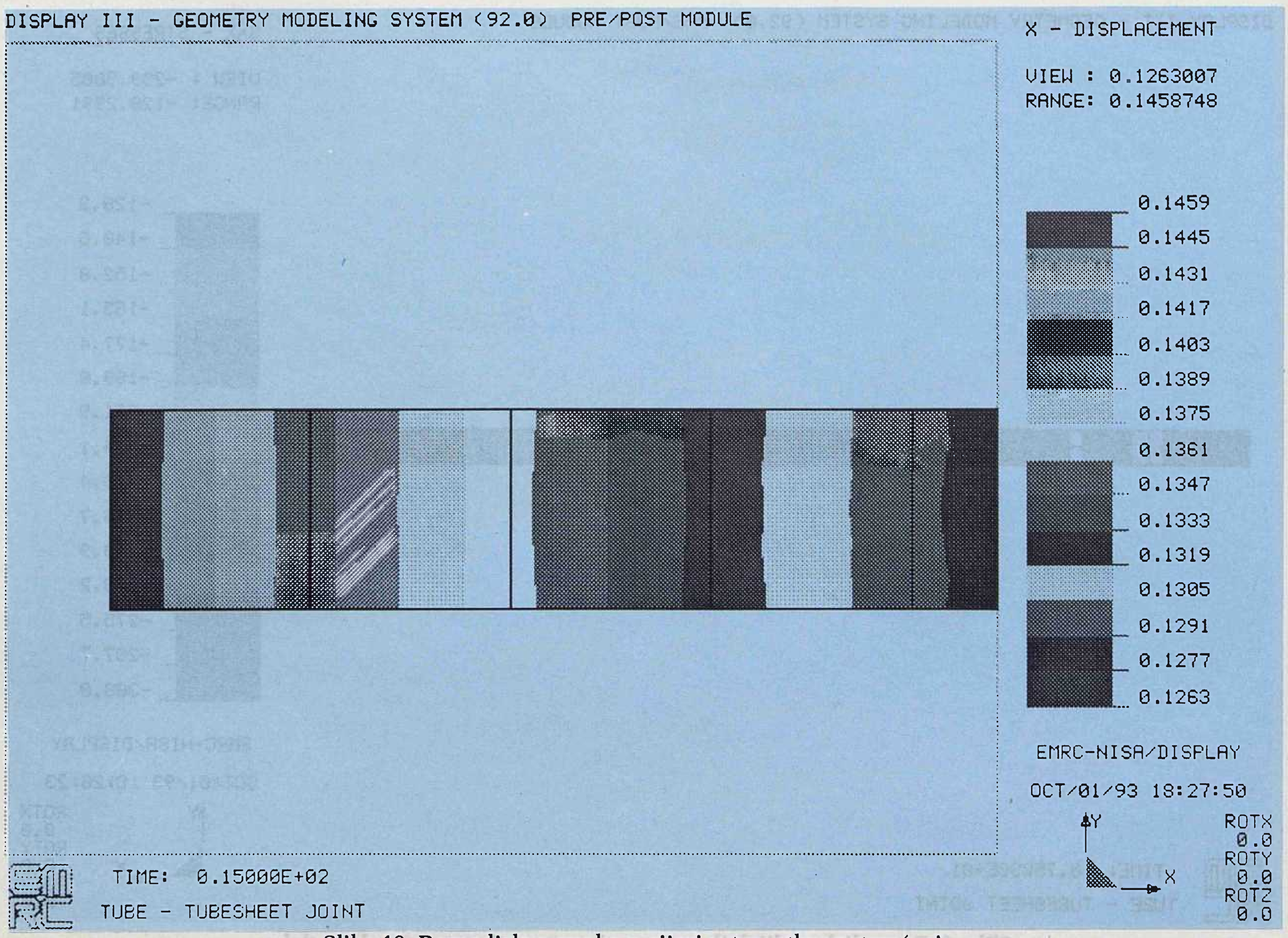
Slika 7. Raspodjela pomaka po cijevi u trenutku maksimalnog tlaka



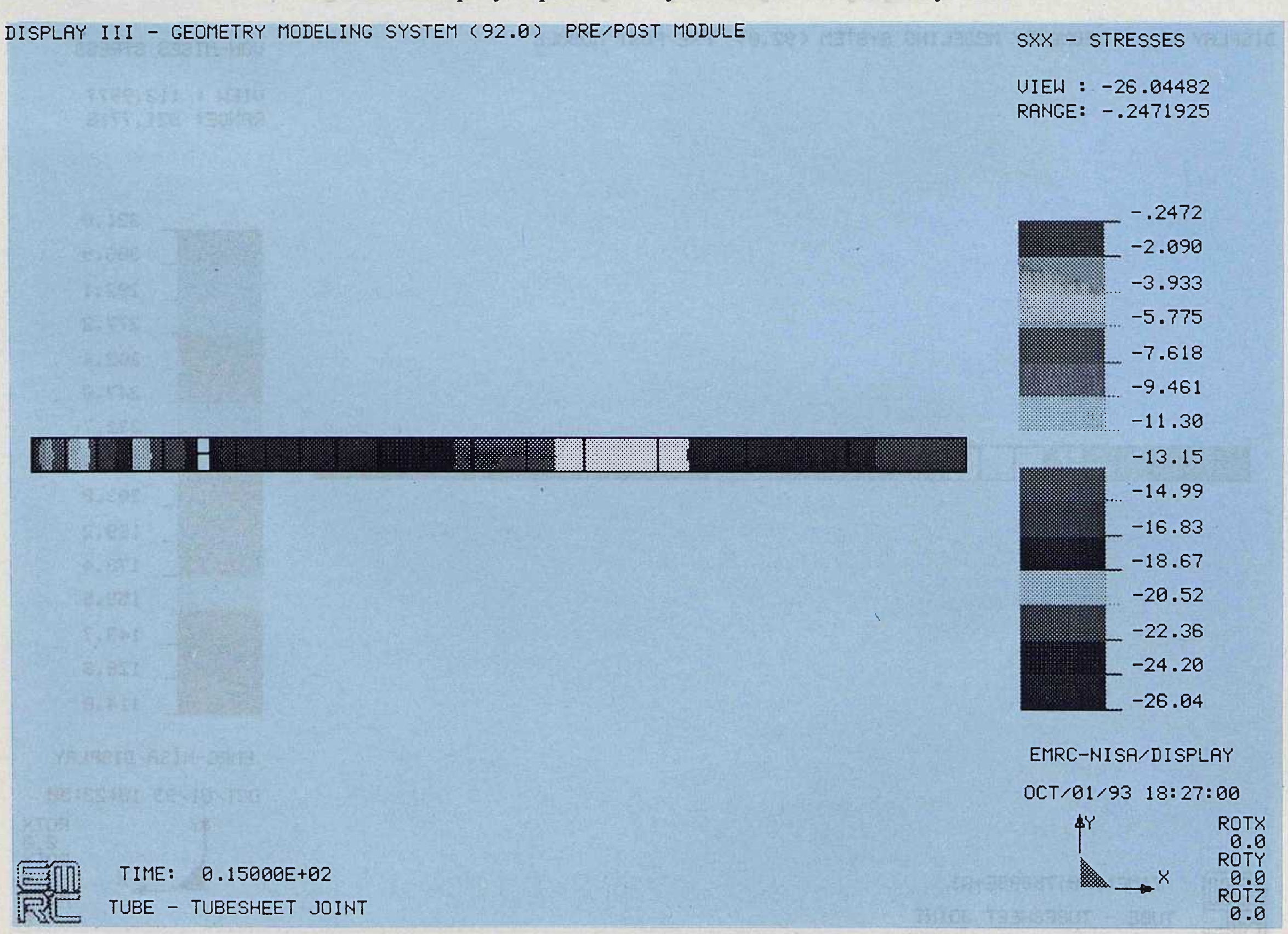
Slika 8. Raspodjela radijalnih naprezanja u trenutku maksimalnog tlaka



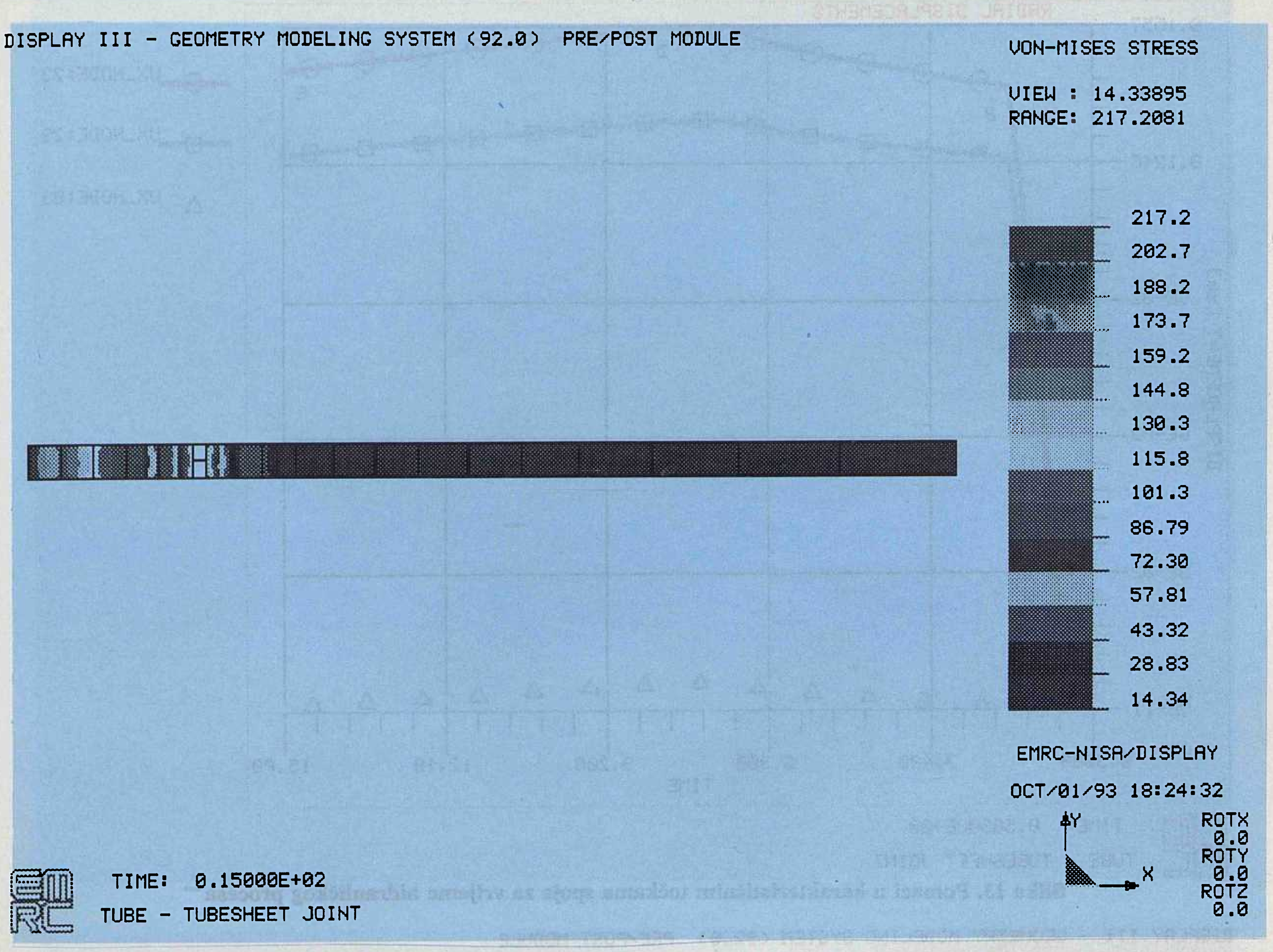
Slika 9. Raspodjela ekvivalentnih naprezanja u trenutku maksimalnog tlaka



Slika 10. Raspodjela pomaka u cijevi u trenutku rasterećenja



Slika 11. Raspodjela radijalnih naprezanja u trenutku rasterećenja



Slika 12. Raspodjela tangencijalnih naprezanja u trenutku rasterećenja

se, dok dobivene vrijednosti naznačuju red veličina pojedinih parametara.

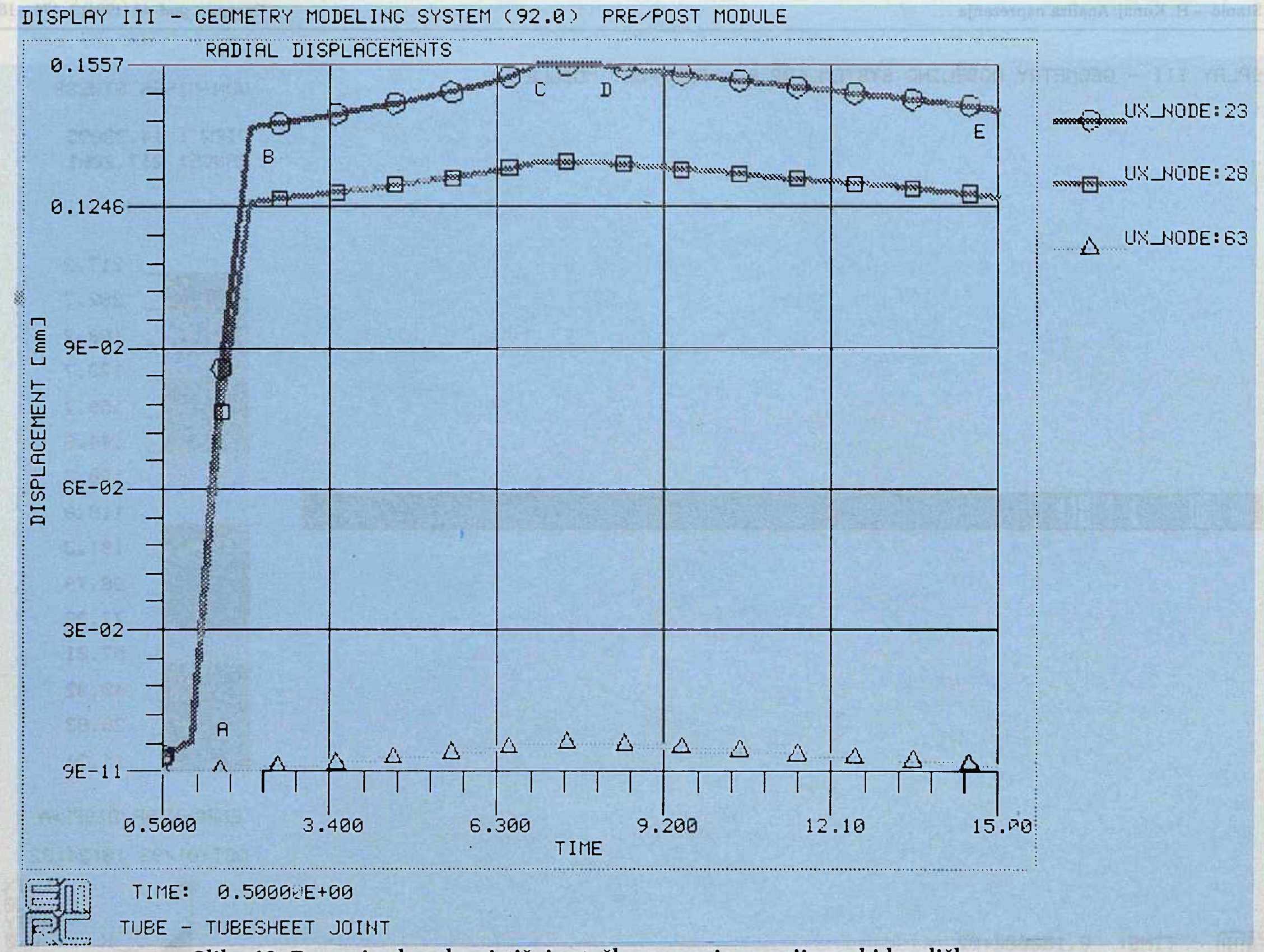
Slike od 7. do 9. prikazuju raspodjelu naprezanja i pomaka u trenutku kada radni tlak dostigne svoju maksimalnu vrijednost od 300 MPa. Budući da su pomaci geometrijskih elemenata cijevi za red veličine veći od pomaka geometrijskih elemenata cijevne stijene, nije bilo moguće prikazati ta dva elementa na istoj slici. Tako slika 7. prikazuje samo pomake u cijevi. Kao što se moglo i očekivati, točke na unutarnjoj stijenci cijevi imaju veći pomak nego točke na vanjskoj stijenci cijevi.

To znači da se zbog procesa hidrauličke ekspanzije blago smanjila debljina stijenke cijevi. Jedna od značajki hidrauličke ekspanzije jest upravo i skraćenje cijevi, što se može uočiti i na rezultatima koji predstavljaju pomake u y-smjeru.

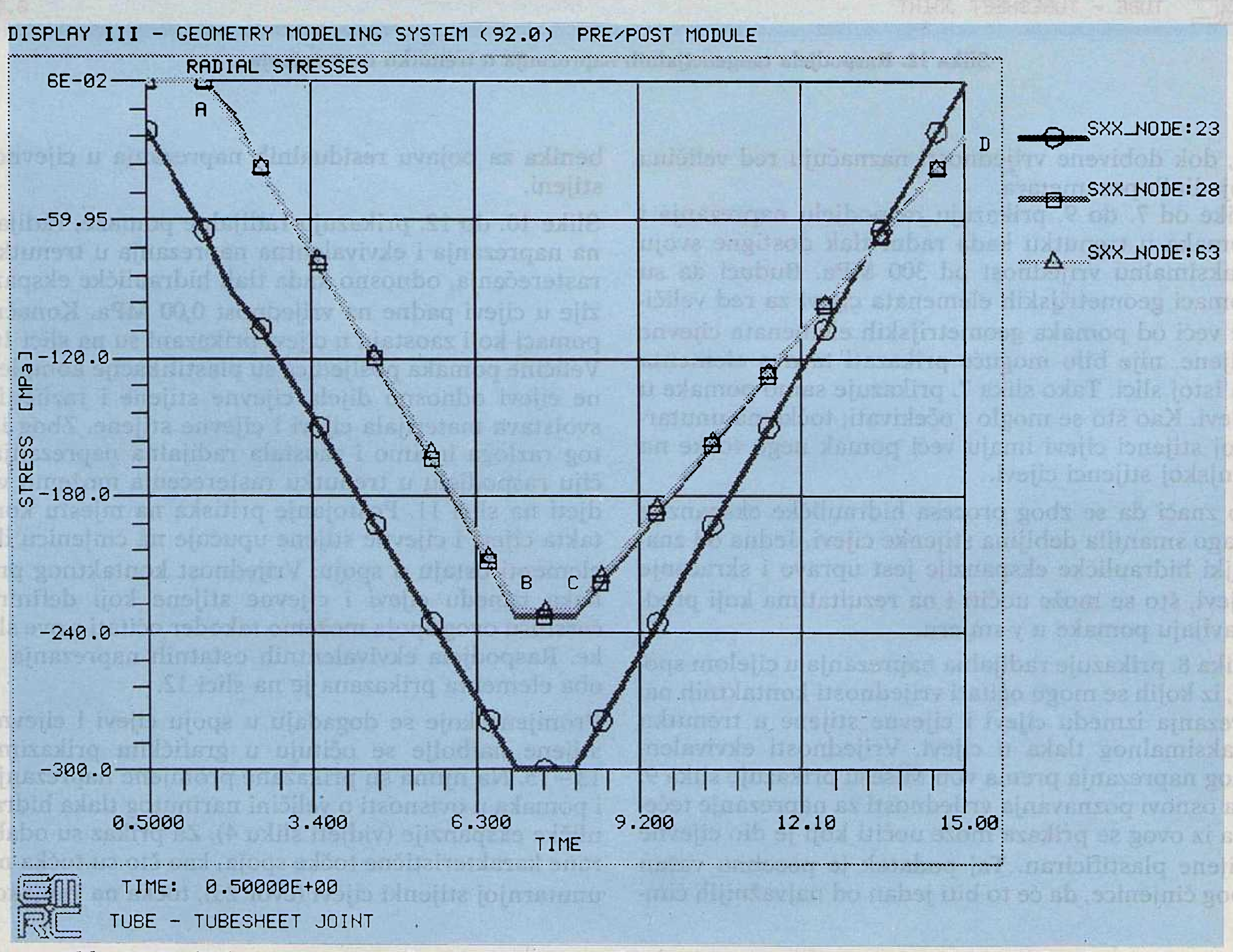
Slika 8. prikazuje radijalna naprezanja u cijelom spoju, iz kojih se mogu očitati vrijednosti kontaktnih naprezanja između cijevi i cijevne stijene u trenutku maksimalnog tlaka u cijevi. Vrijednosti ekvivalentnog naprezanja prema von Misesu prikazuje slika 9. Na osnovi poznavanja vrijednosti za naprezanje tečenja iz ovog se prikaza može uočiti koji je dio cijevne stijene plastificiran. Taj podatak je posebno važan zbog činjenice, da će to biti jedan od najvažnijih čimbenika za pojavu residualnih naprezanja u cijevnoj stijeni.

Slike 10. do 12. prikazuju radijalne pomake, radijalna naprezanja i ekvivalentna naprezanja u trenutku rasterećenja, odnosno kada tlak hidrauličke ekspanzije u cijevi padne na vrijednost 0,00 MPa. Konačni pomaci koji zaostaju u cijevi prikazani su na slici 10. Veličine pomaka posljedica su plastifikacije kompletne cijevi odnosno dijela cijevne stijene i različitih svojstava materijala cijevi i cijevne stijene. Zbog istog razloga imamo i zaostala radijalna naprezanja, čiju raspodjelu u trenutku rasterećenja možemo vidjeti na slici 11. Postojanje pritiska na mjestu kontakta cijevi i cijevne stijene upućuje na činjenicu da elementi ostaju u spoju. Vrijednost kontaktnog pritiska između cijevi i cijevne stijene koji definira čvrstoću ovog spoja možemo također očitati s ove slike. Raspodjela ekvivalentnih ostatnih naprezanja u oba elementa prikazana je na slici 12.

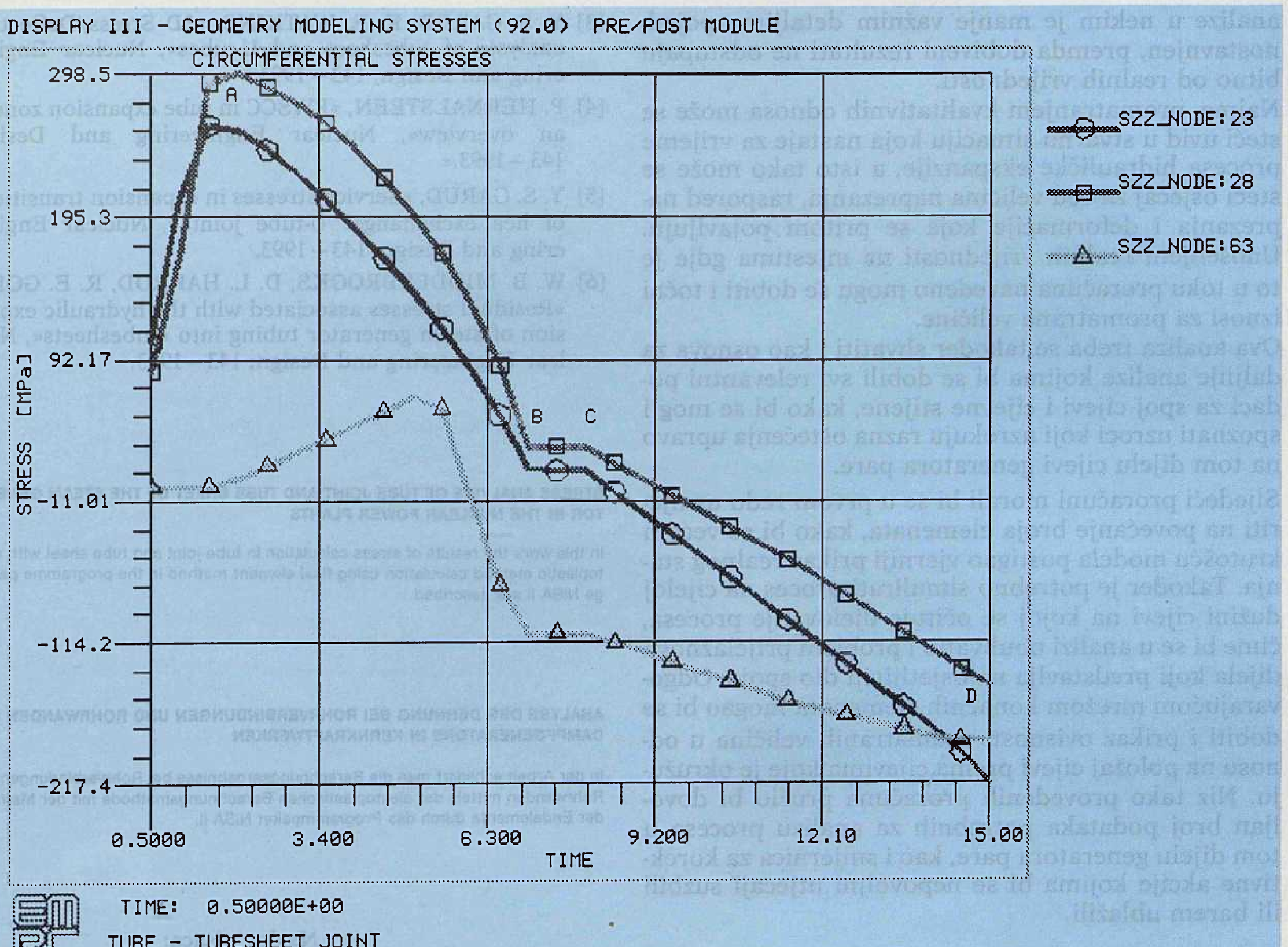
Promjene koje se događaju u spoju cijevi i cijevne stijene najbolje se očituju u grafičkim prikazima 13 – 15. Na njima su prikazane promjene naprezanja i pomaka u ovisnosti o veličini narinutog tlaka hidrauličke ekspanzije (vidjeti sliku 4). Za prikaz su odabrane karakteristične točke spoja, kao što su točka na unutarnjoj stijenki cijevi (čvor 23), točka na vanjskoj



Slika 13. Pomaci u karakterističnim točkama spoja za vrijeme hidrauličkog procesa



Slika 14. Radijalna naprezanja u karakterističnim točkama spoja za vrijeme procesa hidrauličke ekspanzije



Slika 15. Raspodjela tangencijalnih naprezanja u karakterističnim točkama spoja za vrijeme procesa hidrauličke ekspanzije

stijeni cijevi (čvor 28) i točka na unutarnjoj strani cijevne stijene (čvor 63).

Grafički prikaz na slici 13. prikazuje pomake karakterističnih točaka tijekom hidrauličke ekspanzije. U prvoj fazi (0 – A) cijev se nalazi u elastičnom području i prati Hookeov zakon. Nakon toga dolazi do plastifikacije i cijev se s porastom unutrašnjeg tlaka deformira znatno brže (A – B). To traje sve do trenutka dok ne iščezne zazor između cijevi i cijevne stijene, tj. kad dođe do njihova kontakta (točka B). U tom trenutku nastaje pomak točke na cijevnoj stijeni, pa se oba elementa deformiraju zajedno do maksimalnog opterećenja (B – C).

Pošto se vrijednost tlaka počne smanjivati, rasterećuje se spoj (D – E). Vrijednosti pomaka u točki E su one koje zaostaju nakon potpunog rasterećenja, odnosno kad vrijednost tlaka padne na vrijednost 0,00 MPa.

Kako se mijenjaju radijalna naprezanja u karakterističnim točkama za vrijeme hidrauličkog procesa, može se vidjeti na slici 14. Naprezanje u čvoru 23 predstavlja upravo tlak narinut unutar cijevi, samo suprotnog predznaka. Čvorovi 28 i 63 imaju istu vrijednost radijalnog naprezanja, što je i logično prema načelu akcije i reakcije. U prvoj fazi to naprezanje je 0,00 MPa (O – A) dok ne dođe do kontakta cijevi i cijevne stijene, a nakon toga se naprezanja mjenjaju u skladu s odgovarajućom promjenom hidrauličkog tlaka. Na kraju procesa vrijednost naprezanja koja je zaostala predstavlja vrijednost kontaktnog pritiska u spoju.

Slika 15. prikazuje promjene obodnih naprezanja. Iz slike se može vidjeti kako naprezanje raste do momenta plastifikacije, a zatim se smanjuje, što je potpuno u skladu s teorijom za plastifikaciju debelih cijevi. Za vrijeme rasterećenja, naprezanja postaju negativna, što je posljedica činjenice da se neplastificirani dio cijevne stijene želi vratiti u prvobitni oblik, u čemu ga plastificirani dio sprečava. Posljedica te pojave jest zaostalo tlačno naprezanje u cijevnoj stijeni u rubnoj zoni plastične deformacije.

5. ZAKLJUČAK

Provedena elastoplastična analiza naprezanja i deformacija u spoju cijevi i cijevne stijene, kao i rezultati koji su dobiveni pionirski su pokušaj proračuna ovog tipa naprezanja u našoj zemlji. Zato se i dobiveni rezultati trebaju promatrati ponajprije kao primjer za provođenje takve vrste proračuna u kojoj bi se analiziralo nastajanje spoja i njegove karakteristike. Zbog toga i svi ulazni podaci nisu bili iskazani u cijelosti realnim parametrima, a sam postupak ove

analize u nekim je manje važnim detaljima pojednostavnjen, premda dobiveni rezultati ne odstupaju bitno od realnih vrijednosti.
Naime, promatranjem kvalitativnih odnosa može se steći uvid u stvarnu situaciju koja nastaje za vrijeme procesa hidrauličke ekspanzije, a isto tako može se steći osjećaj za red veličina naprezanja, raspored naprezanja i deformacije koja se pritom pojavljuju. Unošenjem realnih vrijednosti na mjestima gdje je to u toku proračuna navedeno mogu se dobiti i točni iznosi za promatrane veličine.
Ova analiza treba se također shvatiti i kao osnova za daljnje analize kojima bi se dobili svi relevantni podaci za spoj cijevi i cijevne stijene, kako bi se mogli spoznati uzroci koji uzrokuju razna oštećenja upravo na tom dijelu cijevi generatora pare.
Sljedeći proračuni morali bi se u prvom redu usmjeriti na povećanje broja elemenata, kako bi se većom krutošću modela postigao vjerniji prikaz realnog stanja. Također je potrebno simulirati proces na cijeloj dužini cijevi na kojoj se očituje djelovanje procesa, čime bi se u analizi obuhvatio i problem prijelaznoga dijela koji predstavlja najosjetljiviji dio spoja. Odgovarajućom mrežom konačnih elemenata mogao bi se dobiti i prikaz ovisnosti promatranih veličina u odnosu na položaj cijevi prema cijevima koje je okružuju. Niz tako provedenih proračuna pružio bi dovoljan broj podataka potrebnih za analizu procesa u tom dijelu generatora pare, kao i smjernica za korektivne akcije kojima bi se nepovoljni utjecaji suzbili ili barem ublažili.

LITERATURA

[1] W. PRAGER, P. G. HODGE, »Theory of Perfectly Plastic Solids«, Dover Publications Inc., New York, 1951.
[2] Selected Topics in PWR Steam Generator Technology, London, England, 1985.
[3] Y. S. GARUD, K. E. WATKINS, »3D Stress/Deflection analysis of tubesheet and U-tubes«, Nuclear Engineering and Design, 143 – 1993.
[4] P. HERNALSTEEN, »PWSCC in tube expansion zone — an overview«, Nuclear Engineering and Design, 143 – 1993.«
[5] Y. S. GARUD, »Service stresses in expansion transitions of heat-exchananger U-tube joints«, Nuclear Engineering and Design, 143 – 1993.
[6] W. B. MIDDLEBROOKS, D. L. HARROD, R. E. GOLD, »Residual stresses associated with the hydraulic expansion of steam generator tubing into »tubesheets«, Nuclear Engineering and Design, 143 – 1993.

STRESS ANALYSIS OF TUBE JOINT AND TUBE SHEET OF THE STEAM GENERATOR IN THE NUCLEAR POWER PLANTS

In this work the results of stress calculation in tube joint and tube sheet with elastoplastic method calculation using final element method in the programme package NISA II are described.

ANALYSE DER DEHNUNG BEI ROHRVERBINDUNGEN UND ROHRWANDEN DES DAMPFGENERATORS IN KERNKRAFTWERKEN

In der Arbeit schildert man die Berechnungsergebnisse bei Rohrverbindungen und Rohrwanden mittels der elestoplastischen Berechnungsmethode mit der Methode der Endelemente durch das Programmpaket NISA II.

Naslov pisaca:
Damir Stanić, dipl. ing.
mr. Hrvoje Kunaj, dipl. ing.
Inetec — Zagreb
Koturaška 51
Croatia

Uredništvo primilo rukopis:
1994-01-21.

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

PRIKLJUČEN PRVI AGREGAT PTE »DUJMOVAČA«

U nazočnosti Vladimira Krombergera, dominstra za energetiku, predsjednika Upravnog odbora HEP-a Damira Begovića i predstavnika županijskog tijela kao i brojnih predstavnika gospodarstvenika, početkom ožujka ove godine u splitskoj industrijskoj zoni Dujmovača priključen je na mrežu prvi agregat PTE »Dujmovača«.
Prvi agregat PTE »Dujmovača«, instalirane snage 26 MW, čija je vrijednost oko 36 milijuna DEM, isporučila je njemačka tvrtka EGT iz Essena. Građevinske radove su izvela splitska poduzeća »Lavčević« i »Konstruktor«. Radovi su trajali pet mjeseci.
Drugi agregat PTE »Dujmovača« trebao bi biti priključen na mrežu tijekom drugog polugodišta ove godine.
Puštanjem u pogon obaju agregata Split i okolica dobivaju jamstvo da će ubuduće znatno kvalitetnije i urednije biti opskrbljeni električnom energijom. Naime, plinskoturbinska elektrana ukupne snage 52 megavata može dnevno proizvesti više od 12 milijuna kilovatsati električne energije. Uz dva samostalna bloka plinskoturbinskog postrojenja izgrađena je i nova trafo-stanica, te prijenosni visokonaponski sustav. Nadalje, izgrađeni su i spremnici za gorivo, jer će se PTE Dujmovača koristiti dizelskim gorivom.

I. R.

IZGRADNJA NAFTNOG TERMINALA U RUSIJI

Početkom ove godine potpisan je ugovor između INE i ruske tvrtke »Far Eastern Petroleum Co« iz Vladivostoka. Vrijednost ovog objekta je 122,5 milijuna dolara. Taj vrijedan posao INA je dobila u jakoj međunarodnoj konkurenciji najpriznatijih svjetskih tvrtki iz Njemačke, Nizozemske, Japana, Italije, Južne Koreje i Francuske.
INA će u posao uključiti mnoge hrvatske tvrtke, a prema potrebi i ruske, a glavni izvođač radova bit će zagrebačka »Montmontaža«.

I. R.

NOVI PROJEKT OTOČNA VEZA II — POLAGANJE PODMORSKOG KABELA

Prema izvješću stručnog tima HEP-a potkraj travnja gradnja otočne veze ušla je u završnu fazu. Svih 13 potrebnih objekata je u gradnji. Sredinom lipnja u naše vode stiže specijalni brod iz Danske koji će položiti podmorske kabele u dužini 50 km između Raba i Paga, Paga i zadarskog kopna, te između Paga i podvelebitskog kopna. Struja bi tim kabelima trebala poteći već početkom srpnja, kako su izjavili članovi stručne komisije. U izvješću je objavljen i drugi veliki HEP-ov projekt nazvan »Otočna veza II«, kojim će se poboljšati elektrosituacija na jadranskim otocima, od dubrovačkog do zadarskog područja, gdje će se položiti podmorski kabeli na osam lokacija, i to između Pelješca i Korčule, Korčule i Lastova, Mljeta i Pelješca, Brača i Šolte, Šolte i Čiova, Bibinja i Kukljice — Sali te između Lošinja i Silbe. Taj projekt će stajati 20 milijuna DEM.

I. R.

PLAN IZGRADNJE PLINOVODA U SLAVONIJI

Plan izgradnje plinovoda što je usvojila INA — Naftaplin uspješno se ostvaruje. Tijekom 1993. godine završeni su plinovodi Slavonski Brod — Vinkovci i Strizivojno — Đakovo. Radovi na plinovodima Našice — Slavonski Brod su u tijeku i bit će završeni ove godine.
Nastavljaju se radovi i na drugim objektima. Tako je već nabavljena oprema za gradnju plinovoda Ivankovo — Županja, Konjščina — Sveti Ivan Zelina i Legrad — Donja Dubrava. Gradnja tih objekata početi će kada bude dobiveno dopuštenje. Od ostalih plinskih objekata planira se gradnja triju priključnih plinovoda na polju Okoli za koje se već izrađuju geodetske podloge. Završava se i predinvesticijska studija za povećanje kapaciteta PSP Okoli (sa 350 na 500 milijuna prostornih metara plina).
Priprema se i tehnička dokumentacija za mjerno-redukcijske postaje (MRP) Gola, Ledinec, Županja, Sveti Ivan Zelina i Donje Međimurje.

I. R.

RADNA SKUPINA ZA TE PLOMIN II

Hrvatska elektroprivreda je pokrenula pitanje osiguranja investicija za završetak izgradnje TE Plomin II. U vezi sa svršetkom TE Plomin II ima tehničkih i financijskih problema, pa je osnovana radna skupina koja bi sa stranim ponuđačem trebala pronaći tehnička rješenja, izraditi proračune ukupnih troškova koji se, prema procjenama, kreću od 300 do 400 milijuna dolara i način financiranja. Do sredine svibnja taj dio poslova trebao bi biti gotov.

I. R.

S VJETROM U SLJEDEĆE TISUĆLJEĆE

Energetska postrojenja na vjetar mogla bi ubuduće u vjetrovitim predjelima preuzeti nekoliko postotaka opskrbe električnom energijom te na taj način svrhovito dopunjavati energetsku ponudu. Da bi se vjetar optimalno iskoristio, tehničari također primjenjuju tehniku koja već postoji u drugim područjima. Tako jedan talijanski projekt uvodi za reguliranje snage tehniku koja se koristi za podešavanje brodskih propelera.

Zamislite vjetrenjaču promjera rotora 60 m koji je postavljen na 60 m visokom tornju daje snagu od ravnih 1,9 MW. Istu snagu daje vodna turbina promjera rotora samo 2 m pri padu 8 m. Imamo li uz to na umu da postrojenja i u krajevima s dosta vjetra ne rade neprekidno i da često daju samo dio svoje snage, tada će biti jasno: energetska postrojenja na vjetar mogu biti samo dopunska, ali ne alternativa. Energija vjetra ipak je vodeća među obnovljivim energijama. To, međutim, nije i po povoljnim troškovima proizvodnje, koji po proizvedenom kilovatsatu iznose u Njemačkoj oko 0,165 DM, a u Italiji oko 0,155 DM.

Cilj programa dobivanja energije iz vjetra u Italiji jest da se iz vjetra dobiva oko 2% električne energije. S tom bi se električnom energijom moglo opskrbljivati oko milijun stanovnika. Energija iz vjetra proizvodila bi se, među ostalim, pomoću dvaju različitih tipova strojeva, Medit MK2 snage 320 kW i Gamma 60 snage 1 900 kW. Ta su postrojenja orijentirana na europsko tržište vjetrenjača, koje se koncentrira na dvije klase snage: srednji strojevi sa 200 do 400 kW snage i veći sa 1 500 kW i više. Pogon postrojenja na energiju vjetra vodi državna elektroprivreda (ENEL).

Pri realizaciji svog zadatka došli su odgovorni inženjeri na misao, da bi tehnika podešavanja brodskih, vijaka, propelera mogla biti prikladna za regulaciju energetskih postrojenja na vjetar, koja se sastoji od odgovarajućih komponenata — iz glavčine, glavne osovine, hidrauličko-mehaničkog upravljanja perajama rotora, kao i okretnog ležaja i pogona podešavanja gondole.

Oba spomenuta tipa generatora na vjetar imaju vodoravne osovine rotora. Uz tu vrstu postoje također i generatori na vjetar s okomitom osovinom i perajama oblika prstena lûka, nazvani Darrieus-generatori prema svom izumitelju, a prednost im je da ne moraju biti usmjeravani prema vjetru i da su im teški strojni dijelovi na tlu. Oni, međutim, dostižu samo oko 70% korisnosti strojeva za vodoravnim osovinama, zauzimaju veći prostor i ne pokreću se samostalno. Stoga postoji tendencija da se vodoravni rotori postavljaju tako visoko koliko je god moguće, jer je vjetar u slojevima blizu tla prigušen.

Tehnički podaci prije spomenutih generatora na vjetar:

	Medit MK2	Gamma 60
Maksimalna snaga	320 kW	1.900 kW
Broj peraja rotora	2	2
Promjer rotora	33 m	60 m
Visina glavčine	26 m	66 m
Kut osovine rotora	6°	6°
Brzina vrtnje	41,6 o/min	150 do 55 o/min
Prenosni omjer	1:36,4	1:32,6
Regulacija snage	podešenje peraja	podešenje gondole
Podešavanje peraja	hidrauličko/-/mehaničko	nema

U krajevima s dosta vjetra energetska postrojenja na vjetar mogu dosegnuti do 80% rada. Ako poslije tihog vremena zapuše vjetar, tada će se postrojenje pokrenuti kod brzine uključenja od približno 4,5 m/s (jačina vjetra 3). Pri prevelikoj ili premaloj brzini vjetra zaustavit će se također automatski. Rotor vjetrenjače Medit prilagođava se vjetru podešenjem peraja te se vrti konstantnom brzinom vrtnje. Gotovo dva puta tako duge peraje Gamma vjetrenjače fiksno su smještene i rotor se vođenjem gondole usmjerava prema vjetru. Osim toga je njezina brzina vrtnje promjenljiva (vidjeti gore). Glede jačine buke energetska postrojenja na vjetar moraju udovoljavati određenim zahtjevima. Pomoću aerodinamičkih mjera postiže se da buka rotora koji se vrti, svedena na određenu brzinu vjetra, bude samo neznatno jača od šuma vjetra na vrhovima peraja mirujućeg rotora.

Od 1985. do danas pušteno je u rad 20 postrojenja tipa Medit MK2, daljnja 61 su dovršena ili su u izgradnji. Tri prototipa su u pogonu već tri do četiri godine na Sardiniji, u južnoj Italiji i u Egiptu.

Godine 1989. počeo je razvoj Gamma 60. Prvi prototip tog stroja s rotorom promjera 60 m upravo dovršava probni rad na ispitnom mjestu ENEL-a kod Alta Nurra na Sardiniji. Do sada se postigao teret 80% pune snage.

Iako vjetrenjače imaju dugu tradiciju korištenja, ipak je riječ o mladoj tehnologiji, koja je dobila zamah tek nakon naftne krize 1973. godine, što se odražava na mnoge projekte. Od 80-ih godina u EZ je u tijeku program »Joule« s približno 100 projekata vrijednosti financiranja 46,7 Mio Ecu. 1986. startao je program »Valoren«, koji financijski potpomaže izgradnju energetskih izvora u rubnim područjima EZ-e. Riječ je o projektima u Grčkoj, Irskoj, južnoj Italiji, Korzici i nekim regijama Portugala i Španjolske. EZ želi još jače putem programa »Thermie« pospješiti izvore obnovljive energije u svim zemljama Europe. Riječ je o ukupnim investicijama Europe koje se odnose na izgradnju energetskih postrojenja pogonjenih vjetrom u iznosu oko 180 Mio Ecu (218 Mio US-$).

Instalirana snaga u MW

Zemlja	1990.	Planirano do 1995.	Planirano do 2000.
Danska	300	–	1 000
Nizozemska	60	250	1 000
Njemačka	14	250	500
Italija	2	100	1 000
Velika Britanija	7	50	–
Španjolska	4	250	1 000
Grčka	1	–	400
SAD	1 500	–	–

Sulzer Technical Review 2/93

E. H.

BIJELA PARA UMJESTO CRNOG DIMA

Spaljivanje je najučinkovitiji način da otpadne materije prevedemo u kemijski jednostavne preostale materije. U spaljivanju smeća Švicarska je u samom svjetskom vrhu: Više od 80% kućanskih otpadaka dospijeva u spalionice smeća. U Njemačkoj oko 40%, a u Europskoj zajednici u prosjeku samo 30%. Propisi o čistoći zraka koji su stupili

na snagu početkom 1986. godine uvjetuju da uređaji za spaljivanje smeća moraju imati dodatne uređaje za pročišćavanje dimnih plinova, jer sami dosadašnji elektrofiltri nisu više dovoljni.
U Švicarskoj godišnje nastaje 2,5 Mio tona smeća od otpadaka iz naselja, tj. 400 kg po stanovniku. Bez obzira na velike napore, da se otpaci reduciraju ili recikliraju, morat će se također i ubuduće znatne količine spaljivati radi znatnog smanjenja obujma, što je kod ograničenog broja i površina odlagališta vrlo značajno. Uz to toplinu koja nastaje spaljivanjem moguće je koristiti za grijanje.
Dimni plin se sastoji s jedne strane iz čvrstih ili tekućih djelića (kapljice vode, soli, oksidi, čađ), s druge strane iz plinovitih tvari (vodena para, ugljični-monoksid, sumporni i dušikovi oksidi, klorovodik i fluorovodik kao i teške kovine). Velik dio tih tvari je otrovan, pa ih valja ukloniti iz dimnog plina da bi zaštitili čovjeka i okoliš.
Filtri, prije svega elektrofiltri, zadržavaju veći dio čvrstih čestica koje se nalaze u dimnom plinu. Danas se mogu postaviti elektrofiltri koji su znatno učinkovitiji od prijašnjih. Po toni smeća je između 20 i 30 kilograma prašine u filtru, koju pak zbog teških kovina u njoj moramo dalje obraditi, što se obavlja mokrim postupkom čišćenja.
Prašina koja se izluči u elektrofiltrima podvrgava se postupku pranja. Rastopljivi djelići zajedno s vodom za ispiranje uređaja za čišćenje dimnih plinova oslobađaju se teških kovina u postrojenju za kondicioniranje vode za ispiranje. Preostale čiste otopine soli u dvostupanjskom isparivačkom postrojenju koncentriraju se u slanu otopinu s oko 25% NaCl, koja se u industriji koristi kao sirovina. Mulj iz uređaja za pročišćavanje vode za ispiranje i izaprana prašina iz filtra u jednom postrojenju za miješanje smiješaju se s cementom i u stanju vlažnosti poput zemlje ugrađuje na odlagalište u slojevima. Na taj način nastaje višeslojni blok betona u kojem su škodljive tvari uklopljene u veoma nerastopljivom obliku.
Spomenimo spalionicu Winterthur (CH), gdje se prašina iz filtra pretežno pretvara u betonske blokove, a uz to je postavljen i uređaj za čišćenje dimnih plinova po vlažnom postupku. Bijela zastava koja se već prema smjeru vjetra vidi, sastoji se, zbog prethodnog intenzivnog pranja dimnih plinova, praktički samo još od bezazlene vodene pare.
Zahvaljujući učinkovitom čišćenju dimnih plinova (vidjeti tablicu), postižu se vrijednosti ispušnih plinova koje ne samo što zadovoljavaju odredbe najnovijih propisa o pridržavanju čistoće zraka, već se postižu znatno povoljnije niže vrijednosti. Na primjer, u Winterthuru u zrak se godišnje ispušta više od 800 tona manje škodljivih tvari. Više od 99% klorida i sumpornog dioksida, kao i više od 95% fluorida odstranjuje se.

Izlučivanje škodljivih tvari u spalionici smeća Winterthur (ugovorne i mjerene vrijednosti pri trajnom opterećenju)

Škodljive tvari		Nepročišćeni plin		Čisti plin (garantirane vrijednosti)	Izlučivanje	Čisti plin (mjereno)
		(mg/m^3)	(t/god.)	(mg/m^3)	%	(mg/m^3)
kloridi	kao HCl	900,0	650,0	10,0	99	1 – 2
fluoridi	kao HF	10,0	7,2	0,5	95	0,1 – 0,2
sumpor	kao SO_2	250,0	180,0	25	90	1
teške kovine		12,6	9,0	3,2	75	0,7 – 2,7
prašina		40,0	28,8	30,0	25	7 – 25
ukupno			875,0			

Technische Rundschau Sulzer 4/1992

E. H.

POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE PO STANOVNIKU U AUSTRIJI

Potrošak električne energije po stanovniku (1992) u pojedinim austrijskim saveznim zemljama vrlo je različit. Dok Tirol ima po stanovniku najveći potrošak od 8 554 kWh/godinu, Burgenland (Gradišće) ima najmanji od samo 3 496 kWh/god. Srednja vrijednost za cijelu Austriju iznosi 6 318 kWh/god. Niska vrijednost potrošnje u Burgenlandu ne znači da su tamošnja domaćinstva slabije opremljena kućanskim aparatima nego ostali dio Austrije, već da je taj kraj slabije industrijaliziran.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 10

Mrk.

SURADNJA NJEMAČKE I RUSKE TVORNICE TURBINA

Njemačka tvrtka Siemens i najveći ruski proizvođač turbina Kaluški Turbinski zavod (KTZ) iz Kaluge sklopili su ugovor o kooperaciji. Siemens je ujedno otkupio 10 % dionica ruskog poduzeća. Zajedno s poduzećima za proizvodnju turbina u Görlitzu i Weselu, KTZ će proizvoditi komponente za siemensove turbine. Kooperanti će prije svega prodavati svoje proizvode u zemljama ZND, no Siemens će pomoći ruskom partneru da se probije i na zapadnoeuropsko tržište. Predviđena je također suradnja na području istraživanja i razvoja. Sa svojih 9 200 zaposlenih KTZ je najveći proizvođač industrijskih turbina do 35 MW u zemljama bivšeg SSSR-a.

ETZ, god. 114 (1993), br. 21

Mrk.

ENERGIJA SUNCA ZA DOMOVE U PLANINAMA

Štajerska elektroprivreda (Austrija) stavila je u pogon solarnu elektranu snage 1 200 W, na planinarskoj kući Kaiblingalm. Pri planiranju i izgradnji ovog uređaja korištena su iskusta stečena u radu solarnih elektrana na planinarskim kućama Gastoder (30 W), Reichensteinhütte (900 W) i Grinangerhütte (600 W). Kuća je smještena na nadmorskoj visini od 1 800 m i otvorena je cijele godine. Prema tome, uređaj se može stalno nadzirati, pa i u doba najniže solarne aktivnosti. Uređaj se sastoji od 24 monokristaličnih ćelija na pocinčanim čeličnim nosačima sigurnim od vjetra, a da-

je istosmjernu struju od 48 V. Time se mogu puniti baterije ili preko presmjerivača koristiti pod 220 V, za rasvjetu i aparate. U slučaju lošeg vremena napunjene baterje mogu služiti 3 do 4 dana.
U Švicarskoj je već dvaput demonstrirana upotrebljivost solarnih elektrana na srednjim visinama. Već prema vrsti modula, postignute su snage, za vedra vremena i okomitog upada sunčevih zraka, 0,073 kW/m² do 0,093 kW/m². U kantonu Graubinden (Švicarska), na visini 1 900 m, postignuta je čak snaga od 0,125 kW/m². U takvim se visinama u Austriji došlo do 0,118 kW/m². No austrijski se prosjek oko 0,1 kW/m². U brdima iznad Insbrucka, na visini od nekih 1 900 m, odobreno je mjesto gdje bi se mogla izgraditi solarna elektrana s modulima na površini od 800 – 1 000 m², snage 125 kW, godišnje proizvodnje 180 000 kWh.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 10

Mrk.

PODIZANJE VISOKONAPONSKIH STUPOVA DALEKOVODA POD NAPONOM

Sve veće opterećenje prijenosnih linija izaziva razmjerno visoke temperature vodiča, sve do dopuštenih 80 °C. Posljedica toga su povećani prosjeci, što pak traži podizanje ovješenja vodiča. Njemačka tvrtka ABB razvila je postupak kojim je moguće podići čelično rešetkasti stup, pod naponom, za 3 m, a u beznaponskom stanju za 5 m. Oko stupa, koji treba podići, montiraju se u 4 vertikalna nosača i opašu s dva četverokutna okvira. Stup se učvrsti na platformu koja se hidraulički podigne po vodilicama ugrađenim u vertikalne nosače. Stup se s donje strane dogradi čeličnom konstrukcijom i ponovno učvrsti na temelje. Ova je metoda osobito pogodna tamo gdje zbog mjesnih prilika nisu primjenljivi uobičajeni postupci.

ETZ, god. 114 (1993), br. 21

Mrk.

AKUMULIRANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SVICIMA

Važna iskustva o akumuliranju električne energije u supravodljivim svicima prikupljena su izgradnjom i upotrebom takvih uređaja za stvaranje jakih magnetskih polja potrebnih za nuklearna istraživanja. Računa se da je kod svitaka hlađenih tekućim helijem korisnost između 90 % i 93 %. Upotrebom visokotemperaturnih supravodiča, hlađenih tekućim dušikom, korisnost bi mogla doseći i 96 %. U spomenutim svicima istraživačkih laboratorija postignut je kapacitet akumulacije od 250 kWh. Pretpostavi li se bar jedno uključenje i isključenje dnevno, dobiva se vrijednost od 91 250 kWh godišnje. Zbog mogućnosti brze raspoloživosti akumulirane električne energije, supravodljivi svitci mogli bi, u vrhovima opterećenja, služiti za stabilizaciju frekvencije. Zbog vrlo dobre povezanosti električnih mreža u srednjoj Europi, akumulacijski svici reda veličine oko 1 000 kWh u dogledno vrijeme neće biti potrebni, no manji takvi uređaji, za specijalne svrhe, mogli bi biti zanimljivi. U Njemačkoj je studirana izvedivost i planirana gradnja golemoga supravodljivog svitka akumulacionoga kapaciteta od 5 milijuna kWh. Troškovi su procijenjeni na 1,5 milijarde DEM.

ETZ, god. 114 (1993), br. 21

Mrk.

HIDROENERGIJA U EUROPSKOJ ZAJEDNICI

Od ukupno proizvedenih 177 milijardi kWh u hidroelektranama, u zemljama EZ (1992), 40,5 % proizvedeno je u Francuskoj. Udio Italije bio je 25,4 %, Njemačke 12,2 %, a Španjolske 11,7 %. Ostatak od nekih 10 % otpada na ostale zemlje Zajednice. Od ukupne proizvodnje sviju zemalja EZ 9,6 % električne energije daju hidroelektrane. Taj postotak u Japanu iznosi 12 %, a u SAD samo 8,6 %.

ETZ god. 114 (1993), br. 19

Mrk.

KABEL 400 kV IZOLIRAN UMREŽENIM POLIETILENOM

Tvrtka ABB (Mannheim) prva je u Europi koja će položiti kabel 400 kV izoliran umreženim polietilenom. Uređaj je naručilo njemačko elektroprivredno poduzeće Neckarwerke (Esslingen). Kabel će imati duljinu 330 m, a služit će za priključak nove toplane-elektrane Altbach/Deizisan. Vodič je presjeka 800 mm², a može prenositi snagu 600 MVA. Nakon provedenih testova na jednofaznim primjercima u Njemačkoj, Švicarskoj i Švedskoj, to će biti prvi takav trofazni komercijalni kabel. Prije su se takvi priključci radili u tehnici plinom izoliranih cijevnih sistema. Unutar gradskih područja upotrebljavan je isključivo niskotlačni uljni kabel. No plastični je mnogo jeftiniji u gradnji i održavanju.

ETZ, god. 114 (1993), br. 19

Mrk.

ZEMNI PLIN IZ NORVEŠKE

Norveško državno društvo za naftu i plin Statoil planira investicije od 20 milijardi USD, kako bi u sljedećih 28 godina moglo zapadnu Europu opskrbljivati plinom. Cijena tog plina iznosila bi 100 milijardi USD. Polovicu tog plina preuzela bi Njemačka, pa bi 2005, udio plina iz Norveške iznosio 25 %, prema danas 14 %. Kako Norveška za svoje potrebe troši jeftinu električnu energiju iz hidroelektrana, mali je interes za zemni plin. U 1992. godini izvoz zemnog plina iznosio je 26 milijardi m³, a u 2005. predviđa se 48 milijardi m³. Uz takvo iskorištenje poznate rezerve trajat će 50 godina.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

RANO OTKRIVANJE KVAROVA NAMOTA GENERATORA

Najčešći uzrok ispada generatora i velikih motora jest kvar na izolaciji namota. Do sada su se takvi kvarovi uklanjali uz mnogo truda uz otvaranje stroja. No nova dijagnostika razvijena u Canadian Electrical Association (CEA) znatno je povećala pouzdanost električnih strojeva, jer metoda se primjenjuje i dok su strojevi u pogonu. Rezultate koje pokazuje kontrolni uređaj može pogonsko osoblje lako procijeniti. Ovo ispitivanje (PDA) predviđeno je ponajprije za hidrogeneratore, a uređaj je instaliran na više od 750 strojeva. Za uređaje iznad 4 kV primjenjuje se ispitna metoda TGA, koju je do sada ugradilo 9 elektroprivrednih poduzeća u Kanadi i SAD. Pomoću obaju dijagnostičkih sistema mogu se godi-

nama prije ispada utvrditi kvarovi na namotima i na taj način popraviti u toku planskog remonta.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

HIDROELEKTRANE U MESINSKOM TJESNACU

Talijansko društvo Enermar namjerava izgraditi na morskom dnu Mesinskog tjesnaca elektranu koju će pokretati morska struja brzine 3 m/s do 5 m/s i količina vode od 1 milijuna m³. Na dnu će biti usidreni betonski blokovi na duljini od 3 km, a između njih će strujati voda i pokretati 4 krila na pokretnoj platformi. Ova će se pak rotacija prenositi na turbine. U početku će se uz trošak od 60 milijuna DEM ugraditi dvije turbine snage po 100 MW. Za projekt se zanimaju Engleska i Francuska, a posebno Norveška, jer su tamo u mnogim fjordovima strujanja mora još veća od onh uz Siciliju.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

PROCESNA AUTOMATIZACIJA

Svjetsko tržište za procesnu automatizaciju raste prosječno godišnje za nekih 6,9 %. Od 53,8 milijardi DEM u 1992. narast će u 2000. na 91,7 DEM. To je utvrdila međunarodna studija izrađena u Švicarskoj. Udio pojedinih svjetskih regija, prema navedenoj studiji, iznosi:

	1992. god.	2000. god.
	53,8 md DEM	91,7 md DEM
Zap. Europa	33,8 %	32,8 %
Ist. Europa	9,3 %	7,6 %
Azija-Pacifik	26,2 %	32,3 %
Sjev. Amerika	30,7 %	27,3 %

Kao što se vidi, udio istočne Europe se prema koncu stoljeća smanjuje, na što će utjecati nestabilne političke prilike i pomanjkanje sredstava. Tek nakon tog razdoblja očekuje se jači trend ulaganja u procesnu automatizaciju.

ETZ, god. 114 (1993), br. 20

Mrk.

POTROŠNJA ENERGIJE ĆE SE PODVOSTRUČITI

Prema procjeni UN stanovništvo Zemlje će se povećati do 2020. godine od današnjih 5,3 milijarde na 8,1 milijardu. Prema studiji WEC povećat će se ujedno i svjetska potrošnja energije od 369 EJ na 723 EJ (eksa = 10^{18}).
U godini 2020. živjet će 80 % stanovništva u zemljama u razvoju. Njihov udio u potrošnji energije u svijetu porast će od 33 % na 55 %. Želi li se postići barem minimalno blagostanje, treba naći dodatne energetske izvore. Energetska osnova ostaju fosilna goriva i nuklearna energija. Obnovljivu energiju treba dalje razvijati, ali, i uz optimističke pretpostavke, njome će se tek u ograničenom opsegu moći pokrivati energetske potrebe.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

NORMALIZACIJA U TEHNIČKOM STUDIJU

Slaba konjuktura za zaposlenje drastično je smanjila zanimanje studenata za elektrotehniku i strojarstvo u Njemačkoj. Na primjer, na sveučilištu u Bochumu u doba konjukture upisalo se na elektrotehniku 400 studenata, premda se računalo da ima samo 300 mjesta. Naprotiv, u zimskom semestru 1993/94. upisano je samo 200 brucoša. Slična je pojava i na strojarstvu.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

ZNATNO SMANJENJE RADNOG VREMENA U NJEMAČKOJ

U posljednjih četrdesetak godina, tj. od 1950. do 1993, prosječno radno vrijeme njemačkih djelatnika znatno se smanjilo. Dok je dnevno radno vrijeme smanjeno samo 5 %, radno vrijeme, računajući u satima, u tijeku cijeloga radnog vijeka djelatnika smanjeno je čak 32 %. To dolazi odatle što je smanjen radni tjedan, povećani dopusti i slično. Prema podacima njemačkih institucija koje se bave radnim odnosima, prosječno radno vrijeme, izraženo u satima, skraćeno je u promatranom razdoblju kako slijedi:

	Sati		
	1950.	1993.	skraćenje
Radni dan	8,0	7,6	5 %
Radni tjedan	48	38,1	21 %
Radna godina	2 330	1 693	27 %
Rad u toku života	102 100	69 600	32 %

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

VISOKA KORISNOST PLINSKE TURBINE

Povećanje učinkovitosti goriva pri proizvodnji električne energije želja je svih voditelja termoelektrana. Danas postižu plinske turbine u pojedinačnom pogonu korisnost od 35 %, a u kombiniranom pogonu čak 54 %. Tvrtka ABB razvila je nov koncept plinske turbine s velikom korisnosti. Izgrađena je turbina, tip GT 26, snage 240 MW, za sustav 50 HZ, prije svega za Europu, i tip GT 24 za američko tržište, gdje elektrosustavi imaju frekvenciju 60 HZ. Korisnost ovih strojeva doseže 37,8 %, a u kombinaciji s parnom turbinom čak 58,5 %.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

IZGRADNJA NOVOG EUROPSKOG NUKLEARNOG REAKTORA

Proizvođači opreme za nuklearne elektrane francuski Framatom i njemački Siemens osnovali su Nuclear Power International (NPI), organizaciju kojoj je cilj razvoj nove generacije nuklearnih reaktora za svjetsko tržište. Treba računati time da je mnogim nuklearkama vijek trajanja već pri kraju, pa će ih trebati zamijeniti. Iskustvo s reaktorima s vodom pod tlakom, staro više od 20 godina, dragocjen je kapital za ostvarenje novih koncepcija reaktora. Prvi korak u izgradnji novoga europskog reaktora s vodom pod tlakom (EPR) jest analiza koja je počela potkraj 1991, dosadašnjih različitih razvojnih putova nuklearne tehnike obaju partnera. U tom poslu dragocjena će biti i suradnja stručnjaka koji vode pogon nuklearnih elektrana. Svakako je

najvažnija zadaća nove koncepcije najveća moguća sigurnost i pouzdanost uređaja.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

PROIZVODNJA KABELA U ZEMLJAMA EZ

U zemljama EZ ima više od 100 proizvođačkih tvrtki za električne kabele i izolirane vodiče. Tvornice su locirane na 250 mjesta, a zapošljavaju 105 000 djelatnika. To je najveća svjetska grupacija u ovoj grani proizvodnje. Zatim slijede SAD i Japan. S izuzetkom Luksemburga, kabeli se proizvode u svim zemljama EZ, ponajviše u Francuskoj (Alcatel), Velikoj Britaniji (BICC), Italiji (Pirelli) i Njemačkoj (Siemens). Izvan EZ značajni su proizvođači u Europi još Švedska i Švicarska. Tvornice su redovno specijalizirane za određenu vrstu proizvoda, no u malim zemljama određena tvornica bavi se cijelom proizvodnom paletom.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

BIOTEHNIKA U PORASTU

Svjetsko tržite za modernu biotehniku imalo je u 1991. godini promet od 1 milijarde USD, kako je procijenila grupacija svjetske biokemijske industrije. U godini 2000. promet bi se mogao povisiti na 65 milijardi USD. Kao posebno važna pokazala su se biotehnička istraživanja, proizvodni postupci i uslužne djelatnosti na tom području. U prvom se redu obrađuju ekološki problemi. Industrija izrađuje tehničke uređaje za pročišćavanje vode i zraka, kao i odgovarajuće kompjutorizirane naprave za nadzor i regulaciju. Za takvom biotehnikom potražnja je sve veća.

ETZ, god. 114 (1993), br. 22

Mrk.

J. COUSTEAU PROTIV BRANE GABČIKOVO

Predviđena izgradnja brane Gabčikovo na Dunavu u Slovačkoj (vidjeti Energija god. 42 (1993), br. 1) za sada je obustavljena zbog protivljenja poznatog istraživača Jacquesa Cousteaua. Njegova je ekipa završila dvogodišnju studiju dunavskog bazena i utjecaja brane na okoliš. Cousteau smatra da se nikakve brane ne smiju graditi na dunavskoj aluvijalnoj ravnici.

Water Power, god. 45 (1993), br. 11

Mrk.

FOTOVOLTAIČKI UREĐAJI U SVIJETU

U godini 1992. u svijetu je prodano 57,9 MW (vršna snaga) fotovoltaičkih uređaja. Time je postignut godišnji porast od 4,7% prema godini 1991, kad je prodano 55,3 MW. Najveći je porast zabilježen u Europi. Potkraj 1992. u svijetu je bilo ukupno instalirano 374 MW fotovoltaičkih ćelija. Vrlo mnogo je instalirano u SAD i Japnu, a u Europi najviše u Njemačkoj. Ugrađena snaga u posljednje 3 godine vidljiva je iz tablice 1.

Tablica 1.

Područje	Vršna snaga ćelija u MW		
	1990.	1991.	1992.
Europa	10,4	13,0	16,2
SAD	14,9	17,0	18,3
Japan	17,1	20,2	19,0
Ostatak svijeta	4,8	5,1	4,0
Ukupno	47,2	55,3	57,9

Prema tipu ćelija sve su više zastupljene one sa silicijskim monokristalima. Vršna snaga u MW za pojedine tipove navedena je u tablici 2.

Tablica 2.

Tip ćelije	Vršna snaga ćelija u MW		
	1990.	1991.	1992.
mono Si	16,6	19,6	22,0
poli Si	15,5	21,0	20,4
amorfni Si i CdTe	15,1	14,7	15,5
Ukupno	47,2	55,3	57,9

ÖZE, god. 46 (1993), br. 11

Mrk.

FOTOVOLTAIKA U AUSTRIJI

Prema izvršenoj anketi, u Austriji je do 31. ožujka 1993. ukupno instalirano 364 kW (vršnih) fotovoltaičkih uređaja. Do godine 1992. porast snage bio je vrlo malen, najviše 70 kW godišnje (1989), no 1992. povećan je na 148 kW. Anketom su obuhvaćeni svi uređaji snage veće od 100 W, ali i manji ako služe za javne svrhe, npr. za napajanje sigurnosnih i mjernih uređaja, u prometu, za opskrbu planinarskih domova i slično. Od ugrađenih fotovoltaičkih ćelija 50,9 % je (po snazi) monokristaličnih, 47,9 % polikristaličnih i 1,2 % amorfnih. Udio monokristaličnih ćelija raste, pa su one u dijelu ugrađenom 1992. zastupljene sa 53,6 %, a polikristalnične sa 46,4 %. Najviše uređaja služi za potrebe stanova i kuća (31,7 %), planinarskih kuća i skloništa (12,5 %), škola (12,0 %) i prometa (11,2 %). Od austrijskih saveznih zemalja najviše instalacija ima u Gornjoj Austriji (31 %), a najmanje u Burgenlandu (Gradišću), samo 1 %. Od svih fotovoltaičkih uređaja 46 % vezanih je na javnu mrežu, 22 % su autarkični, a 32 % su sistemi snage slabiji od 100 W. Procjenjuje se da je ukupna snaga malih sistema oko 176 kW, pa bi ukupna vršna snaga austrijskih fotovoltaičkih uređaja iznosila oko 540 kW.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 11

Mrk.

KANAL CRVENO MORE—MRTVO MORE

Talijanska je vlada izrazila spremnost da financira preliminarnu studiju o mogućnosti izgradnje kanala koji bi vezao Crveno i Mrtvo more. Duljina kanala bila bi 280 km, a zbog razlike razina mogla bi se izgraditi hidroelektrana snage 800 MW. Plan je predložen vladi Izraela putem talijanskog ministarstva vanjskih poslova. Projekt bi potpomogla i Svjetska banka. Osamdesetih godina Izrael je predlagao sličan projekt: vezu Sredozemnog mora s Mrtvim morem. Bu-

dući da bi kanal išao preko okupiranog područja Gaze, naišao je na otpor Arapa, a, osim toga, prema Ženevskoj konvenciji na okupiranim se područjima ne smiju poduzimati veći građevinski radovi. Potkraj 1993. ovaj je plan ponovno postao aktualan zbog poboljšanja izraelsko — palestinskih odnosa.
Izrael je razmatrao i treću mogućnost povezivanja Mrtvog mora, i to kanalom od Sredozemnog mora kraj mjesta Beit She' an. Investicije za svaki od navedenih projekata procjenjuju se na 750 milijuna USD do 1,5 milijarde USD.

Water Power, god. 45 (1993), br. 12

Mrk.

MODERNIZACIJA SLOVENSKIH DRAVSKIH HIDROELEKTRANA

Slovenija je svoj dio toka Drave u potpunosti iskoristila. U vremenskom rasponu od 1918. (prvi agregati HE Fala) do 1990. (posljednja rekonstrukcija HE Fala) izgrađeno je 8 hidroelektrana ukupne instalirane snage od 542 MW, s godišnjom proizvodnjom 2 670 GWh. Elektroprivredno poduzeće Dravske elektrarne-Maribor odlučilo je modernizirati starija postrojenja. U tu je svrhu sklopljen ugovor o suradnji i koordinaciji projekta s tvrtkom Lehmeyer Intarnational GmbH. U prvoj će fazi biti rekonstruirane hidroelektrane Dravograd (1943), Vuzenica (1953) i Mariborski otok (1948) u razdoblju od 5 godina. U te tri elektrane, ukupne snage 114 MW, bit će ugrađeni novi generatori i turbine. Osim tih radova, planirana je izgradnja i triju novih rasklopnih stanica i modernoga dispečerskog centra iz kojeg bi se nadziralo i upravljalo cijelim lancem hidroelektrana na slovenskom dijelu Drave. Projekt je procijenjen na 220 milijuna DEM, a financirat će ga osim Slovenije i Europska banka za obnovu i razvoj (EBRD).

Water Power, god. 45 (1993), br. 11

Mrk.

SUNČEVA ĆE ENERGIJA POKRETATI ŽIČARU

Njemačko alpinističko društvo »Hohenstaufen« želi izvesti svjetski jedinstveni pokus za korištenje Sunčeve energije. Takvom bi se energijom trebala pokretati teretna žičara do planinarske kuće Göppinger Hütte na nadmorskoj visini 2 245 m (Lechtaler Alpen). Uz investicije od 90 000 DEM izgradit će se solarna elektrana s površinom ćelija 7 m² i baterijom koja će služiti za pogon u tamnim danima. Rasvjeta i kućanski aparati već su napajani iz fotovoltaičkog uređaja. Ti će uređaji omogućiti da se ukloni buka i smrad dizelskog motora.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 12

Mrk.

KINA GRADI NUKLEARNE ELEKTRANE

Danas Kina dobiva tek 0,1 % potrebne električne energije iz nuklearki. Prema podacima kineske agencije Xinhua, 75 % proizvedene električne energije dolazi iz termoelektrana na ugljen. Energetska situacija u zemlji može se poboljšati samo na temelju novih nuklearnih elektrana, kako se ne bi suviše onečistila atmosfera. Nakon NE Daya-Bay, koja će biti završena polovicom 1995, i dviju drugih koje su u gradnji, u planu je gradnja još nekoliko nuklearki.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 12

Mrk.

KORIŠTENJE ENERGIJE SUNCA U ZAPADNOJ AFRICI

Solarna se tehnika počela primjenjivati i na Kapverdsko Otočje. Služi ponajprije za opskrbu električnom energijom vodnih crpki, rashladnih uređaja i rasvjete. Te su instalacije dio jednog od najvećih projekata u svijetu na području praktične upotrebe fotovoltaike. Projektom su obuhvaćene vrlo sunčane zemlje zapadne Afrike: Burkina Faso, Gambija, Gvineja-Bisao, Kapverdsko otočje, Mali, Mauretanija, Niger, Senegal i Čad. U sljedećim bi godinama trebalo ugraditi solarne uređaje za 800 vodnih crpki, za rashladne uređaje u bolnicama i za rasvjetu škola. Cijeli projekt predviđa ugradnju od 24 000 fotovoltaičkih modula vršne snage 1 200 kW.
Ovaj višegodišnji projekt bit će financiran od međunarodne institucije Sahelskih država (CILSS) uz pomoć EZ koja je dala svotu od 34 milijuna ECU.

ÖZE, god. 46 (1993), br. 12

Mrk.

GRIJANJE PROSTORIJA TROŠI NAJVIŠE ENERGIJE

Njemački Savez elektrana (VDEW) iznio je vrlo zanimljive statističke podatke o konačnom utrošku energije u zapadnonjemačkom domaćinstvu. Prema tim podacima, od ukupne energije koje troši kućanstvo 49 % otpada na grijanje prostorija. Auto troši 36 % energije, priprema tople vode 8 %, kućanski aparati 6 %, dok se na rasvjetu troši samo 1 % ukupne energije kućanstva.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92 (1993), br. 22

Mrk.

DANCI O ELEKTRANAMA NA VJETAR

U Danskoj je gradnja elektrana na vjetar u 1992. godini nešto usporena. Te je godine izgrađena instalirana snaga vjetroelektrana od 44 MW, što je 40 % manje nego prethodne, 1991. godine. Provedena je anketa među stanovništvom da se čuje javno mišljenje o takvim instalacijama.

- 82 % ispitanika je izjavilo da smatra da se energija vjetra može iskoristiti u većem opsegu nego što je danas.
- 92 % smatra vjetroelektrane ekološki povoljnijim od termoelektrana na ugljen.
- 77 % je pripravno platiti 10 % više za struju iz vjetroelektrana.
- 61 % smatra da se vjetroelektrane dobro ili relativno dobro uklapaju u okoliš.
- glede buke, 3 % ispitanika smatra da su takvi uređaji vrlo bučni, 32 % nešto prebučni, 15 % da nisu bučni, a 41 % su odgovorili da ne znaju.

Proizvođači postrojenja za iskorištenje vjetra smatraju da je rezultat ankete povoljan i da će izgradnja vjetroelektrana opet živnuti.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92 (1993), br. 24

Mrk.

POTROŠNJA ENERGIJE U NJEMAČKOJ SMANJENA

U vremenskom razdoblju od siječnja do zaključno rujna 1993, potrošnja električne energije iz javne mreže smanjena je u zapadnom dijelu Njemačke za 1,9%, u usporedbi s istim razdobljem prethodne godine. Razlog padu je nastala gospodarska kriza. Pad u istočnom dijelu bio je 0,6%. Od ukupno potrošene električne energije 34% dobavljeno je iz nuklearnih elektrana, ali njihova je proizvodnja bila manja za 4% od proizvodnje 1992. u prije spomenutom vremenskom razdoblju. Razlog je remont u nuklearkama. Za prvih 9 mjeseci 1993. smanjio se i potrošak primarne energije. Smanjenje je u istočnom dijelu zemlje bilo veće i iznosilo je −5%, a u zapadnom −1,3%. Energetska ovisnost ujedinjene Njemačke o uvozu povećana je na 55%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92 (1993), br. 25

Mrk.

ŠVICARSKA POVEĆAVA SVOJE ELEKTROENERGETSKE IZVORE

Potrošnja električne energije u Švicarskoj u 1992. godini manja je za 0,6% prema prethodnoj godini. Daljnji je pad nastavljen i 1993, pa je u prvom polugodištu, prema prethodnoj godini smanjena za 4,1%. Unatoč tome, trebalo je u siječnju i ožujku uvesti manje količine električne energije. U tom je razdoblju proizvodnja bila manja za 2,7%. S obzirom na lošu gospodarsku konjukturu 1993, švicarska elektroprivreda smatra da će se pad potrošnje vjerojatno nastaviti i u sljedećim godinama. No ta činjenica ne mijenja ništa na tome da je još od 1992. u središtu pažnje energetske politike bila elektrika. Nakon provedenih referenduma o energetsko-ekološkim pitanjima zaključeno je da će se moći provesti »Program 2 000«, prema kojemu bi proizvodnja hidroelektrana porasla za 5%, a snaga nuklearnih elektrana povećala bi se za 10%. No ni iskorištenje sunca nije zanemareno. Početkom 1993. u Švicarskoj je bilo 500 solarnih uređaja čija je snaga iznosila 3,3 MW. Godine 1992. u tim je elektranama proizvedeno 1,8 GWh. Srednja godišnja proizvodnja 1992. iznosila je 741 kWh po instaliranom kW. Ta će se brojka vjerojatno povećati s povećanjem raspoloživosti solarnih uređaja na 850 kWh/kW.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92 (1993), br. 25

Mrk.

MANJE STRUJE IZ ZEMNOG PLINA

Udio električne energije iz termoelektrana na zemni plin u zapadnom je dijelu Njemačke sve manji. U 1975. on je iznosio 21,6%. Polako se smanjivao do 1985, kada je pao samo na 4,5%. Zatim je taj udio ostao više-manje nepromijenjen, te je 1992. bio samo 4,6%. Razlog su navedenom smanjenju naglo povećane cijene zemnog plina i nastojanje da se smanji uvoz energenata. U međuvremenu, međutim, drastično se smanjila emisija štetnih plinova iz termoelektrana (u zapadnom dijelu). Termoelektrane su 1982. iznosile 1 550 tisuća tona sumpor(n)-oksida. Ta se količina 1992. smanjila na osminu i iznosila 195 tisuća tona. Smanjenje je postignuto i glede dušičnih oksida. Od 740 tisuća tona emisija je spala na 200 tisuća, a to je 27% od količine prije 10 godina. Izbacivanje prašine snizilo se od 72 000 na samo 9 700 tona. Cijelo se ovo razmatranje odnosi samo na javne elektroprivredne termoelektrane.

Elektrizitätswirtschaft, god. 92 (1993), br. 26

Mrk.

U POGON PUŠTENA NAJVEĆA VJETROELEKTRANA U NJEMAČKOJ

Pokraj Wilhelmshavena puštena je u pogon najveća njemačka vjetroelektrana »Aeolus II« od 3 MW. Promjer rotora iznosi 80 m, a visina tornja 92 m. Elektrana će proizvoditi godišnje 7,3 GWh električne energije. Troškove u visini 25,5 milijuna DEM snose elektroprivreda, zemaljska uprava, savezno ministarstvo i EZ.

ETZ, god. 114 (1993), br. 23/24

Mrk.

MJERENJE SOLARNOELEKTRIČKIH VELIČINA

Kako bi se solarni uređaji mogli optimalno postaviti i koristiti, potrebni su točni podaci o insolaciji tijekom dužega vremenskog razdoblja. U Njemačkoj je razvijen uređaj pod imenom »Tracky« koji automatski bilježi sve potrebne podatke o Sunčevu zračenju na tom mjestu. Aluminijska polukugla ima na površini 32 ugrađena fotovoltaička modula koji su spojeni na osobni kompjutor. On služi za upravljanje i pohranu podataka. Posredstvom posebnog programa dobiju se potrebni podaci. Jedan je takav uređaj postavljen 1988. u Berlinu, a drugi 1992. u Patrasu (Grčka). Osobito su zanimljivi podaci dobiveni o energetskoj učinkovitosti čvrstih i vodenih modula.

ETZ, god. 114 (1993), br. 23/24

Mrk.

TEHNIČKO-EKONOMSKE MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA REGENERATIVNE ENERGIJE

Istraživači sveučilišta u Stuttgartu izradili su studiju o potencijalnim mogućnostima i ekonomičnosti proizvodnje električne energije iz regenerativnih izvora. Potanko su po okruzima (542 okruga) analizirane mogućnosti s obzirom na stvarne mjesne prilike, posebno meteorološke. Dobiveni se rezultat studije odnose doduše samo na Njemačku i bili bi različiti za neku drugu zemlju, no oni su ipak zanimljivi kao i metodologija koja je primijenjena. Istražen je tehnički potencijal za proizvodnju električne energije za svaki oblik regenerativne energije. Za solarne ćelije procijenjena je, za svako područje, raspoloživa površina krovova i raspoloživa površina zemljišta na kojima bi se fotovoltaičke ćelije mogle smjestiti. Procijenjena električna energija od solarnih ćelija smještenih na krovovima iznosila bi godišnje 98 TWh, uz snagu od 88 GW. Ćelije na tlu dale bi 411 TWh pri snazi od 387 GW. Što se pak iskorištenja vjetra tiče, u obzir su uzeta samo područja gdje je prosječna brzina vjetra iznad 4 m/s, na visini 10 m iznad tla. Uzimajući u obzir i restrikcije glede smještaja, procijenjeno je da bi instalirana snaga vjetroelektrana mogla iznositi 58,4 GW do 87,9 GW. Godišnja bi se proizvodnja kretala oko 120 TWh. Neiskorištene vodne snage nalaze se (80%) još u Bavarskoj i Baden-Würtenbergu. Moguća se proizvodnja procjenjuje na 24,7 TWh godišnje. Pri istraživanju biogenih energenata u obzir su uzeti samo oni koji su predviđeni za proizvodnju električne energije, a isključeni oni za grijanje. Obuhvaćeni su: plin iz deponija, kanalni plin i bioplin iz poljoprivrednih otpadaka. Utvrđena je instalirana snaga uređaja za ove energente oko 2,6 GW, čime bi se godišnje moglo proizvesti 12,4 TWh električne energije. Iz navedenih su podataka izračunani krajnji tehnički energetski potencijali. U obzir su uzeti okvirni uvjeti koje nameće mreža, gubici akumuliranja i prilike momentane proizvodnje i potrošnje u elektroener-

getskom sustavu. Najveće se promjene mogu očekivati u energetskom potencijalu solarnih i vjetroelektrana, pa su istraživači promotrili 4 mogućnosti. Prema četvrtoj, koja daje najniže rezultate, snaga solarnih elektrana iznosila bi 16,9 GW, a proizvodnja 17,6 TWh. Kod vjetroelektrana te bi vrijednosti bile 8,9 GW i 14 TWh godišnje. Za proizvodnju iz vodne i bioenergije u obzir su uzeti samo gubici u mreži. Što se pak tiče cijene, ne može se energija proizvedena iz regenerativnih energenata jednostavno uspoređivati s onom iz klasičnih elektrana. Raspoloživost regenerativne energije vrlo je promjenljiva i nije u skladu s potražnjom, pa je potrebno ili akumuliranje ili dodatne klasične elektrane, što treba uzeti u račun. Međutim, uzimajući u obzir sve relevantne činitelje, korištenje vodne energije i energije vjetra na posebno povoljnim lokacijama, kao i korištenje plina iz deponija i kanalnog plina, moglo bi biti konkurentno proizvodnji električne energije u konvencionalanim elektranama. Naprotiv, električna energija iz solarnih ćelija za red veličine je skuplja, a može biti ekonomična samo u specijalnim slučajevima. No uvjeti se mogu bitno promijeniti promjenom stanja tehnike i drugim utjecajnim činiteljima, npr. predviđenim porezom na emisiju ugljik-dioksida.

ETZ, god. 114 (1993), br. 23/24

Mrk.

STATOR GENERATORA TEŽAK 135 TONA U AVIONU

Iz Siemensove tvornice u Mülheimu prevezen je u Indiju transportnim zrakoplovom Antonov AN 124 stator generatora težak 135 t. To je najteži jednokomadni teret koji je ikad prevezen zrakom. Zračni je prijevoz bio potreban, jer se u termoelektrani u blizini New Delhija pri montaži oštetio generator potreban za opskrbu glavnoga grada električnom energijom. Zrakoplov je do cilja morao sljetjeti 5 puta da uzme gorivo, jer su zbog ukupne težine od 380 tona moguće zalihe goriva bile malene.

ETZ, god. 114 (1993), br. 23/24

Mrk.

SVJETILJKA S REGULACIJOM BOJE SVJETLA

Tvrtka Osram konstruirala je natrij-ksenonsku svjetiljku kojoj se može regulirati boja svjetla između 2 500 K i 2 900 K. Regulacija se postiže predspojnim digitalnim uređajem. Osim toga, time se postiže velika stabilnost boja neovisno o rasapu tvorničke kvalitete, starosti svjetiljke i naponu mreže. Svjetlosno iskorištenje iznosi 52 lm/W. Svjetiljka ne sadrži opasnih tvari kao npr. živa.

ETZ, god. 114 (1993), br. 23/24

Mrk.

EUROPSKA INDUSTRIJA ZA ZRAKOPLOVSTVO I SVEMIRSKE LETOVE

Europska industrija za zrakoplovstvo i svemirske letove, prema podacima Komisije EZ, imala je u 1992. godini promet od 40 milijardi ECU. U toj je industriji bilo izravno uposleno oko 450 000 djelatnika, ali se računa da je približno milijun ljudi obuhvaćeno tom djelatnošću. U tom poslu elektrotehnika ima znatan udio. Promet je bio najveći u Velikoj Britaniji, zatim Francuskoj i Njemačkoj. Najveći su proizvođači bile SAD, a zatim Europa, no razlika između količine proizvodnje posljednjih se godina znatno smanjila: od 326% u 1982. na 238% u 1992. godini. Današnji opseg japanske zrakoplovne proizvodnje procjenjuje se na 20% europske. Vrsta proizvoda također se nešto promijenila. Dok je proteklih godina dominirala proizvodnja vojnih zrakoplova (1982. oko 70%), sada je taj postotak bitno manji (1990. oko 54%). Svakako da će povećanje svjetskog zračnog prometa utjecati i na avioindustriju. U bliskoj budućnosti treba računati na velike kapacitete ruske industrije zrakoplova i svemirskih letjelica. Prve su kooperacije već u tijeku.

ETZ, god. 114 (1993), br. 23/24

Mrk.

POKUS TALJENJA JEZGRE NUKLEARNOGA GORIVA

U sklopu istraživanja sigurnosti nuklearnih elektrana izveden je pokus taljenja jezgre nuklearnog goriva, što bi se moglo dogoditi pri teškom kvaru u nekoj nuklearnoj elektrani. Pokus se kontrolirano odvijao u reaktoru Phebus, u mjestu Cadarache u južnoj Francuskoj. Premda je bilo glasova protesta, jer da se razvoj pokusa ne može sa sigurnošću predvidjeti i nije isključena katastrofa, proces je potpuno uspio. Dobiveni su dragocjeni podaci i spoznaje koji ukazuju na nove putove za izgradnju što sigurnijih reaktora. Uz francuski institut za nuklearna istraživanja IPSN i Razvojni centar EZ ISPRA, u tome su sudjelovale slične znanstvene organizacije iz SAD, Kanade, Japana i Južne Koreje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 1/2

Mrk.

NJEMAČKA POVEĆAVA DOPRINOS ZA UGLJENOKOPE

Ugljen iskopan u Njemačkoj (Rheinska oblast, Ruhr i Saar) mnogo je skuplji od ugljena na svjetskom tržištu.[1] Stoga, da se ne bi morali zatvoriti nerentabilni ugljenokopi i da bi se čuvala radna mjesta, država je morala pružiti obilne dotacije. Potreban je novac namaknut dodatnim opterećenjem utrošenog kilovatsata tzv. pfenigom za ugljen (Kohle Pfenning). Dotacija se u 1994. godini, prema 1993. morala odlukom savezne vlade povećati od 7,4% na 8,2% cijene utrošenog kWh. Samo potrošači električne energije u Bavarskoj trebat će ukupno platiti 370 milijuna DEM, što je za 36 milijuna više nego prethodne godine. Ukupna državna dotacija za ugljenokope iznosi godišnje oko 7 milijardi DEM dobivenih od potrošača električne energije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 1/2

Mrk.

[1] (Vidjeti *Energija*, god. 43 (1994), br. 1)

PRVA EUROPSKA PLINSKO-PARNA ELEKTRANA LOŽENA SMEĆEM

Nizozemska tvrtka za opskrbu energijom N.V. Electriciteits Produktiemaatchappij Zuid Nederland EPZ, Eindhoven, naručila je opremu za prvu europsku plinsko-parnu elektranu koja će se ložiti smećem. Ugovorena svota iznosi 350 milijuna DEM. Isporučit će se tri plinske turbine snage po 60

MW i parna turbina od 180 MW. Ukupna nazivna snaga elektrane bit će 339 MW. Isporučilac kompletne opreme je tvrtka Siemens. Elektrana će biti izgrađena u mjestu Moerdiju u provinciji Brabant. Planira se puštanje u pogon polovicom 1996. Uz električnu energiju elektrana će davati paru za obližnju kemijsku industriju.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 3

Mrk.

U JAPANU NAJJEFTINIJA STRUJA IZ NUKLEARKI

Prema studiji japanskog elektroprivrednog instituta, nuklearna je energija u Japanu najjeftiniji izvor električne energije, a njezine će se prednosti još više povećati sljedećih godina. U troškovima je računano s demontažom elektrane nakon isteka roka trajanja, ali ne i sa zbrinjavanjem visokoradioaktivnog otpada.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 3

Mrk.

BUGARSKA ELEKTROPRIVREDA

U tijeku 1992. godine u Bugarskoj je organizirana nova struktura elektroprivrede. Osnovana je Nacionalna električka kompanija (NEK) koja obuhvaća 85,5% ukupno instalirane snage u zemlji, tj. 12 074 MW. Snaga toplana iznosi 574 MW, ali one nisu uključene u NEK. Svaka od njih je samostalna. Snaga industrijskih termoelektrana iznosi 1 040 MW, od čega je u elektroenergetski sustav uključeno oko 400 MW. Rashodi elektroprivrede znatno premašuju prihode, što je naslijeđe iz socijalističkog sustava, a što sada treba ispraviti.

Prema vrsti elektrana proizvodnja u NEK se u 1992. kretala kako slijedi:

nuklearna elektrana	11,55 TWh
hidroelektrane	2,06 TWh
termoelektrane	17,27 TWh.

Termoelektrane-toplane izvan NEK proizvele su 4,66 TWh, a uvezeno 2,7 TWh. Ukupno je u 1992. proizvedeno (bruto-potrošnja) 38,22 TWh. To je 6,8% manje nego prethodne godine, a 21,4% manje nego 1989. Predviđa se da bi 1994. počeo ponovno lagani porast, pa bi oko 2 000. godine bruto-potrošnja iznosila 46 TWh.

Energetika, god. 44 (1993), br. 5/6

Mrk.

TEHNOMEHANIKA
MARIJA BISTRICA - CROATIA

PROIZVODNJA SPECIJALNIH KONSTRUKCIJA I HIDRAULIČNIH NADGRADNJI

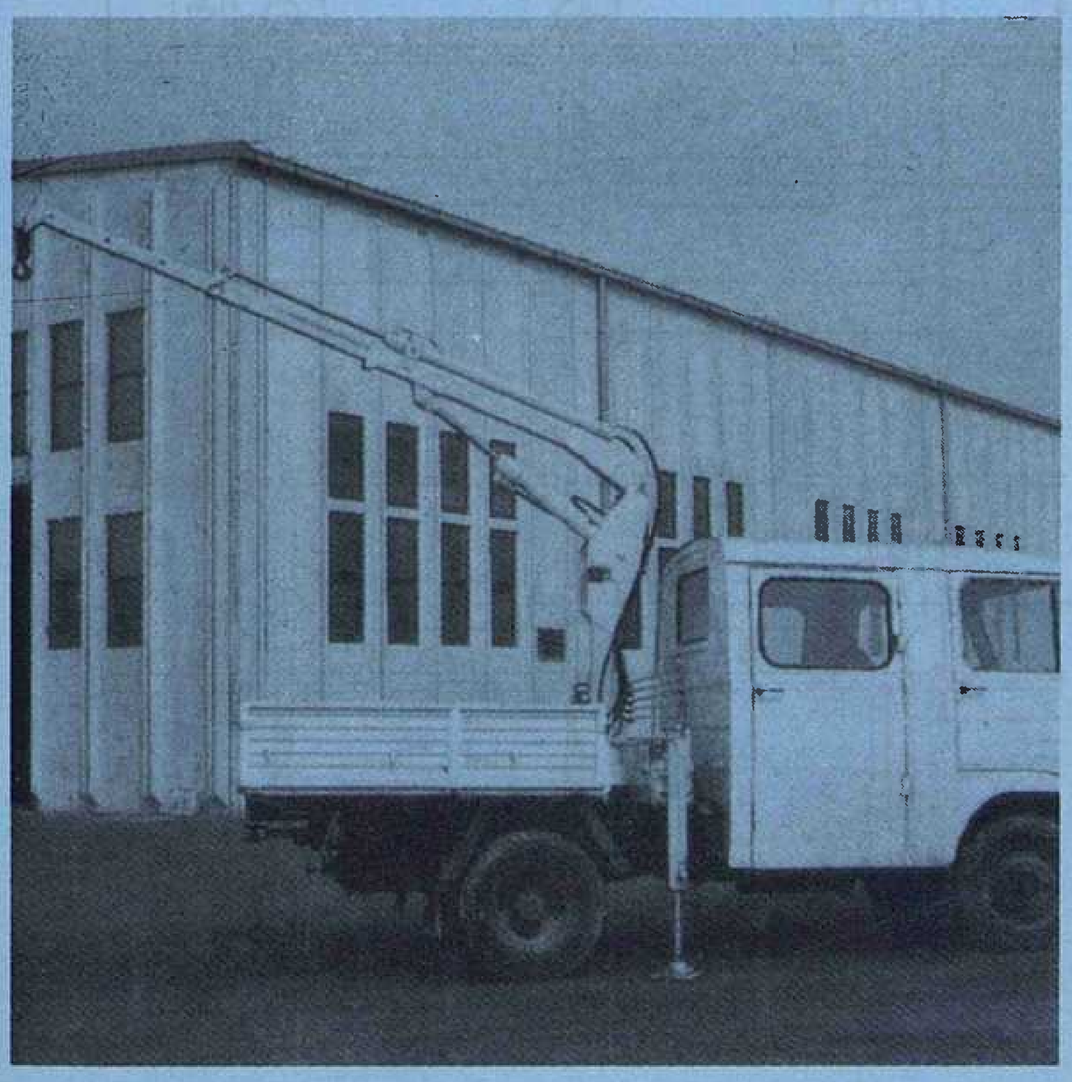
Novosti iz »Tehnomehanike«

Dugogodišnji partner HEP-a u proizvodnji dizalica i platformi, »TEHNOMEHANIKA« iz MARIJE BISTRICE, je u cjelini modernizirala svoj proizvodni program.

Usvajanjem tehnologije varenja i obrade mikrolegiranih čelika, konstrukcija dizalica i platformi postaje bitno laganija. Takvi proizvodi su podesniji za ugradnju na manja vozila, pa im se područje upotrebe bitno povećava.

Dosad su po toj tehnologiji proizvedene, ispitane i stavljene u serijsku proizvodnju dizalice HAK-2S i HAK-11Š.

Pozitivan odgovor domaćeg i stranih tržišta nalaže da se i ostali proizvodi izrade tom tehnologijom. Tako će odsad dizalice »TEHNOMEHANIKA« po svojoj masi konkurirati uvoznima.





Usporedna tablica tehničkih karakteristika dizalica izrađenih novom i starom tehnologijom govori samo za sebe!

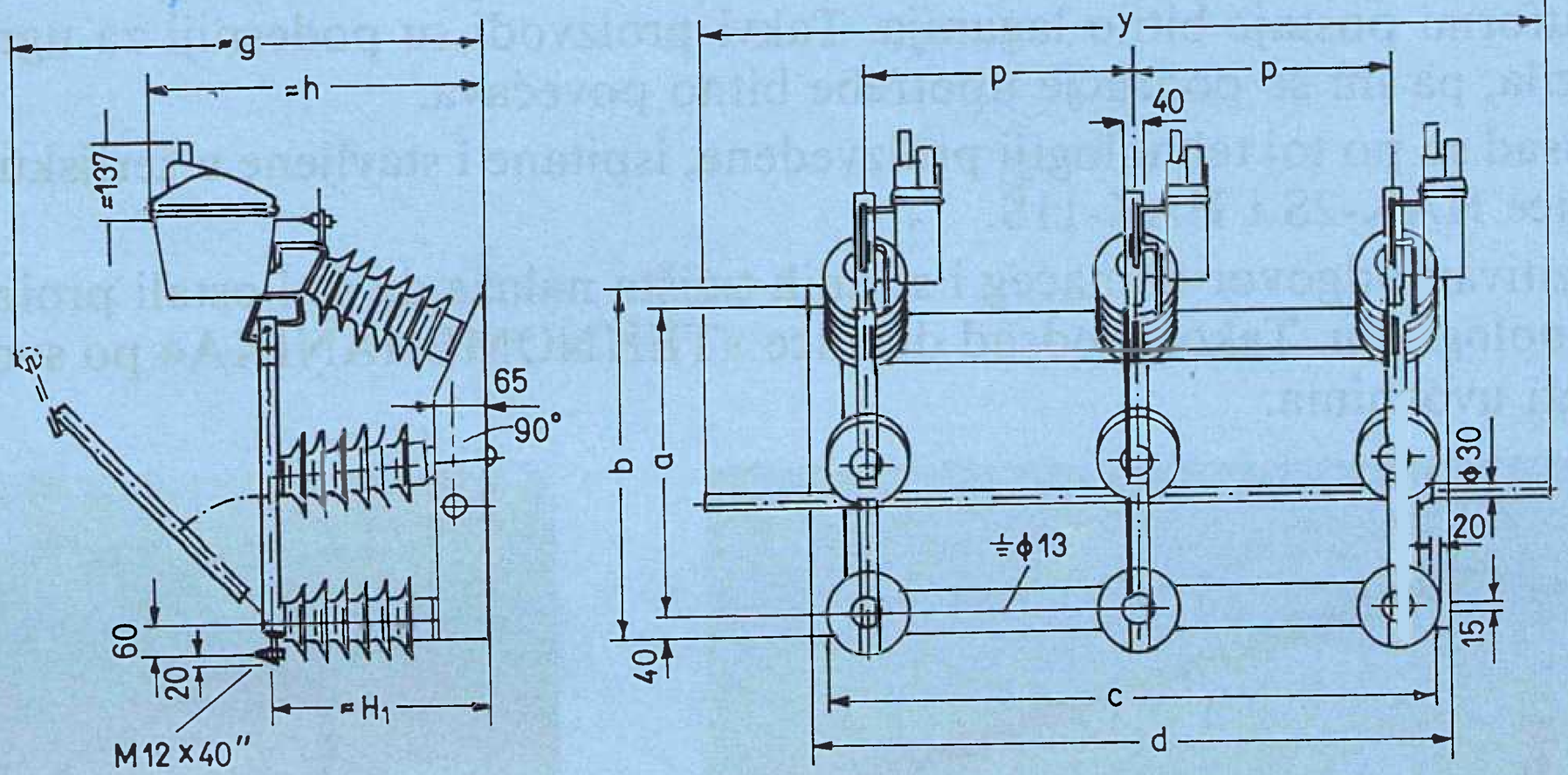
	PRIJE HAK-2	NOVO HAK-2S
1. Moment podizanja	2000 dNm	2000 dNm
2. Maksimalna visina podizanja	5,8 m	6 m
3. Maksimalni krak (od simetrale stupa)	3,6 m	3,8 m
4. Kut zakretanja	270°	270°
5. Moment okretanja	490 dNm	490 dNm
6. Vlastita težina mase standardne izvedbe	685 kg	380 kg
7. Primjena na vozila vlastite mase preko	1700 kg	1400 kg

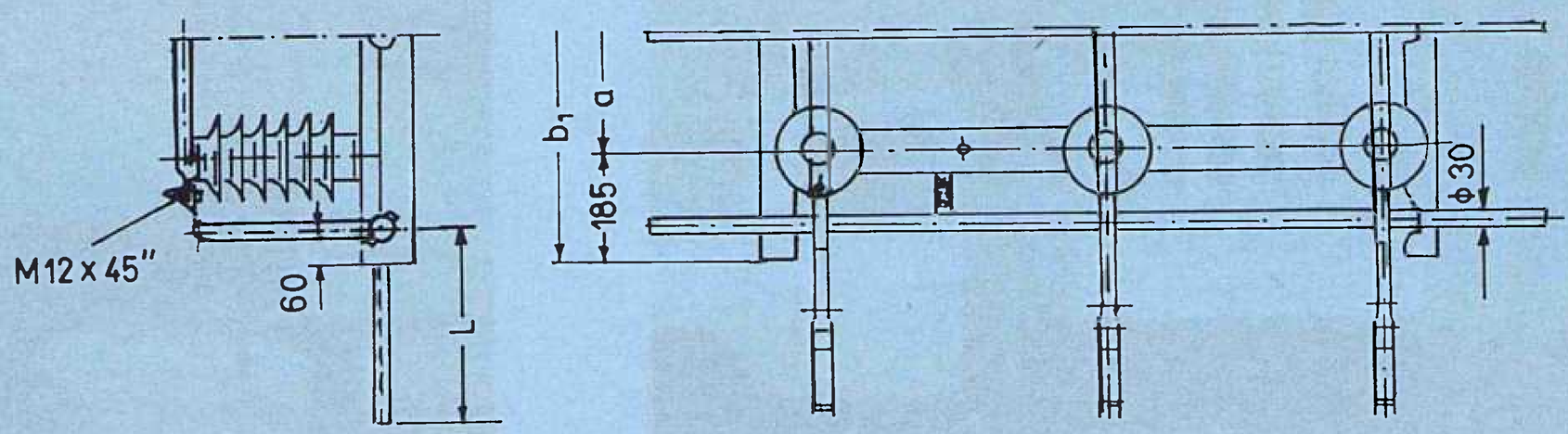
41246 Marija Bistrica, Stubička 4, Hrvatska

☎ 049/69-106, 69-126, 69-506, 69-516, 69-159 Fax: 69-087 Telex: 29227 TEHMAB
Predstavništvo: Zagreb, Vukovićeva 3, 041/174-284, Tel/fax: 041/174-264
Žiro račun: 35210-601-495 D. Stubica

RASTAVNE SKLOPKE
do 36 kV 630 A

4 ZRS





kV	Amp	a	b	c	d	=g	=h	=H	p	b	L	y	kg	
													4 ZRS	4 ZRSZ
12	630	500	580	950	1010	765	540	341	400	725	263	1400	85,0	98,0
24	630	550	630	1150	1210	890	620	411	500	775	333	1600	104,0	119,0
36	630	750	830	1550	1610	1053	699	491	700	975	413	1900	147,0	165,0

ELEKTROPROIZVOD

41000 ZAGREB, Savski Gaj XIII put broj 20
Tel.: (041) 521-804 Fax.: (041) 521-804

Na rastavljač serije 4 LRS ugrađen je uredaj za gašenje luka (koji u sebi sadrži mehanizam za brzo-ukapčanje-iskapčanje) tzv. lučna komora.
Komora je napravljena od kvalitetnog PVC materijala otpornog na vremenske utjecaje, a unutrašnjost je napunjena sa 0,5 litara SCHELL DIAL D ulja, u kojem se gasi električni luk.

TEHNIČKI OPIS:

PRIMJENA: Vanjska montaža u normalnim pogonskim uvjetima prema IEC stand.
MONTAŽA: Na drveni, betonski ili metalni stup
POLOŽAJ: Vertikalni
MATERIJALI: Fe/Zn profili, niklani bakar porculanski izolatori, PVC kućište.

ISPITIVANJE: Prema IEC stand.

POLNI RAZMAK: Min. 500 do max. 1200 kontinuirano

POLNOST: Jednopolna i tropolna

POGON: Polužni sa zabravljivanjem dužine do 15 metara (jednostruki, dvostruki ili trostruki)

IZVEDBA: Sa noževima za uzemljenje, sa osiguračima ili sa oboje.

Tehnički podaci:

tip Rast. sklopke	Nazivni napon kV	Nazivna struja A	Podnosiva tjemena vrijednost struje kA	Kratkotrajna podnosiva struja kroz 1 s* kAef	Ie kA
4 ZRS 4 ZRSZ	12	630	50	20	10
4 ZRSO		400	35	14	
4 ZRS 4 ZRSZ	24	630	50	20	10
4 ZRSO		400	35	14	
4 ZRS 4 ZRSZ	36	630	50	20	1
4 ZRSO		400	35	14	

* Pri trajanju kratkog spoja t između 1 i 5 sekundi, treba navedenu kratkotrajnu struju kroz 1 s pomnožiti sa $1\sqrt{t}$.

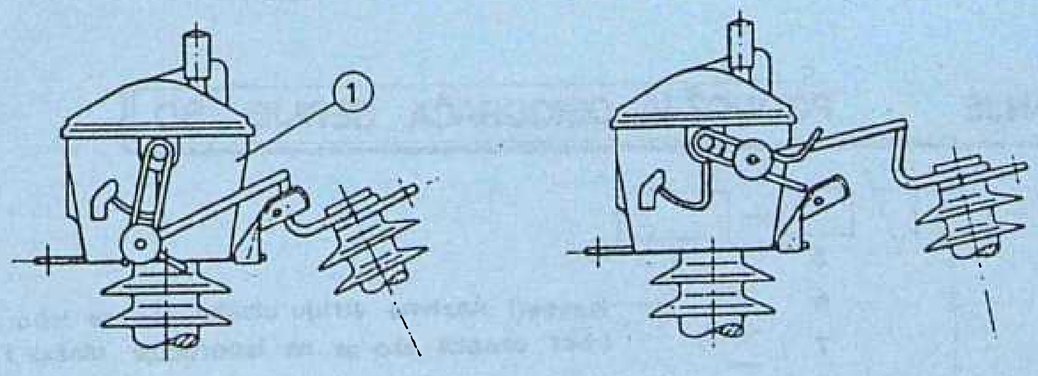
Zamijenjuje tipove drugih proizvodača:

„ELEKTROPROIZVOD" Zagreb	„KONČAR" Sombor	DRIESCHER
4 ZRS 24.400.3	VRS 24/400	Fla 15/6400
4 ZRSZ 24.400.3	VRS 24/400%	Fla 15/6400
4 ZRSO 24.400.3	VRS 24/400.o	Fla 15/6410

KOD NARUDŽBE NAPIŠITE POTREBNE OZNAKE

4 ZRS □ □ □ □ □

- montaža V; H.
- polni razmak 500-1200 m
- polnost I i III.
- nazivna struja 200; 400; 630.
- nazivni napon 12; 24; 36.
- ZRS zračna rast sklop.
- ZRSZ " " " sa nožem za uzemlj.
- ZRSO " " " sa osiguračem
- ZRSZO " " " sa nožem i osiguračem
- oznaka serije



Način djelovanja i protok struje

ELEKTROPROIZVOD

Služi za informaciju

Pridržava se pravo izmjene podataka

METAL—ELEKTRO

Poduzeće za proizvodnju Metalo-preradivačkih i Elektrotehničk
proizvoda, 41264 DONJA ZELINA br. 10
Telefoni: 041/866-7
041/866-0
041/866-0
Telefax: 041/866-053

Cijenjeni gospodine!

Molim Vas da budete tako ljubazni, te da popunite ovaj anketni list i predate nam ga na prezentaciji našeg asortimana, na koju ste pozvani. Napominjemo da ispunjavanje ankete ne povlači nikakove obaveze sa vaše strane, a također i to da će svi podaci biti korišteni strogo interno u okviru našeg poduzeća sa ciljem pravovremenog osiguranja materijala, komponenti i kapaciteta, te proširenja serije SR na najoptimalniji način. Unaprijed zahvaljujem.

S poštovanjem!

Direktor

Željko Lisičak dipl. ing.

1. Ime i prezime, funkcija _____
2. Poduzeće, naziv i adresa _____
3. Orjentacijske potrebe za rastavljačima u 1993. god.
   - x Tip _____, ____ kom _____
   - x Tip _____, ____ kom _____
   - x Tip _____, ____ kom _____
4. Orjentacijske potrebe za podnožjima osigurača u 1993. god.
   - xx Tip _____, ____ kom _____
   - xx Tip _____, ____ kom _____

Molimo, navedite vaše sugestije!

_____

_____

_____

x Napomena: Molimo ispisati tip rastavljača prema uputama za tipno označavanje u prilogu.
xx Napomena: Molimo ispisati tip podnožja prema uputama za tipno označavanje u prilogu.

TIPNO OZNAČAVANJE RASTAVLJAČA SERIJE SR

SR □-□-□□□□□/□

12	100	1	H	O	Z	B	/	5
24	200	3	V	—	—	D		6
36	400					M		7
	630							8
								9

- 9 — Polni razmak u dm.
- B — Tip stupa: B—betonski; D—drveni; M — metalni
- Z — s prigrađenim zemljospojnikom i (—) bez zemljospojnika, bez oznaka
- O — s prigrađenim osiguračima i (—) bez osigurač, bez oznaka
- H — Način montaže: H—horizontalna; V—vertikalna
- 1 — Polnost: 1 — jednopolni; 3—tropolni
- 630 — Nazivna struja u (A)
- 36 — Nazivni napon u (kV)
- SR — Oznaka serije

PRIMJER: Rastavljač serije SR, nazivnog napona 12 kV, nazivna struja 400 A, tropolni, za vertikalnu montažu, sa prigrađenim osiguračima, bez noževa za uzemljenje, za montažu na metalni rešetkasti stup sa polnim razmakom 600 mm.

Tipna oznaka: SR 12-400-3VOM/6

TIPNO OZNAČAVANJE PODNOŽJA OSIGURAČA SERIJE SO

SO □-200-□/□-□

12		1	5
24		3	6
36			7
			8
			9

- Navesti nazivnu struju uloška, ako se isporučuje. (bez oznaka ako se ne isporučuje uložak)
- 9 — Polni razmak u dm.
- 3 — Polnost: 1 - jednopolni; 3 - tropolni
- 200 — Nazivna struja (A)
- 36 — Nazivni napon (kV)
- SO — Oznaka serije

PRIMJER: Podnožje osigurača SO, nazivnog napona 24 kV, nazivne struje (standardno) 200 A, tropolno, polnog razmaka 500 mm, bez uloška osigurača.

Tipna oznaka: SO 24-200-3/5

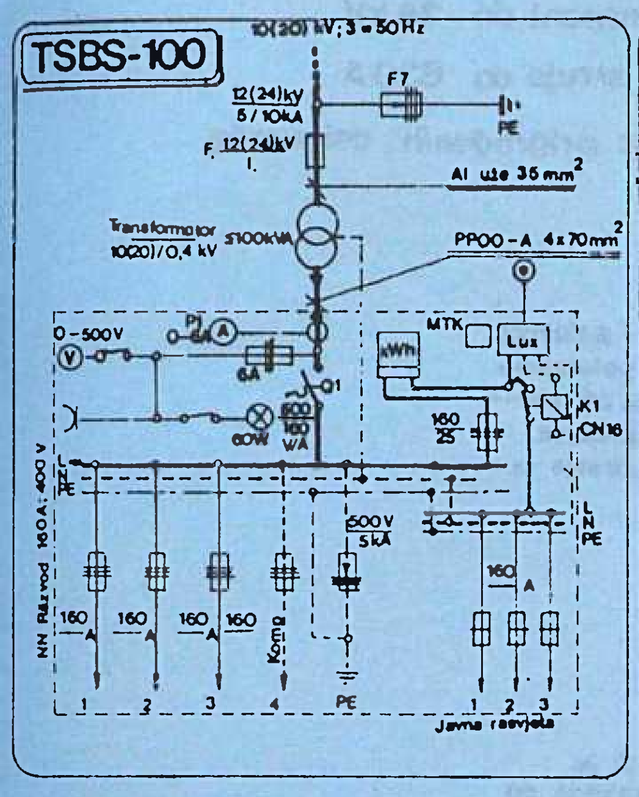
Transformatorska stanica

NA BETONSKOM STUPU 10(20)/0,4kV do 250 kVA

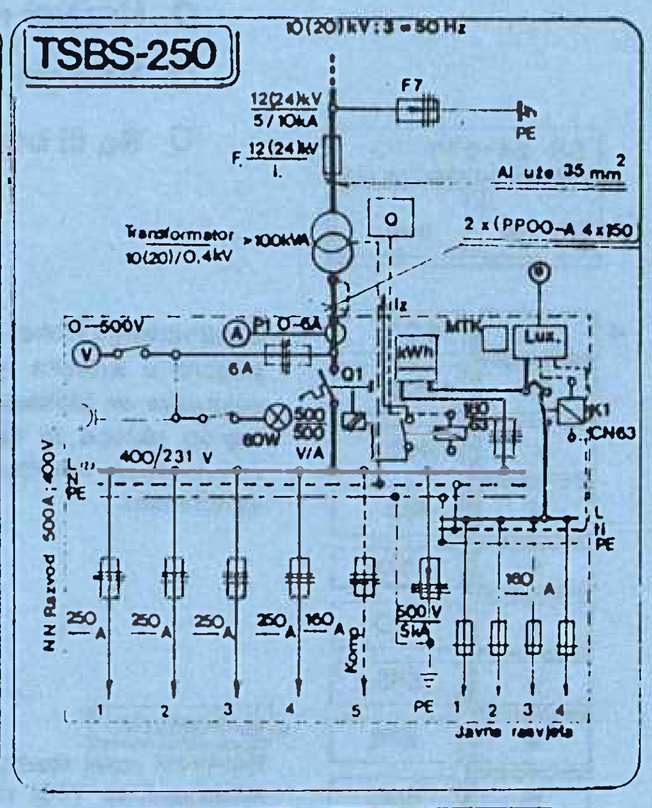
Tip: TSBS, ME''92

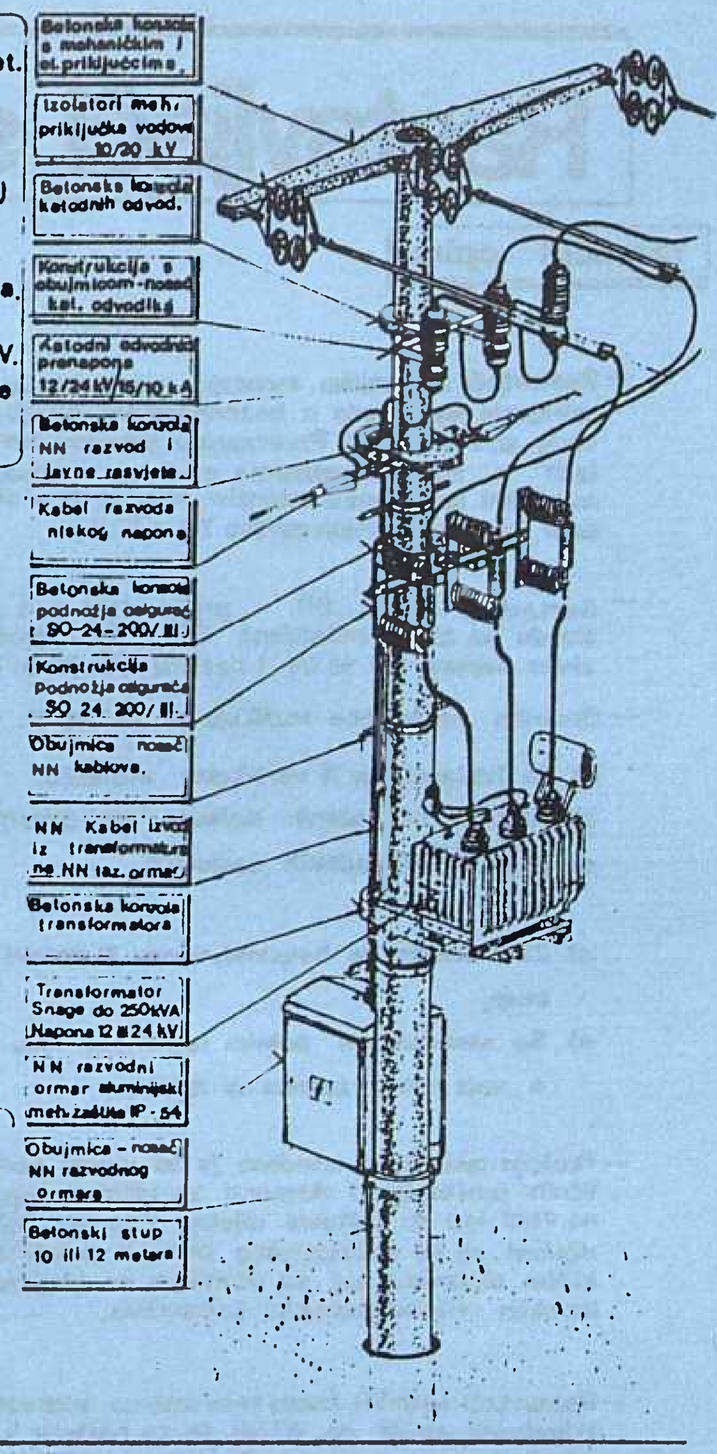
- Tipski ispitana i atestirana.
- Izvedba na betonskom stupu s bet. konzolama i izvedenim statičkim proračunima.
- Niskonaponski razvodni ormar u aluminijskoj izvedbi. (A.2269/92)
- Podnožja osigurača ispitana i atestirana. (A.1951 i A.1952)
- Izvedena u skladu tipizacije HEP-a.
- Snage do 250 kVA. (NO12 02)
- Za napone 10(12) ili 20(24)/0,4 kV.
- Dodatna metalna oprema iz vruće pocinčanog čelika.

Jednopolna shema stupne tranformatorske stanice do snage 100 kVA; 10(20)/0,4 kV.



Jednopolna shema stupne transformatorske stanice do snage 250 kVA; 10(20)/0,4 kV.





- Transformatorska stanica na betonskom stupu je kvalitetno tehničko i ekonomsko rješenje za razvod električne energije u malim naseljima i malim privrednim objektima.
- Svojom jednostavnošću u montaži, omogućuje veliku uštedu u izgradnji ovakovih objekata energetskog sistema.

Napomena:

- Prema zahtjevu kupca ugrađujemo opremu za javnu rasvjetu.
- Kupcu uz pripadnu opremu dostavljamo, potporne izolatore, kabel NN. PP00-A 4 x 120 (70) mm² sa kompletnim dokumentima.
- Cijene dostavljamo po jednopolnoj shemi i zahtjevu kupca.
- Rok isporuke 20 dana.

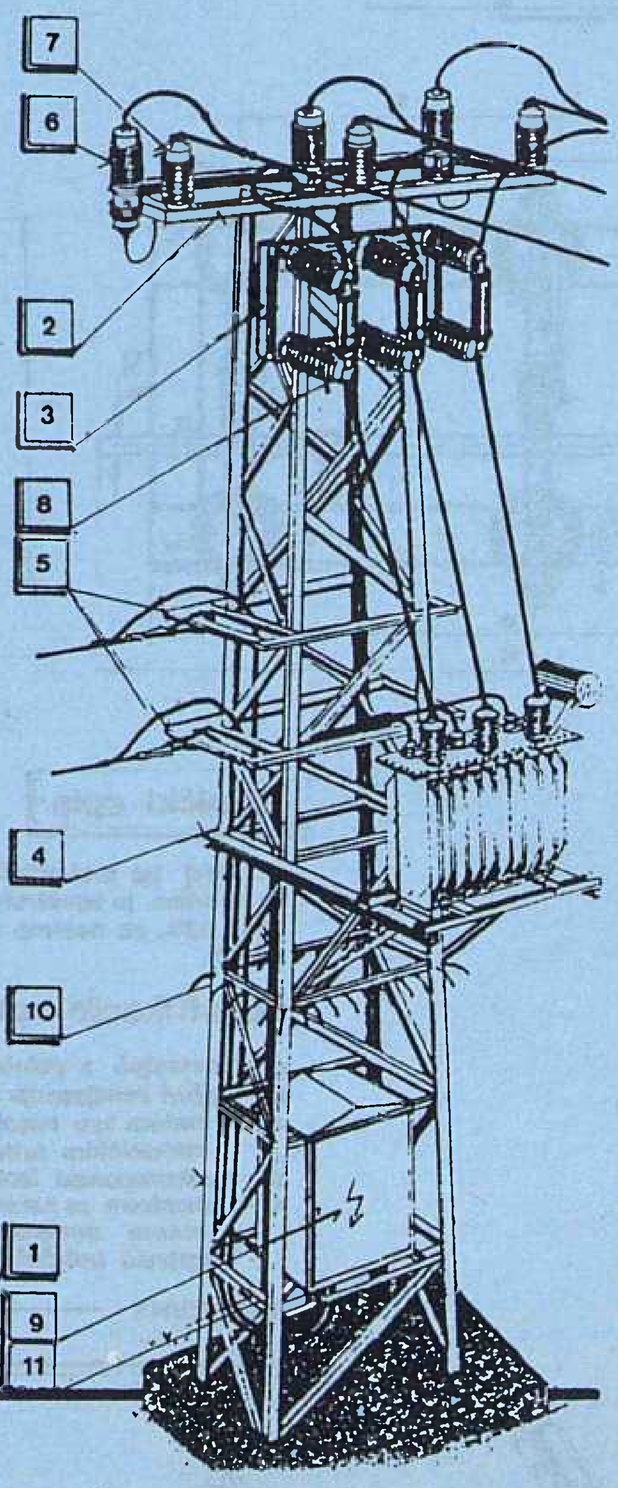
Pripadajuća oprema TSBS-ME ''92

1.	Betonski stup 12 (10) met.	1.
2.	Betonska konzola vodova.	1.
3.	Betonska konzola katodnih odvodnika.	1.
4.	Betonska konzola podnožja osigurača.	1.
5.	Betonska konzola transformatora.	1.
6.	Betonska konzola N.N. razvoda	1.
7.	Obujmica — nosač č. poc. kat odvodnika	3.
8.	Obujmica — nosač č. poc. NN. kablova.	4
9.	Obujmica — nosač č. poc. NN. raz. ormara.	1.
10.	Konstrukcija podnožja osigurača.	1.
11.	Katodni odvodnici 10/20 kV; 10/15 kA	3.
12.	Konstrukcija kat odvodnika	1
13.	N.N. Razvodni Al. ormar	1

Stupna transformatorska stanica na čelično-rešetkastom stupu

TIP: TSRS-ME ''92

- Izrađene i tipski ispitane u skladu s IEC preporukama i tipizacijom N.012.02. HEP-a.
- Visoka raspoloživost i pouzdanost u pogonu.
- Potpuna sigurnost osoblja.
- Brza i jednostavna montaža.
- Olakšano održavanje.
- Razna dispozicijska rješenja omogućuju opremanje izvedbe prema želji naručitelja.
- Stup je pocinčani čelični rešetkasti stup.
- Kategorija stupa - srednja.
- Atestirana antikorozivna zaštita.



OPĆENITO:

Stupna transformatorska stanica na čelično-rešetkastom stupu je posebno prikladna pri uklapanju u zračnu mrežu, jer zauzima mali prostor, pa se vrlo lako uklapa u trasu zračnog voda. Osnovna izvedba je sa zračnim srednjenaponskim priključkom i zračnim samonosivim kabelskim snopom (SKS). Na zahtjev naručitelja moguće su i ostale kombinacije: zračno-kabelski, kabelsko-zračni i kabelsko-kabelski.

STUP:

Stup je pocinčani, čelični, rešetkaste konstrukcije. Uklještenje stupa u temelj se izvodi:
a) Sidrenim vijcima (osnovna izvedba)
b) Ubetoniranjem pojasnika (na zahtjev)

TEMELJI:

Temelji su projektirani za dva načina izvedbe: monolitni i montažni. Monolitni temelj se izrađuje na mjestu ugradnje, dok se montažni temelj dovozi gotov i postavlja u već pripremljenu odgovarajuću građevinsku jamu. Prednost montažnog temelja je u bržoj montaži cijele stanice, jer se ne čeka na sazrijevanju betona.

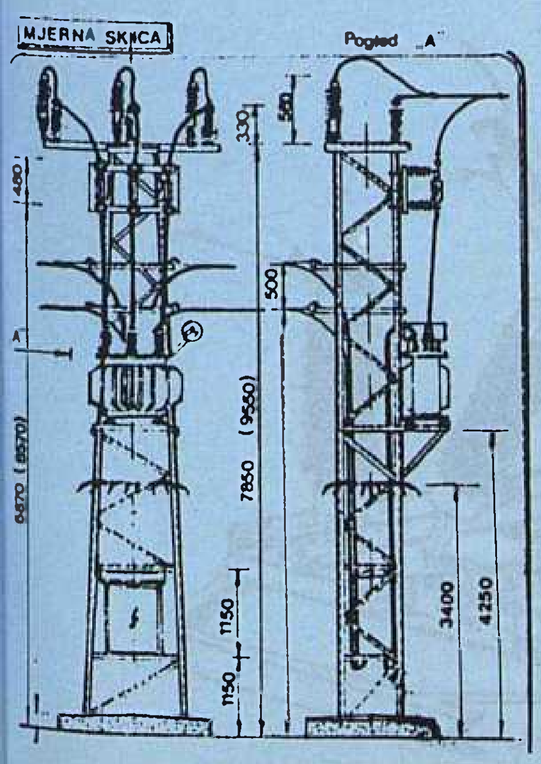
PRIPADAJUĆA OPREMA TSRS-ME ''92 U PONUDI

01.– Čelično rešetkasti stup 7,85 m (9,55 m).
02.– Čelična vrtna konzola
03.– Čelična konzola podnožja osigurača SN
04.– Čelična konzola - nosač transformatora
05.– Čelične konzole - nosači priključka NN razvoda
06.– Odvodnici prenapona
07.– Zatezni izolatori zračnih vodova SN
08.– Osigurači SN-a tropolni
09.– Ormarić aluminijski NN razvoda MZ - IP-54 (s opremom)
10.– Kabel PP 00— A
11.– Čelični nosač NN razvodnog Al ormarića.
12.–
13.–
14.–
15.–

NAPOMENA

- Čelična konstrukcija stupa L 7850 mm s direktnom ugradnjom ima masu od 560 kg.
- Čelična konstrukcija stupa L 7850 mm s sidrenim vijcima, ima masu od 576 kg.
- Čelična konstrukcija stupa L 9550 mm s direktnom ugradnjom, ima masu od 607 kg.
- Čelična konstrukcija stupa L 9550 mm s sidrenim vijcima, ima masu od 620 kg.

MJERNA SKICA



TEHNIČKI PODACI

Nazivni napon	SN	kV	12 ili 24
	NN	V	400/231
Nazivna snaga transformatora do			250 kVA
Nazivna struja	SN	A	30
	NN	A	500
Nazivna kratkotrajno podnosiva struja (ts)			
	SN	kA	12
	NN	kA	9
Nazivna podnosiva vršna vrijednost struje	SN	kA	30
	NN	kA	18
Vodiči	SN		Al/Č 3x50/8 mm²
	NN		SKS XOO/O-A goli 3x70+71,5+2x25 mm² 3x70+2x35 mm²
Nazivna horizontalna sila vodiča	SN	kN	8,5
	NN	kN	8,5

Podnožja serije SO ZA VANJSKU MONTAŽU

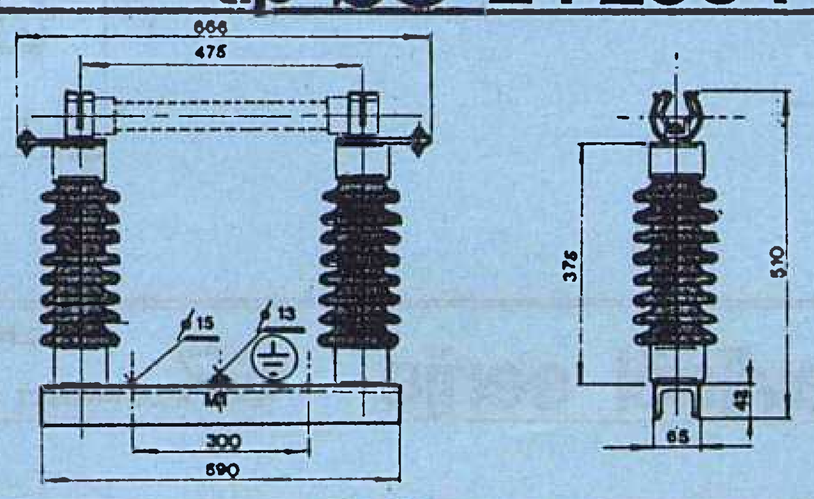
- Tipski ispitani i atestirani
- Jednopolna i tropolna izvedba
- Nazivni napon do 36 kV
- Nazivna struja 200 A

Tehnički opis:

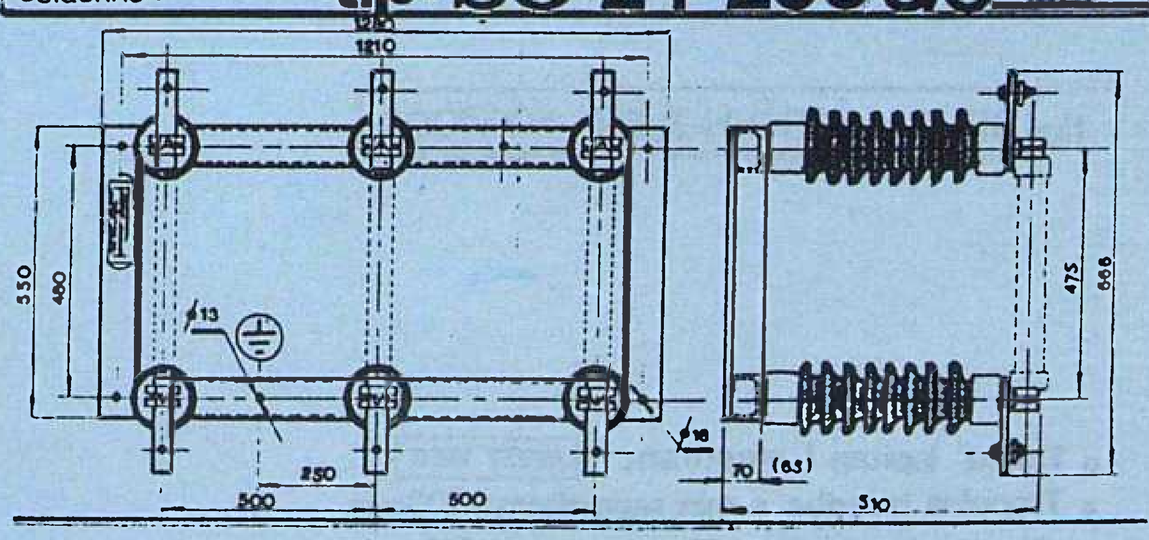
— Podnožja osigurača za vanjsku montažu ugrađuju se na mjestima za zaštitu srednjenaponskih vodova, rasklopnih uređaja i transformatorskih stanica TS x/0,4 od slučajnih struja izlaznog spoja.

— Konstrukcija postolja serije SO izvedena je od čeličnih vruće pocinčanih profila, kao i elementi za učvršćivanje. Vodljivi dijelovi su iz elektrolitskog okruglog bakra Cu F30 za spoj voda i glave patrone osigurača.

JEDNOPOLNA PODNOŽJA OSIGURAČA **tip: SO-24-200-1** ATEST BR 1952



TROPOLNA PODNOŽJA OSIGURAČA **tip: SO-24-200-3/5** ATEST BR 1951



Osigurači SN

kVA Snaga	10 kV SN OSIGURAČI (A)	20 kV SN OSIGURAČI (A)	(kVAr) KOMPENZACIJA
50	6	6	12,5
100	16	6	12,5
160	20	16	25
250	30	16	25

Rastavljači serije SR ZA VANJSKU MONTAŽU

Tehnički opis:

— Rastavljači za vanjsku montažu namjenjeni su za vidljivo odvajanje dijela voda u beznaponskom stanju od dijela voda pod naponom. Prvenstvenu primjenu rastavljači nalaze u zračnim mrežama srednjeg napona, samostalno montirani na drvene ili betonske stupove ili u sastavu stupnih transformatorskih stanica TS x/0,4.

— Rastavljači serije SR proizvedeni su i ispitani u skladu sa IEC standardima 694 i 129. Izvode se za nazivne napone do 36 kV i nazivne struje do 630 A.

— Obzirom na izvedbe razlikuju se rastavljači:

a) Za horizontalnu ili vertikalnu montažu,

b) Sa ili bez prigrađenih noževa za uzemljenje,

c) Sa ili bez prigrađenih osigurača,

d) Za montažu na betonski, drveni ili metalni rešetkasti stup,

e) Sa standardnim polnim razmakom min. 500 mm, a veći polni razmaci na zahtjev.

— Postolje rastavljača izvedeno je od vruće pocinčanih čeličnih profila, kao i elementi za učvršćivanje rastavljača na stup, koji su sastavni dijelovi isporuke. Svi vodljivi dijelovi su od elektrolitskog bakra s posrebrenim kontaktnim dijelovima, koji su učvršćeni na glaziranim porculanskim visokonaponskim izolatorima.

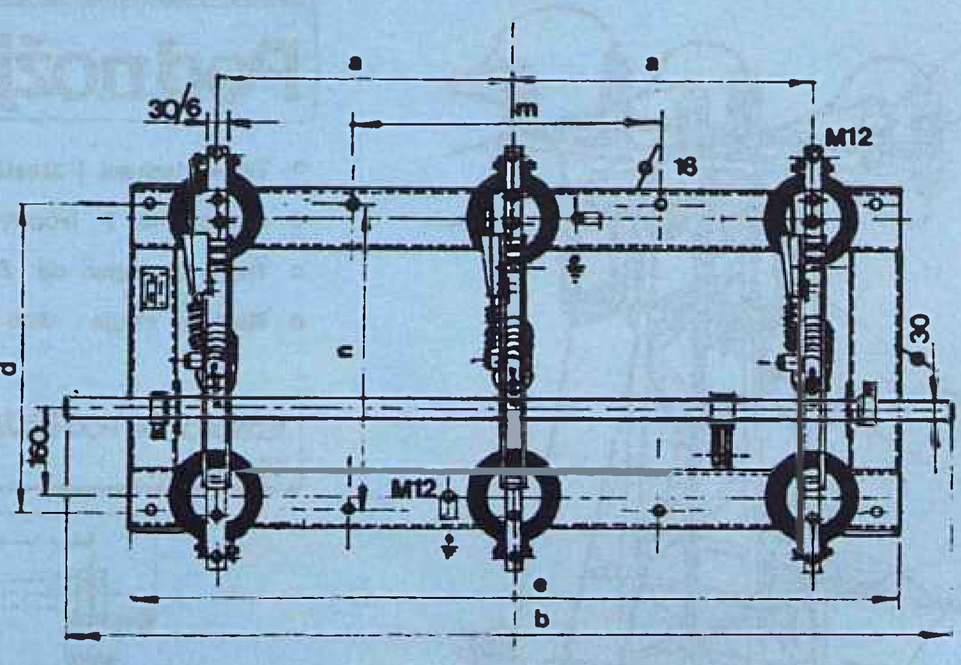
— Rastavljači serije SR izvode se za nazivne podnosive vršne vrijednosti struja do 40 kA, te za nazivne kratkotrajno podnosive struje do 16 kA/1s.

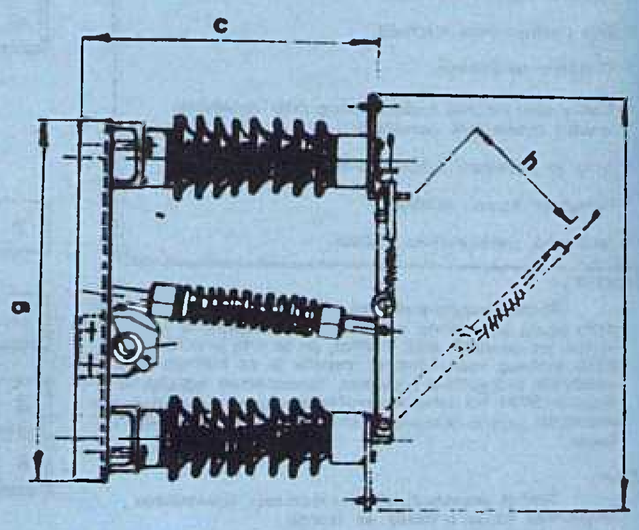
— Upravljanje rastavljačima serije SR vrši se posredstvom polužnog pogona izvedenog od čeličnih vruće pocinčanih elemenata, standardne dužine do 15 m max. ili na poseban zahtjev.

SR 24-630 – 3	
Oznaka	mm
x a	500
b	1600
c	468
d	485
e	1250
f	690
g	555
h	275
m	500
n	465
Masa	125 kg
Atest	br 1950

— Zaključivanje (lokot) polužnog pogona u krajnjim položajima osigurava se blokada od slučajnog uklopa, te sprečava neovlašteno manipuliranje rastavljačem.

x NAPOMENA:
Navedeni polni razmak je minimalni, za veći razmak do max. a = 900 mm potreban je poseban zahtjev.





- O Tipski ispitani i atestirani
- O Jednopolna i tropolna izvedba
- O Sa ili bez noževa za uzemljenje
- O Horizontalna ili vertikalna montaža
- O Nazivni naponi do 36 kV
- O Nazivne struje do 630 A
- O Sa ili bez prigrađenih osigurača

Rastavljači serije SR S UZEMLJIVAČEM ZA VANJSKU MONTAŽU

tip: SR–24–630/3-H-Z/B-D-500/1000

- o Tipski ispitan i atestiran. ATEST 1953
- o Tropolna izvedba s min. razmakom a-500mm.
- o S noževima za uzemljivanje na osovini.
- o Horizontalna montaža drv. i betonski stup.
- o Nazivni napon do 36 kV.
- o Nazivne struje 630 A.

Općenito:

Rastavljači ove serije za vanjsku montažu namjenjeni su za vidljivo odvajanje dijela voda u beznaponskom stanju od dijela pod naponom s dodatnom zaštitom, kratkospojivim (Z) uzemljivačem. Primjenu rastavljača nalazimo u zračnim mrežama srednjeg napona, samostalno montirani na drvene ili betonske stupove, kao i u sastavu stupnih transformatorskih stanica TS x/0,4 kV.

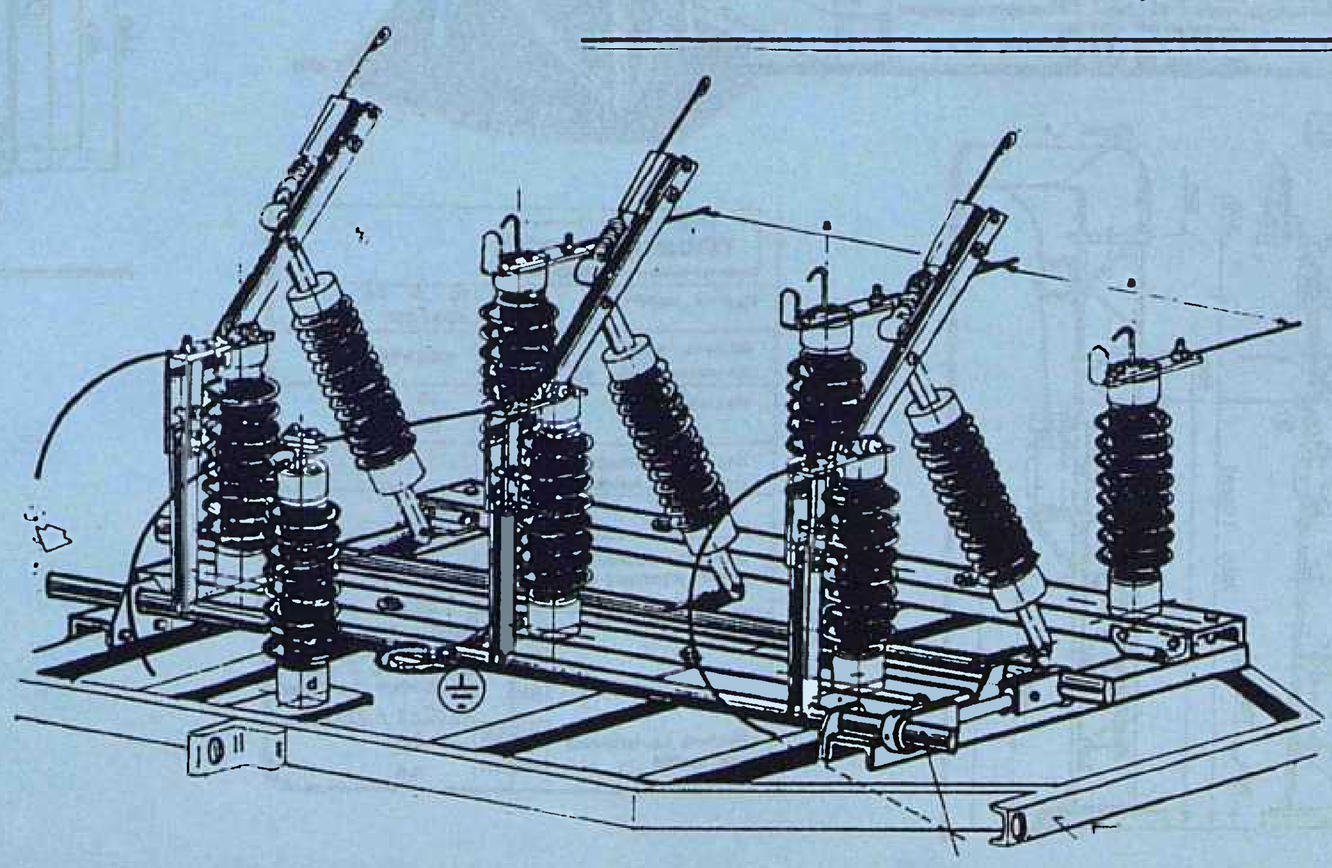
Tehnički opis:

Ovaj tip rastavljača s noževima i armaturom uzemljivača izveden je konstrukciono u skladu sa IEC standardima 694 i 129, za nazivne napone do 36 kV i nazivne struje 630 A.

Specifikacija opreme:

a. - Rastavljač s polnim razmakom min. a = 500 mm
b. - Noževi zemljospoja na osovini s spojnim elementima
c. - Armatura kao nosač i zemljospojnik rastavljača s mehaničkim priključcima el. vodova razmakom L=1000mm
d. - Visokonaponski izolator držač srednjeg el. voda
e. - Mehanizam za naizmjenično uključivanje i isključivanje noževa zemljospoja.
f - Dvostruki polužni pogon.

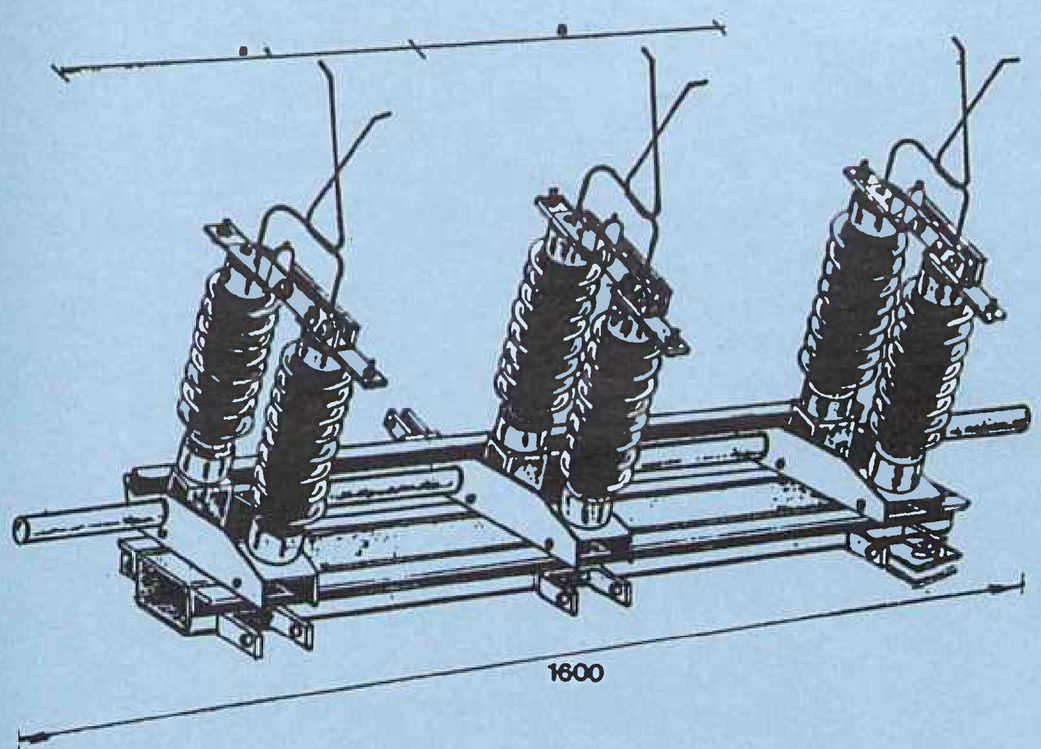
NAPOMENA ——— Svi čelični dijelovi vruće cinčani!



Rastavljači serije SR-k

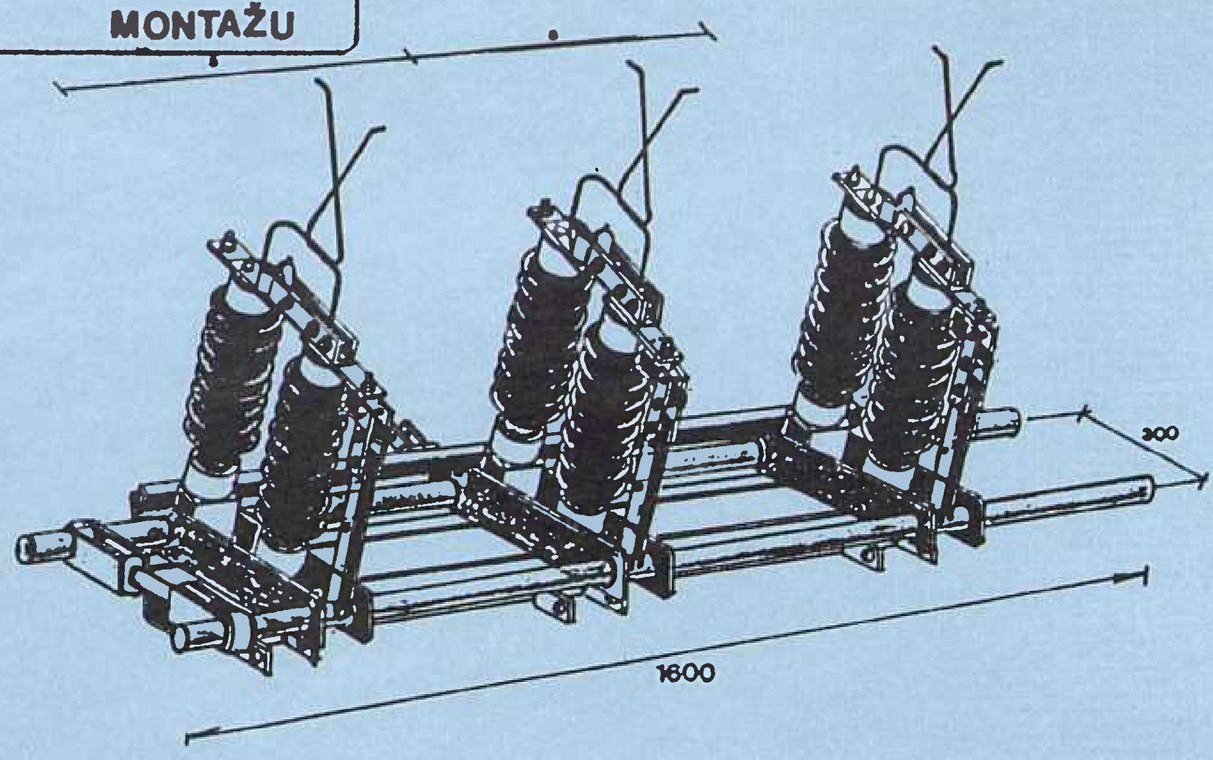
ZA VANJSKU MONTAŽU

tip: SR·k·24·630/3·5/H



- Tipski ispitan i atestiran. ATEST 1954
- Tropolna izvedba s min. polni razmak a=500 mm.
- Horizontalna montaža na drveni i betonski stup.
- Nazivni napon do 24 kV.
- Nazivna struja 630 A.

tip: SR·k·24·630/3·5/HZ

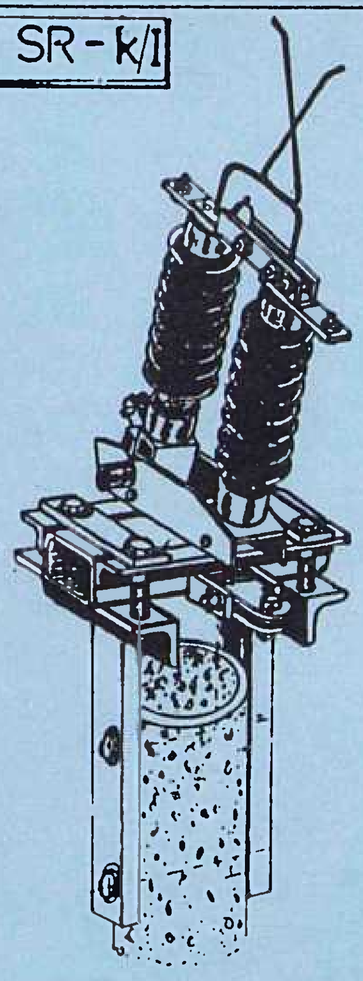


- Tipski ispitan i atestiran. ATEST 1955
- Tropolna izvedba s min. razmakom pola a=500 mm.
- S noževima kratkog spoja na osovini s uzemljenjem.
- Horizontalna montaža na drveni i betonski stup.
- Nazivni napon do 24 kV
- Nazivne struje 630 A

Rastavljači serija tip: SR-k/I i SR/I — Jednopolna izvedba

- TIPSKI ISPITAN I ATESTIRAN ATEST 1954
- JEDNOPOLNA IZVEDBA
- SA I BEZ NOŽEVA UZEMLJIVAČA
- HORIZONTALNA IZVEDBA tip SR-k/I
- HORIZONTALNA I VERTIKALNA IZVEDBA tip SR/I
- NAZIVNI NAPONI DO 36 kV
- NAZIVNE STRUJE DO 630 A

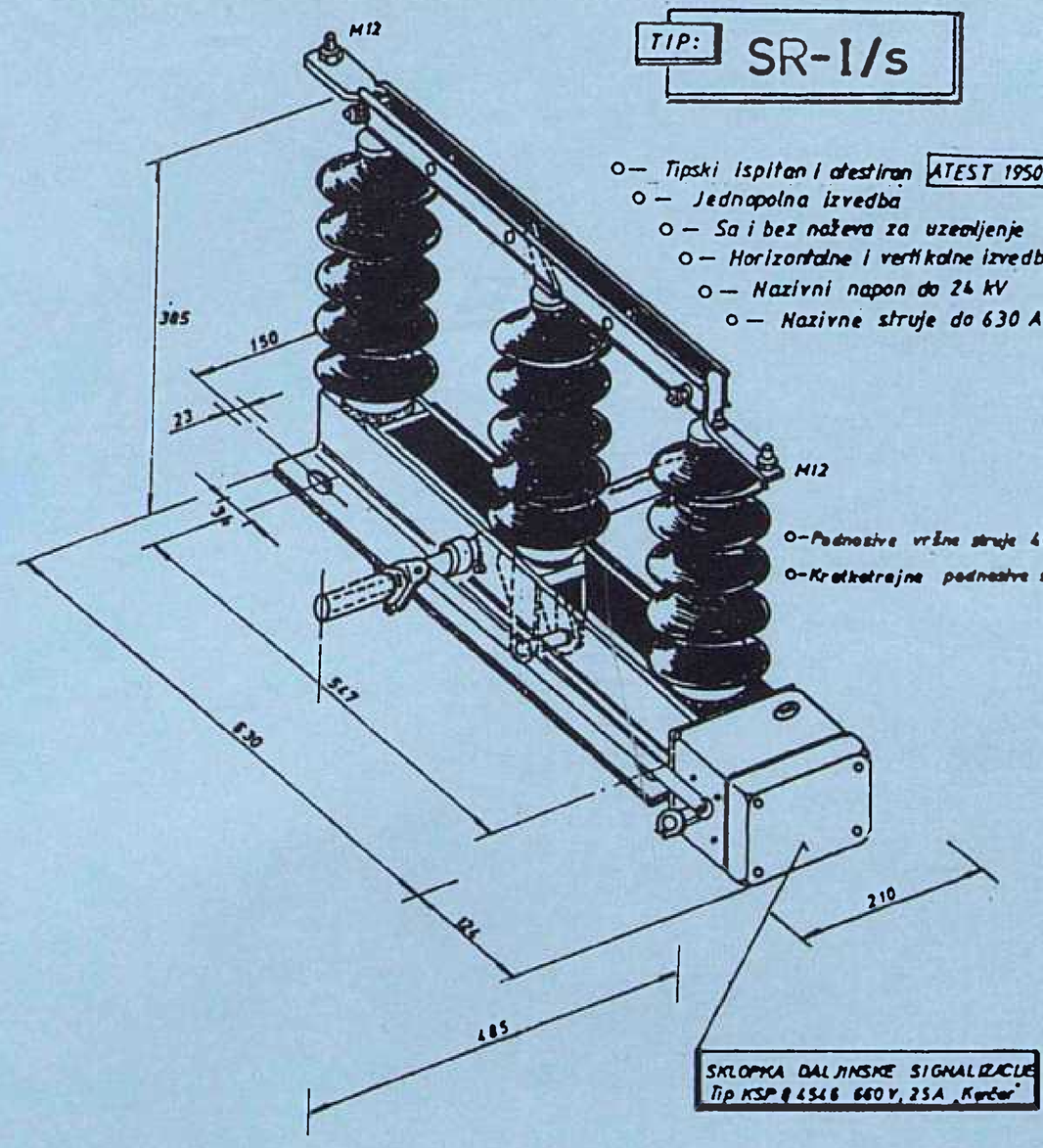
Tip SR-k/I



Rastavljači serije SR k/I jednopolne izvedbe za vanjsku montažu horizontalne ugradnje, s kosim izolatorima (2kom) na betonskom stupu (za drveni i rešetkasti stup postoji dodatak opreme za ugradnju). Uz rastavljač isporučuje se polužni pogon.

Rastavljači serije SR-I — Jednopolni za vanjsku montažu

TIP: SR-I/s

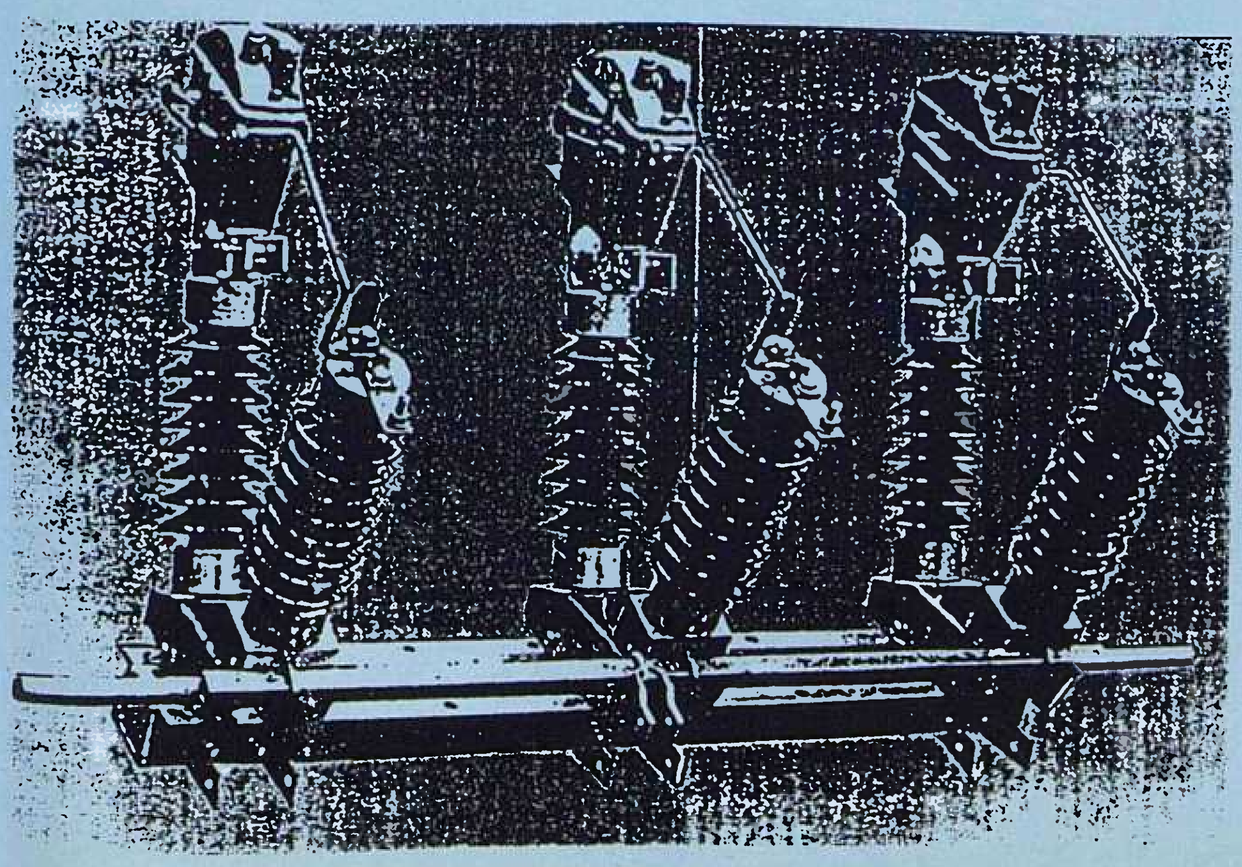


- Tipski ispitan i atestiran ATEST 1950
- Jednopolna izvedba
- Sa i bez naševa za uzemljenje
- Horizontalne i vertikalne izvedbe
- Nazivni napon do 24 kV
- Nazivne struje do 630 A
- Podnosive vršne struje 40 kA
- Kratkotrajne podnosive struje 16kA/1s

Rastavljači serije SR-k s lučnim komorama

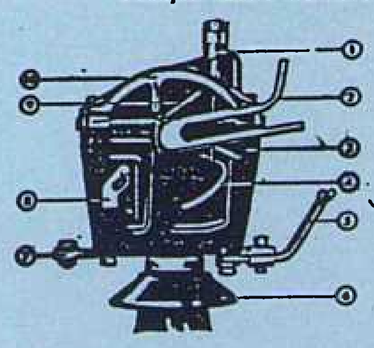
SR-k·24-400/3H/LK

Atest: 7794



Tipski ispitan i atestiran
Polni razmak a: 500 mm
Nazivni napon do 36 kV
Nazivne struje do 400 A
Tropolna izvedba
Za vanjsku montažu
Vruće pocinčana konstrukcij

Presjek lučne komore



Objašnjenje:

1. Vijak za punjenje ulja s mjernom šipkom (potrebna količina ulja oko 0,5 litara po fazi)
2. Zglobni dio (od nerđajućeg čelika)
3. Donja izolaciona posuda (u presjeku)
4. Uklopni svornik
5. Glavni kontakt
6. Potporni izolator, tip T/D8
7. Priključnica s vijkom
8. Paralelni (nepomični lučni) kontakt
9. Prekretni mehanizam za brzo sklapanje)
10. Gornja izolaciona posuda (kapa) (u presjeku)

Tehnički podaci rastavne sklopke FLa 15/60

Nazivni napon	U_n	kV	12	24	36
Nazivna struja	I_n	A	400	400	400
Podnosiva tjemena vrijednost struje	I_{dn}	kA_m	35	35	35
Kratkotrajno podnosiva struja	I_{kn}	kA_{eff} 1)	14	14	35
Nazivna prekidna struja	I_{LC2}	A	480	480	400
Prekidna struja opterećenja	I_{L2}	A	65	65	60
Induktivna prekidna struja	I_{T2}	A	50	50	10
Kapacitivna prekidna struja	I_{C2}	A	11	11	11
Prekidna struja za zatvorenu petlju	I_{K2}	A	400	400	400
Struja zemljospoja	I_{C1}	A 2)	56	56	30
Nazivna uklopna struja	I_e	kA_m	10	10	10

UDK 621.31

ENJAAC 43 (4) — (1994) 203 – 262

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro *Stanković,* dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zdenka *Jelić,* prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Slavica *Barta,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb — Anđelko *Dujmović,* dipl. inž., Direkcija za distribuciju, Osijek — Bruno *Šaina,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Prijenosno područje Opatija — Marijan *Kovač,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, PP Primorskog sliva, Tribalj — mr. Damir *Subašić,* dipl. inž., Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko *Cvetković,* dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić,* prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski sustavi«, dr. Goran *Granić,* dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl,* dipl. inž. — »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić,* dipl. inž. — »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković,* dipl. inž. — »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić,* dipl. inž. i Dasenko *Baldasari,* dipl. inž. — »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović,* dipl. ecc., Mladen *Mandić,* dipl. ecc. i Marijan *Magdić,* dipl. ecc. — »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša,* dipl. inž. — »Informatika«, Nikola *Lastrić,* dipl. inž. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko *Mališ* — Lektor — Lingvistic Adviser: Vladimir *Strojny,* prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko,* dipl. inž.

Redakcija završena 1994 — 06 — 13

Godište 43 (1994) Zagreb 1994 Br. 4

SADRŽAJ

Blecha K. — Votlucka I. — Svarc L. — Konecny G. — Griger V. — Csehek M. — Kapas M. — Dobroczek A. — Zieliński Z. — Kranhold M. — Gudat R.: Pokusni autonomni paralelni pogon elektroenergetskih sustava VEAG-a i CENTREL-a (Pregledni članak) . . . 205

Lučić G.: Posljedice rata na elektroenergetskom sustavu Hrvatske (Pregledni članak) 217

Topić J.: Osnovna načela Tarifnog sustava za prodaju električne energije u Republici Hrvatskoj (Pregledni članak) 225

Škopac D.: Upravljanje kakvoćom (Prethodno priopćenje) 231

Stopfer Š.: Rješenje zaštite veznih filtara sustava MTV od prekomjernog zagrijavanja, primijenjeno u trafostanici 110(20)10 kV Elektre Zagreb (Stručni članak) 241

Rad Instituta za elektroprivredu i energetiku u 1993. godini 245

Vijesti iz elektroprivrede 254

Iz strane stručne literature 255

Savjetovanja i konferencije 258

Slika na omotnoj strani Z. FIRŠT

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Avenija Vukovar 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 625-328 i 625-111/328, telefax: 041/530-604

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 40 DEM, a za poduzeća i ustanove 80 DEM (za studente 20 DEM). Cijena pojedinog broja u prodaji 8 DEM.

Pretplata je iskazana u DEM, a uplaćuje se u dinarskoj protuvrijednosti na dan uplate.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

POKUSNI AUTONOMNI PARALELNI POGON ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA *VEAG-a I CENTREL-a*

CENTREL AND *VEAG* POWER SYSTEM AUTONOMOUS PARALLEL TRIAL OPERATION

Blecha K. — Votlucka I. — Svarc L., Češka, Konecny G. — Griger V., Slovačka, Csehek M. — Kapas M., Mađarska, Dobroczek A. — Zieliński Z., Poljska, Kranhold M. — Gudat R., VEAG

UDK 621.31:621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

Članak je izvješće o pokusnom pogonu EES-a, VEAG-a i UCPTE-a, kao pripreme za njihovo pristupanje UCPTE-u.

Ključne riječi: CENTREL UCPTE, EES.

1. UVOD

Elektroprivrede Poljske (PSE S. A), Češke Republike (CEZ a. s.), Slovačke (SEP) i Mađarske (MUMRt) izrazile su svoju namjeru da se pridruže elektroenergetskom sustavu UCPTE-a. Izrađene su studije izvedivosti ili su još u tijeku da se utvrdi kako ispuniti zahtjeve UCPTE-a.

Za vrijeme priprema četiri poduzeća su 11. listopada 1992. osnovala u Pragu radne grupe i ustanovila organizaciju nazvanu CENTREL. Dalji cilj CENTREL-a bio je koordinacija razvoja udruženih elektroenergetskih sustava, organiziranje povoljnih transakcija električnom energijom i iniciranje koordinirane kooperacije s drugim elektroenergetskim sistemima.

Sustavi CENTREL-a željeli su testirati svoju sposobnost za autonomni paralelni pogon. Pripreme za ovaj pokusni pogon počele su prije godinu dana. Osnovana je jedna ad hoc radna grupa sa zadatkom da izradi, realizira i ocijeni program pokusa i da odredi nužna poboljšanja u primarnoj i sekundarnoj regulaciji. Ta poboljšanja su dostatna za autonomni pogon četiriju navedenih sustava, pripremajući se ispuniti zahtjeve UCPTE-a.

Budući da istočni dio Njemačke, koji pokriva VEAG, još uvijek nije povezan sa sustavom UCPTE-a, provedeni su pokusi povezanim sistemima CENTREL-a i VEAG-a.

Glavna svrha tih pokusa bila je provjeriti ponašanje elektroenergetskog sustava u izoliranom pogonu, te,ponajprije, ispitati djelovanje primarne i sekundarne regulacije pri naglom poremećaju ravnoteže djelatne snage opsega nekoliko stotina MW u svakom od sastava, a jednako tako i stacionarni pogon s prirodnim varijacijama opterećenja.

1. INTRODUCTION

Power companies of Poland (PSE S. A.), Czech Republic (CEZ a. s.), Slovakia (SEP) and Hungary (MVMRt) expressed their intent to join power systems of the said states to the UCPTE power system. Feasiblity studies were made or are in work to determine how to fulfill the requirements of the UCPTE.

During the preparation, the four companies have set up working groups and established an organisation called CENTREL on October 11, 1992 in Prague. CENTREL's further aim is to coordinate the development of the respective power systems, to organize beneficial electrical energy transactions and to initiate coordinated cooperation with other power systems.

CENTREL systems wanted to test their ability for autonomous parallel operation. Preparations for this trial operation have begun one year ago. An ad hoc working group was set up to work out, realize and evaluate the test program, and to determine the necessary improvements in the primary and secondary control. These improvements are sufficient for the four said systems autonomous operation, preparing to meet the UCPTE requirements.

Because the VEAG system operating on Eastern area of Germany is still not connected to the UCPTE system, the tests have been conducted in the CENTREL system interconnected with VEAG system.

The main purpose of the tests was to check the behaviour of the power system when operating isolated, and most of all, to examine operation of primary and secondary control system after sudden disturbance of active power balance in the range of several hundreds MW in each of the systems, as well as in the

Testovi su počeli 29. rujna u 8 sati 30 minuta i trajali su do 20 sati 30. rujna 1993.
Ovo kratko izvješće sažima glavne rezultate mjerenja obavljenih tijekom pokusa otočnog pogona povezanih sustava CENTREL-a i VEAG-a zajedno s analizom dobivenih rezultata.

2. KRATKE KARAKTERISTIKE ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA *CENTREL*-a I *VEAG*-a

Potkraj 1992. bil su osnovne karakteristike elektroenergetskih sustava CENTREL-a i VEAG-a

instalirana snaga	81 135 MW
vršno opterećenje	51 907 MW
proizvodnja	319 970 TWh
potrošnja	318 364 TWh.

U ispitivanom iterkonektivnom elektroenergtskom sustavu bili su udjeli u proizvodnji električne energije:

konvencionalne termoelektrane	oko 85 %
nuklearne elektrane	oko 12 %
hidroelektrane	oko 3 %

Među termoelektranama pretežno su to one ložene ugljenom i lignitom.
Večernje vršno opterećenje u danima pokusa bilo je približno 45 000 MW (razlika između prvoga i drugoga večernjega vršnog opterećenja bila je približno 600 MW).
Tijekom pokusa u kojima su vršeni nagli poremećaji ravnoteže snaga (isključivanje elektrana) bilo je, što je posebno važno, na raspolaganju:

— u primarnoj regulaciji: od ±3.0 % do ±3.2 % ukupnog opterećenja sustava
— u sekundarnoj regulaciji: od ±5.2 do ±6.2 % ukupnog opterećenja sustava.

Za vrijeme dinamičkih ispitivanja bila je rotirajuća rezerva od 7.4 do 12.4 % ukupnog opterećenja sustava.

3. PROGRAM POKUSA

Kao rezultat CENTREL-ove ad hoc grupe za primarnu i sekundarnu P-f regulaciju, dopunjene predstavnicima VEAG-a, izrađen je program pokusa, i prema njemu su 29. i 30. rujna 1993. provedeni pokusi u izoliranom sustavu.

Program je predviđao devet dinamičkih ispitivanja, tj. isključivanja proizvodnje ili potrošnje od 300 MW do 500 MW. Također je sadržavao nužne podatke u vezi s pripremom sustava za pokuse, izdvajanje iterkonektivnog sustava za otočni pogon, veličine prijenosa snage po interkonektivnim dalekovodima, koordinaciju rada tijekom pokusa, karakteristike središnjih LFC regulatora* i slično. Koeficijenti k (λ) za

* LFC . . . Load Frequency Control, u sekundarnoj regulaciji.

static operational conditions with natural power load variation.
The tests started on Sept 29 at 8^{30} and lasted till Sept 30, 1993, 20^{00}.
Present Short Report summarises basic results of measurements performed during the tests in CENTREL and VEAG interconnected and islanded systems together with the analysis of the results obtained.

2. A BRIEF CHARACTERISTIC OF THE *CENTREL* AND *VEAG* POWER SYSTEM

By the end of 1992 the basic parameters of CENTREL and VEAG systems were as follows:

installed power	81 135 MW
maximal load	51 907 MW
energy produced	319.970 TWh
energy consumption	318.364 TWh

In the investigated interconnected power system participation in electrical energy production was:

— conventional thermal power stations — approx. 85 %
— nuclear power stations — approx. 12 %
— hydro power stations — approx. 3 %

In the group of thermal power stations the overwhelming part comprise the fosil coal and lignite fired power stations.
Maximum load in evening peak for the test days was approx. 45 000 MW (the difference between the first and the second evening peak was approx. 600 MW).
During the tests, in the time when sudden disturbances of power balance were introduced (power switching off) — what was particularly important — there have been disposed:

— in primary control — from ±3.0 % to ±3.2 % of total system power load,
— in secondary control — from ± 5.2 % to ±6.2 % of total system power load.

During the dynamic tests the spinning reserve was from 7.4 % to 12.4 % of total system power load.

3. PROGRAM OF THE TESTS

As a result of the CENTREL — Ad hoc group for primary and cecondary P-f control, augmented next with VEAG representatives a program of system tests was worked out, so that on this basis the tests of isolated system on September 29 and 30, 1993 were performed.

Program scheduled nine dynamic tests, i.e. generation or receiver power of 300 to 500 MW switchings. It also contained necessary data concerning preparation of the systems to the tests, isolation of the interconnected system for islanded operation, the values of power transmitted in the tie lines, coordination of operations during the tests, characteristics of central LFC Controllers, and similar. The k_{syst} (λ) coefficients

Δf faktore LFC regulatora za vrijeme trajanja pokusa pretpostavljeni su za 10 % očekivanog vršnog opterećenja (u MW/Hz). Neosjetljivost primarne regulacije postavljena je na vrijeme 0.
Pokusima je prethodila priprema sustava za otočni pogon. Od elektroenergetskog sustava Ukrajine odvojilo se iskapčanjem DV 750 kV Zapadoukrainskaja-Albertirsa koji je prenosio 378 MW, i to je ujedno bio prvi dinamički pokus.
Nepredviđeno isključivanje proizvodnih jedinica angažiranih s 273 MW dogodio se 30. rujna 1993. u 6 sati 40 minuta u elektroenergetskom sistemu VEAG-a (BEWAG-a) i smatrano je desetim dinamičkim pokusom.
Sve sklopne operacije vršne su prekidačima.
Podaci o provedenim pokusima dani su u tablici 1.

for Δf factors of the LFC Controllers for the period of tests were assumed equal to 10 % of forecasted peak power load (in MW/Hz). The primary control dead bands had to be preset to value 0.
The tests have been preceded with preparation of the systems for islanded operation. Disconnection from NPS Ukraina by 750 kV tie line Zapadoukrainskaya — Albertirsa carrying 378 MW — what was also the first dynamic test.
Not scheduled switching off the power unit with 273 MW load took place on Sept. 30, 1993 at 6^{40} in the VEAG (BEWAG) System and it was considered as the tenth dynamic test.
All the switching off operatins have been done with the use of circuit breakers.
Actual data on the tests conducted are given in table 1.

Tablica 1. Sistem CENTREL-a i VEAG-a (29. IX – 30. IX. 1993). Glavni rezultati pokusa

Table 1. System: CENTREL + VEAG (29. 09. – 30. 09. 1993). The basic results of the tests

Test No.	Day Time	ΔP [MW]	PS	$\Sigma P_1(t_0)$ [MW]	$\Sigma nP_p(t_0)$ [MW]	spinning reserve P_p [MW]	RRpc ±[MW]	RRsc ±[MW]	Δf_{steady} [mHz]	$\Delta f_{min\ (max)}$ [mHz]	$\frac{df}{dt}$ [mHz/s]	S_s [%]	K_s [MW-/Hz]	T_{Ig} [s]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	29.09 8.30	378	Albertirsa (H)	41701	47306	3629	1300	+2449 −3249	44	70	31.6	11.0	8591	12.6
2	29.09 11.30	−257	Dunamenti (H)	41492	46819	3435	1282	+2513 −2963	−21	−44	−21.2	7.7	12238	12.9
3	29.09 12.30	390	Žarnowiec (PL)	40819	46546	3320	1282	+2434 −3022	40	66	20.0	9.5	9750	20.9
4	29.09 14.30	397	Markersbach (VEAG)	38763	46681	4794	1259	+2568 −2998	29	58	31.6	6.8	13690	13.5
5	29.09 15.30	−406	Cierny Wah (SK)	38682	45356	4702	1244	+2599 −2677	−41	−63	−26.6	9.2	9902	16.8
6	29.09 16.30	−390	Melnik (C)	39052	45326	3780	1189	+2421 −2785	−44	−69	−30.0	10.2	8864	14.3
7	30.09 8.30	−373	Kozienice (PL)	41479	46271	3150	1230	+2458 −2906	−42	−63	−28.1	10.4	8881	14.3
8	30.09 9.30	−478	Boxberg (VEAG)	41135	46432	3100	1214	+2555 −2947	−52	−87	−43.1	10.1	9192	11.9
9	30.09 10.30	394	Cierny Wah (SK)	41149	46396	3043	1294	+2147 −2575	46	69	26.9	10.8	8565	15.8
10	30.09 6.40	−273	Bewag (VEAG)	38287	44216	3876			−31	−51	−27.8	10.0	8806	11.1

Glavni ciljevi pokusa bili su:

1. provjera djelovanja primarne i sekundarne regulacije u ispitivanim izoliranim sustavima,
2. promatranje pogona izoliranih sustava s prirodnim varijacijama opterećenja (odstupanja frekvencije i totala razmjene snage),
3. promatranje pogona izoliranih sistema pri naglim ispadima nekoliko stotina MW djelatne snage u svakom od sustava,
4. određivanje statičkih i dinamičkih frekvencijskih karakteristika i koeficijenata k_s za ispitivane sustave.

Rezultati pokusa koristit će se za procjenu potrebne adaptacije sistema CENTREL-a sistemu UCPTE-a sa stajališta sposobnosti regulacijskog odgovora.
Očekivani opseg mjerenja za vrijeme pokusa:

The main aims of the tests were the following:

1. Checking the effectiveness of primary and secondary control operation in investigated isolated systems.
2. Observation of isolated systems operation with natural power load variation (deviations of frequency and exchanged power total).
3. Observation of isolated systems operation with sudden active power outages of several hundreds MW in each of the systems.
4. Determining static and dynamic frequency characteristics and k_{syst} coefficients for the investigated systems.

The results of the tests will be used for evaluation of the CENTREL system adaptation for cooperation with UCPTE system from the point of wiew of system control response capability.
Expected scope of measurements in the time of tests:

Tijekom ispada

1. mjerenje isključene snage: ΔP,
2. opterećenje svakog sistema P_L tijekom iskapčanja — bez razmjene snage između sustava — temeljeno na mjerenim podacima nacionalnih dispečerskih centara,
3. ukupna nazivna i angažirana snaga jedinica koje su u pogonu — temeljeno na podacima nacionalnih dispečerskih centara,
4. snimanje trenutačne frekvencije $f(t)$ na 2 do 3 mjesta u svakom sustavu, u trajanju 30 sekundi poslije ispada,
5. snimanje frekvencije — trajno mjerenje,
6. snimanje odstupanja totala razmjene od planiranog: $\Delta P_{razm}(t)$ — trajno mjerenje s povećanom vremenskom rezolucijom,
7. snimanje djelatne snage i frekvencije na izabranim proizvodnim jedinicama s uključenom i blokiranom primarnom regulacijom (preporučena mjerenja za provjeru samog kruga primarne regulacije),
8. trajno snimanje djelatne snage, frekvencije i napona na interkonektivnim dalekovodima (preporučena mjerenja).

During the outages

1. Measurement of switched off power — ΔP.
2. Power load P_L of each system during the switching off operation — (without intersystem exchanged power) — based on measurement data of NPS Dispatching Centers.
3. Total rated power and load power of the power units in operation — based on the data of NPS Dispatching Centers.
4. Registration of instantaneous frequency — $f(t)$ in 2 to 3 points in each system, during 30s intervals after following an outage.
5. Registration of frequency — a continuous measurement.
6. Registration of total exchanged power deviation from scheduled values — $\Delta P_{ex}(t)$ — a continuous registration with increased time resolution.
7. Registration of active power and frequency at selected power units operating with and without primary control (measurements recommended for checking proper operation of primary control circuits).
8. Continuous registration of active power, frequency and voltage in the tie lines (recommended measurements).

Tijekom cijelog pokusa

1. srednja satna frekvencija: mf,
2. srednje satno odstupanje totala razmjene djelatne snage: $m\,\Delta P_{razm}$,
3. snimanje srednje regulacijske pogreške (preporučeno mjerenje): $(\Delta P + k\Delta\varphi)$.

All the time of tests throughout

1. One-hour-mean frequency — mf.
2. One-hour-mean of exchanged active power total deviation — $m\Delta P_{ex}$.
3. Registration (a recommended measurement) of mean control error $(\Delta P + k\Delta\varphi)$.

4. MJERNI SUSTAVI U ZEMLJAMA (ELEKTROENERGETSKIM SUSTAVIMA) KOJE SUDJELUJU U POKUSIMA

Svaka elektroprivreda koja je sudjelovala u pokusima bila je prema dogovoru odgovorna za provođenje mjerenja u svom sustavu u opsegu određenom programom pokusa. Kao obavezatno trajanje mjernog ciklusa u mjerenjima dinamičkih procesa izabrana je 1 sekunda. U stvarnosti, osnovna mjerenja provedena su s vremenskim ciklusom 0.1 i 1.0 sekunda. S vremenskim ciklusom 0.1 sekunda provedena su izravna mjerenja trenutačnih vrijednosti napona i struja, iz kojih su se proračunavale vrijednosti snage i frekvencije korištenjem računala. Pretpostavljena točnost takvih mjerenja bila je reda veličine 1 %, a za frekvenciju 1 mHz. U vremenskim ciklusima 1 sekunde korišteni su u računalima podaci iz mjernih pretvarača. Osnovni mjerni sustavi s vremenskim ciklusom 0.1 sekunda imali su rezervu u mjernim sustavima s vremenskim ciklusom 1 sekunda s uporabom mjernih pretvarača i sustavima daljinskog mjerenja. Osnovna mjerenja provedena su na svim međusistemskih interkonektivnim dalekovodima (u graničnim čvorištima), jednako kao i u izabranim osnovnim termoelektranama i pumpnim hidroelektrama da se provjeri djelovanje primarne i sekundarne re-

4. MEASUREMENT SYSTEMS IN THE COUNTRIES (POWER SYSTEMS) — PARTICIPATING IN THE TESTS

According to settlements, each power utility participating in the tests was responsible for making the measurements in its system in the scope determined in the program of tests. As obligatory the measurement cycle duration 1 second was selected for the measurement of dynamic processes. In reality, the basic measurements have been performed with the cycle time of 0.1 and 1.0 second. With the 0.1 s cycle time were performed direct measurements of instantaneous values of voltages and currents, followed by transforming calculations to get power and frequency values and the results are handeled in computer technique. Assumed accuracy of such measurements was of order of 1 %, while for the frequency — 1 mHz. In 1s cycle time measurements transducers with conversion of the results were used in a computer system. The basic measurement systems with 0.1 second cycle time were backed up by measurement systems with 1 second cycle time with the use of measurement transducers and telemetric systems.
The basic measurements were performed on all intersystem tie lines (in the border substations) as well

gulacije. Neovisno o navedenim mjernim sistemima bili su u pogonu postojeći mjerni sistemi u nacionalnim dispečerskim centrima.
Sinkronizacija mjerenja bila je prema vremenskim signalima frankfurtskog radija (DZF 77).

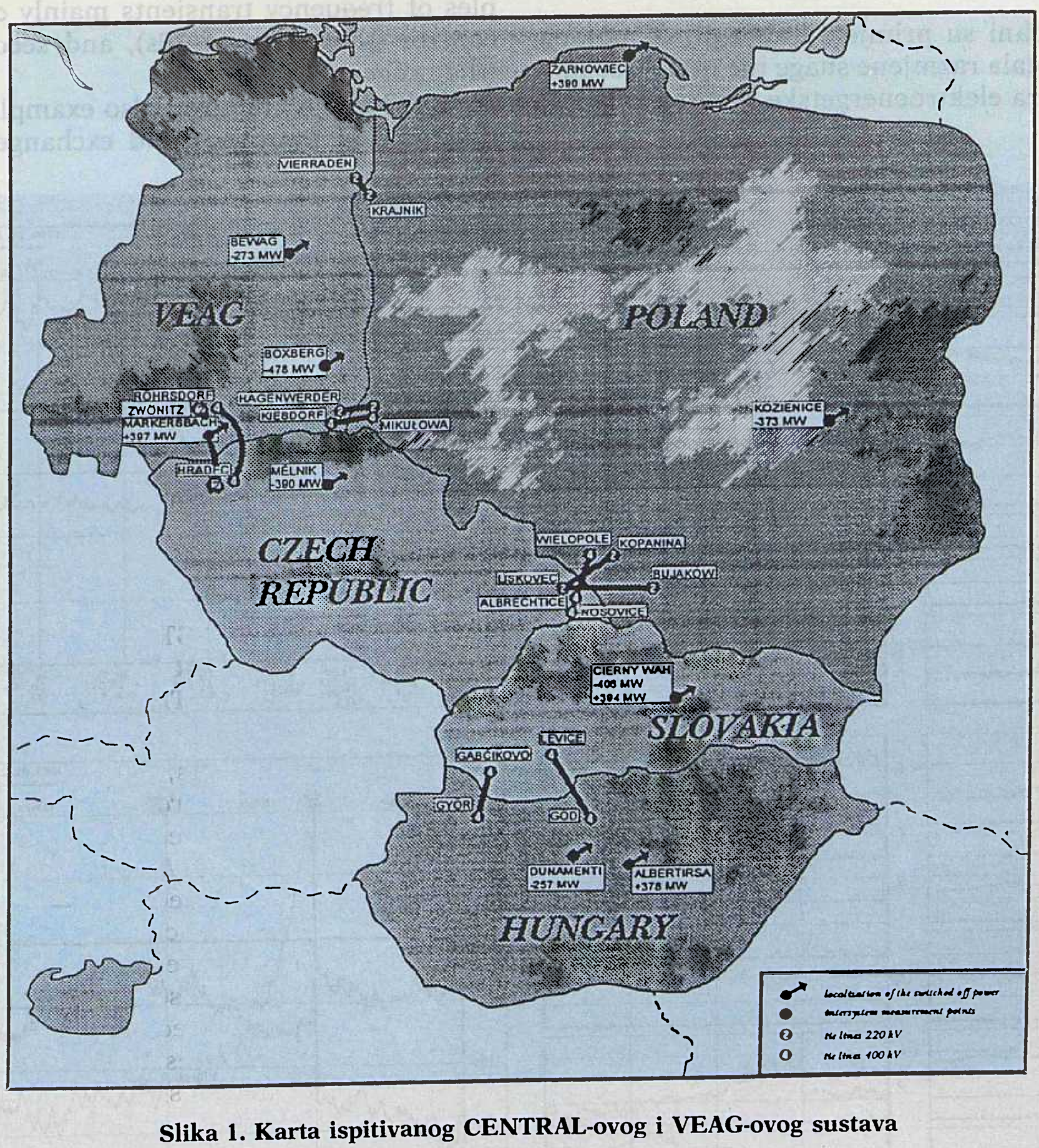
5. REZULTATI POKUSA (MJERENJA)

Na sl. 1. prikazana je karta pogonskog područja ispitivanih sustava s naznakom točaka međusistemskih mjerenja na interkonektivnim vodovima i lokalizacijom isključivane snage.
U tablici 1. dani su osnovni rezultati deset dinamičkih pokusa. Vrijednosti statizma sustava (s_s), koeficijenta regulacijske energije k_s, derivacije frekvencije

as in selected basic thermal and hydro pumped-storage power stations to check operation of primary and secondary control. Independently of the above mentioned measuring systems, the existing measurement systems in National Control Centers were in operation.
Synchronisation of the measurements was performed using Frankfurt Radio timing signals (DZG 77).

5. RESULTS OF THE TESTS (MEASUREMENTS)

In fig. 1 a map of the tested systems operation area is illustrated with indication of the intersystem measurement points on tie lines and localisation of the switched off power.



Slika 1. Karta ispitivanog CENTRAL-ovog i VEAG-ovog sustava

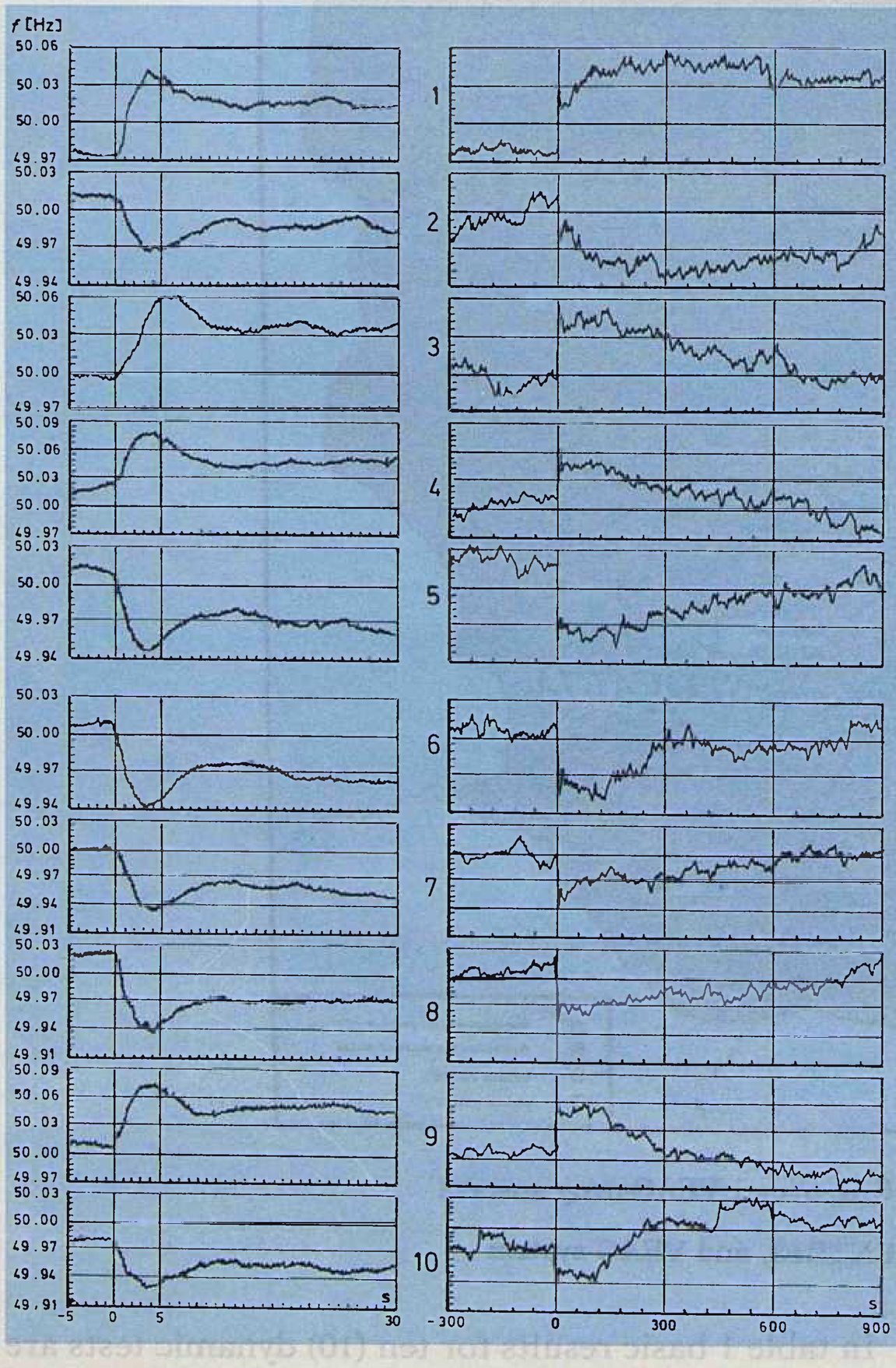
Fig. 1. A map of the tested CENTREL and VEAG system

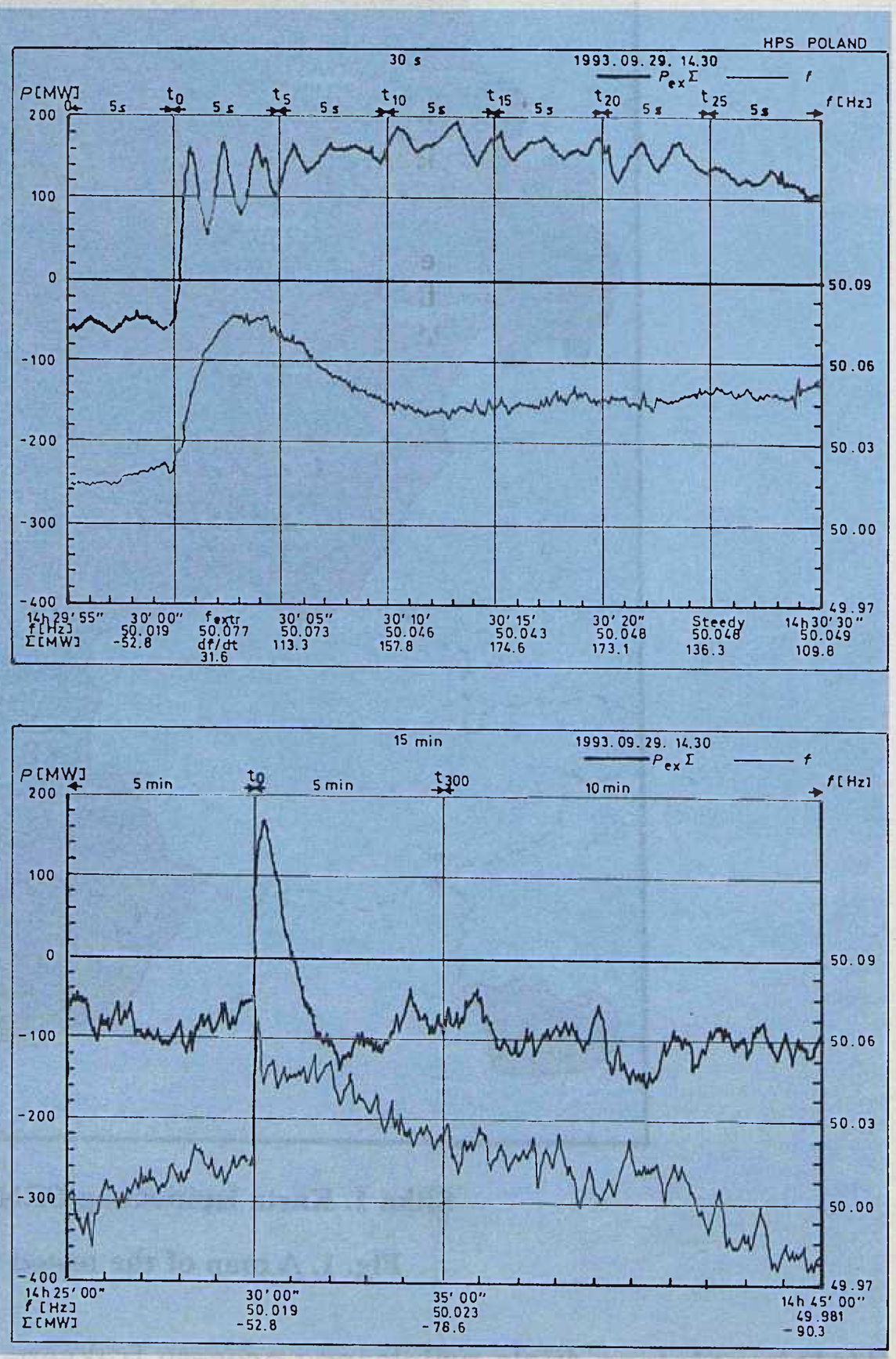
df/dt iz početnog dijela prijelaznog procesa frekvencije i vremenska konstanta inercije sustava (T_s) izračunani su iz mjerenih podataka.
Vrijednosti Δf_{stac} izračunane su kao srednje vrijednosti u intervalima 20 do 30 sekundi poslije t_o, tj. od trenutka nagle promjene ravnoteže djelatne snage.
Vrijednosti df/dt za dinamičke procese određene su

In table 1 basic results for ten (10) dynamic tests are given. The values of system statism (s_s), coefficient of regulating energy (k_s), frequency derivative df/dt from the initial part of frequency transient process, and system inertia time constant (T_{Is}) calculated from measurement data are set down.
The values of Δf_{steady} were calculated as mean values

kao maksimalna jednosekundna srednja vrijednost za 2 sekunde početnog intervala dinamičkog procesa frekvencije. Ishodište intervala jest zapravo 0.1 sekunda poslije t_0.
Dijagrami frekvencije u ovisnosti o vremenu koji su korišteni za izračunavanje mjernih rezultata danih u tablici 1 određeni su iz podataka mjerenja vršenih u 400 kV čvorištu Wielopole (Poljska). Podaci, u vezi s frekvencijom, većinom su usporedivi s onima koji su dobiveni u drugima mjernim sustavima, a razlike su u posebnim slučajevima od nule do nekoliko mHz.
Na sl. 2. dana je grupa dijagrama frekvencije u ovisnosti o vremenu u intervalima 30 sekundi i 15 minuta za sve dinamičke pokuse. To su primjeri prijelaznih pojava frekvencije različitog vremena promatranja uglavnom kao posljedica primarne regulacije (opseg 30 sekundi) i sekundarne regulacije (opseg 15 minuta).
Na sl. 3. i 4. dani su primjeri izabranih dijagrama frekvencije i totala razmjene snage tijekom 30 sekundi i 15 minuta za elektroenergetske sustave Poljske i Mađarske.

in the interval 20 to 30 s since t_0, i. e. since the instant of sudden active power balance break.
The values of df/dt for the dynamic processes are determined as the maximum 1s mean value for initial 2 s interval of the frequency dynamic process. The starting point of the interval is, in fact, 0.1 s after t_0.
Frequency vs. time diagrams used for calculation of the measurement results given in table 1 have been determined from the data of measurements performed in 400 kV substation Wielopole (Poland). The data — regarding frequency — in majority, are comparable with the ones obtained in another measurement systems, and the differences in particular cases are from nought to several mHz.
In fig. 2 a set of frequency vs. time diagrams in interval of 30s and 15 min. is given for all the dynamic tests. They include as the result of rangeassumed examples of frequency transients mainly due to primary control (the range of 30s), and secondary control (the range of 15 min.).
In figs. 3 and 4 are given also examples the selected diagrams of frequency and exchanged power total



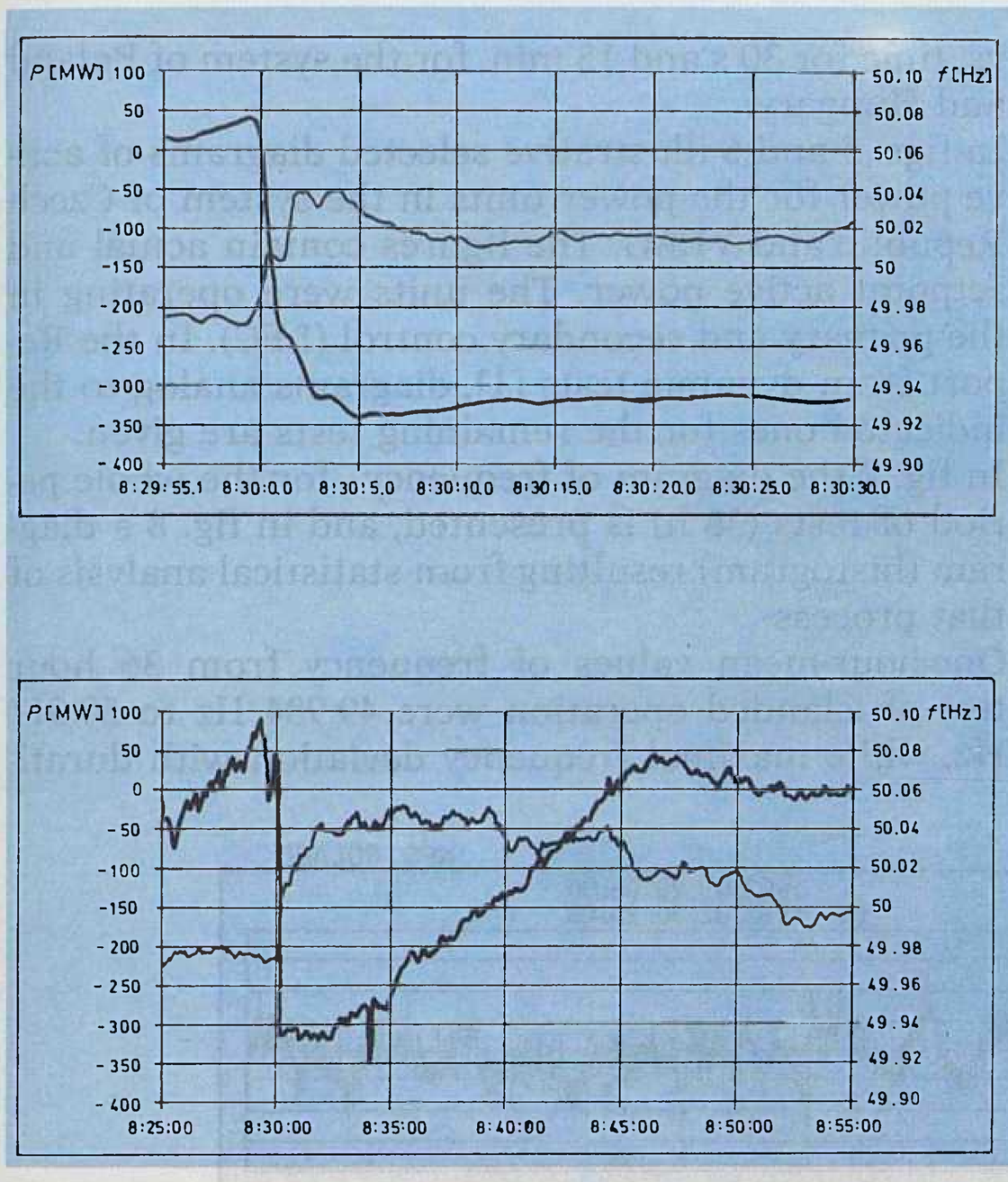


Slika 2. Dijagrami frekvencije u ovisnosti o vremenu za dinamičke pokuse, pokusi # 1 ÷ 10.

Fig. 2. Frequency vs. time diagrams for dynamic tests # 1:10

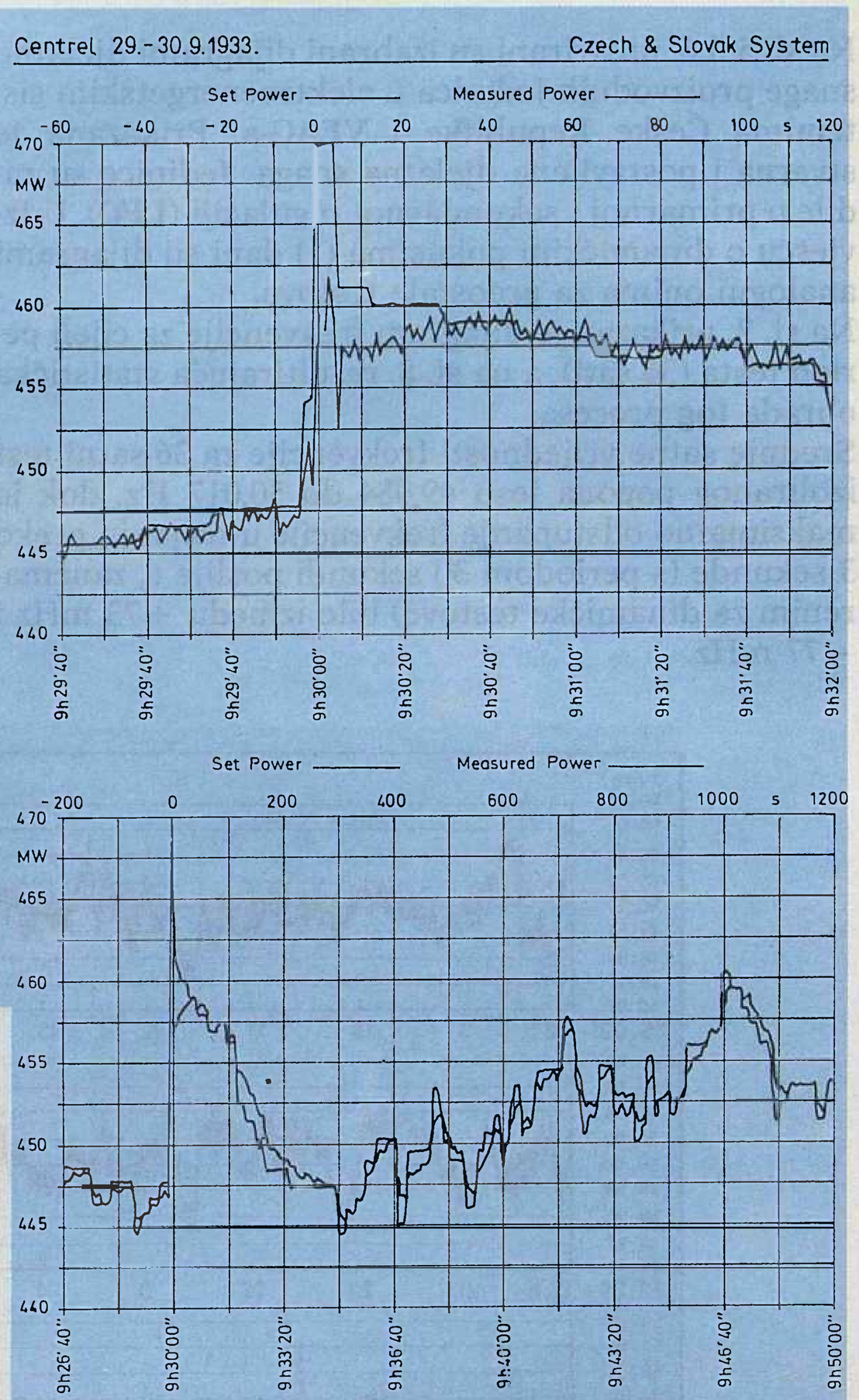
Slika 3. Dijagram frekvencije i totala razmjene snage (pokus # 4), poslije isključivanja 397 MW u TE Markersbach (VE-AG)

Fig. 3. Diagram of frequency and exchanged power total (test 4) after switching off 397 MW in PS Markersbach (VE-AG)



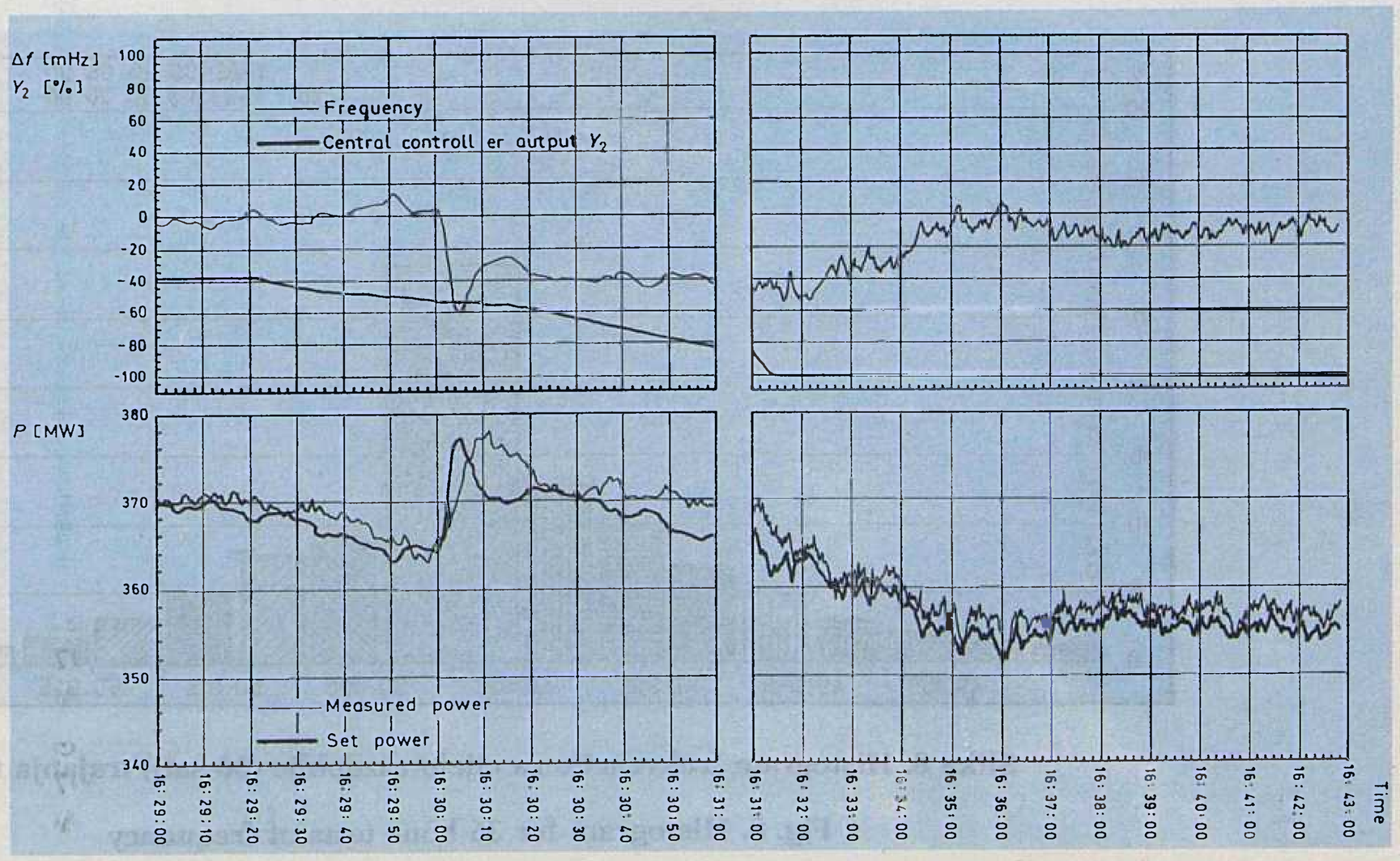
Slika 4. Vremenski tijek salda razmjene Madžarske i frekvencije poslije isključivanja TS Albertirsa, pokus # 1. 29. X. 1993.

Fig. 4. Time course diagram of net interchange power (H) and frequency after switching off Psubst. Albertirsa (H) (Test 1., 29.9.93)



Slika 5. Vremenski tijek postavljene i mjerene snage u TE Melnik III poslije isključivanja TE Boxberg (VEAG), 30. IX. 1993. u 9:30.

Fig. 5. Time-course diagram of set power and measured power in PS Mělnik ili after switching off in PS Boxberg (VEAG), 30. 9. 93 at 9:30



Slika 6. Vremenski tijek postavljene i mjerene snage u TE Boxberg (VEAG) poslije isključivanja u TE Melnik (ČR), 29. IX. 1993. u 16:30.

Fig. 6. Time-course diagram of set and measured power in the PS Boxberg (VEAG) after switching off in the PS Melnik (ČR), 29. 09. 93 at 16.30.

Energija, god. 43 (1994) 4, 205 – 216

Na sl. 5. i 6. ilustrirani su izabrani dijagrami djelatne snage proizvodnih jedinica u elektroenergetskim sistemima Češke Republike i VEAG-a. Prikazana je stvarna i postavljena djelatna snaga. Jedinice su radile u primarnoj i sekundarnoj regulaciji (LFC). U Izvješću o dinamičkim pokusima (1) dani su dijagrami analogni onima za preostale testove.

Na sl. 7. prikazan je dijagram frekvencije za cijeli period testa (36 sati), a na sl. 8. rezultirajuća statistička obrada tog procesa.

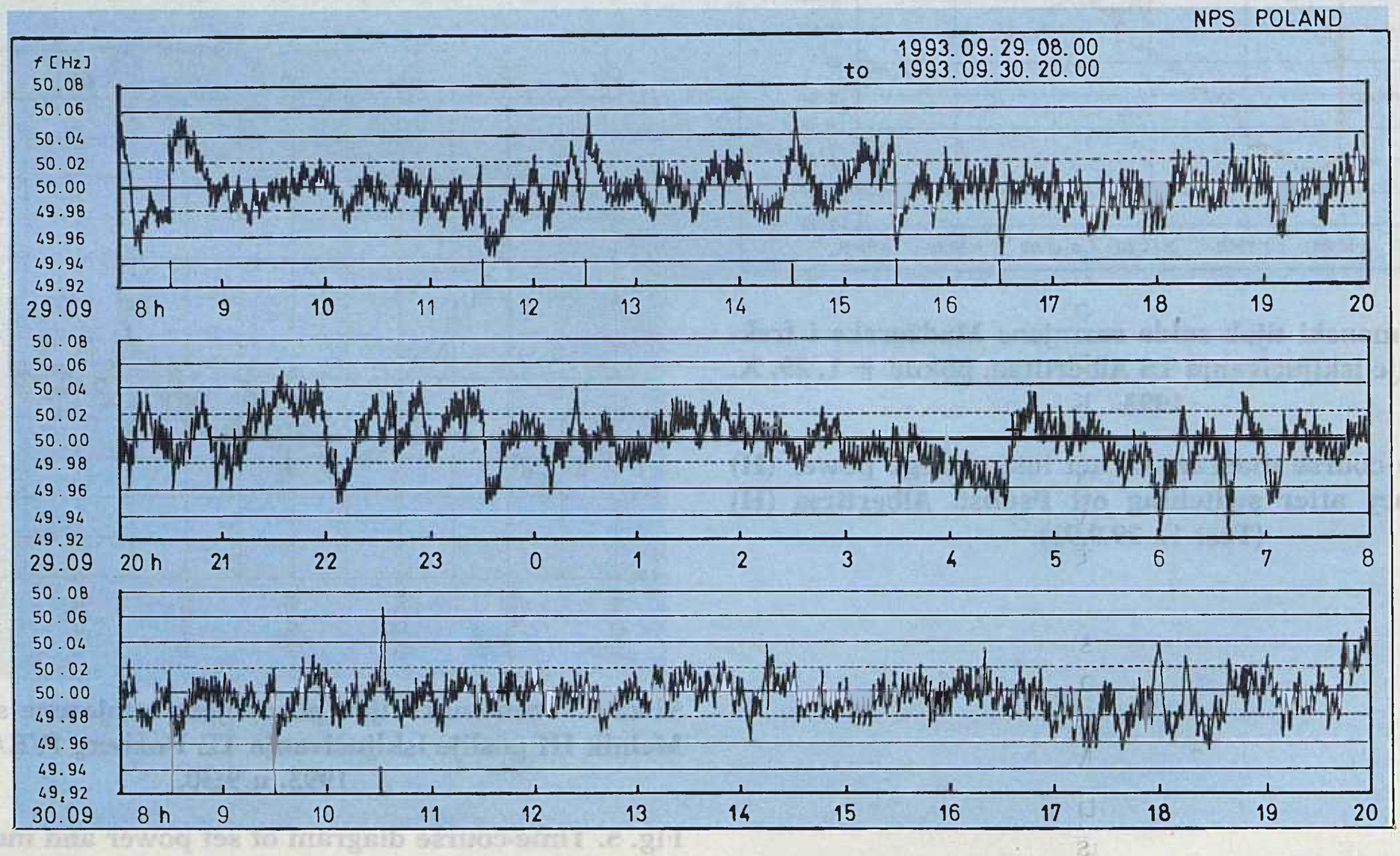
Srednje satne vrijednosti frekvencije za 36-satni test izoliranog pogona jesu 49,984 do 50,017 Hz, dok je maksimalno odstupanje frekvencije u trajanju preko 3 sekunde (s periodom 30 sekundi poslije t_o zanemarenim za dinamičke testove) bilo između +73 mHz i −77 mHz.

vs. time for 30 s and 15 min. for the system of Poland and Hungary.

In figs. 5 and 6 illustrative selected diagrams of active power for the power units in the system of Czech Republic and VEAG. The figures contain actual and setpoint active power. The units were operating in the primary and secondary control (LFC). In the Report from dynamic tests [1], diagrams analog to the indicated ones for the remaining tests are given.

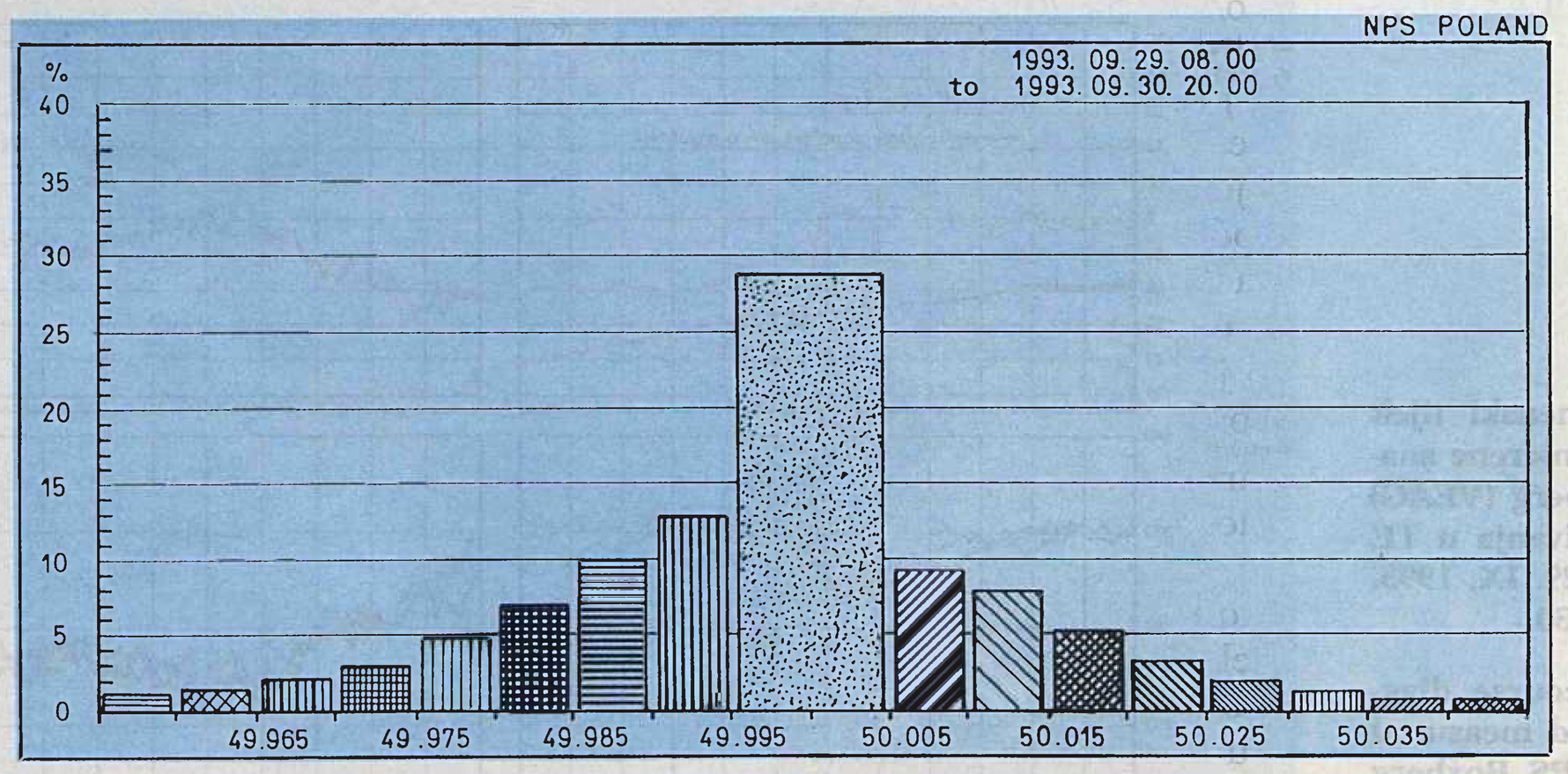
In fig. 7 the diagram of frequency for the whole period of tests (36 h) is presented, and in fig. 8 a diagram (histogram) resulting from statistical analysis of that process.

One-hour-mean values of frequency from 36 hour test of islanded operation were 49.984 Hz to 50.017 Hz, while maximal frequency deviation with durati-



Slika 7. Vremenski tijek frekvencije tijekom svih 36 sati trajanja testa

Fig. 7. Frequency vs. time diagram for 36 hour of tests



Slika 8. Histogram frekvencije za cijelo razdoblje (36 sati) trajanja testa

Fig. 8. Histogram for 36 hour tests of frequancy

6. ANALIZA I OCJENA REZULTATA

Rezultate iz dinamičkih i statičkih testova treba ocijeniti, u opsegu ispitivanog sustava, kao dobre. Statizam sustava (s_s) za pojedinačne pokuse bio je od 6,8 % do 11 %, prosječno oko 9,5 %. Koeficijent regulacijske energije sustava (k_s) za većinu testova bio je oko 9 000 MW/Hz, tj. više od 20 % opterećenja sustava. Ti rezultati potvrđuju ispravno djelovanje primarne regulacije u ispitivanom sustavu.

Procijenjeno je da su varijacije koeficijenata statizma i regulacijske energije sustava više posljedica mjerenja i mjerne točnosti nego vremenskih promjena.

Kada su analizirane varijacije koeficijenata statizma sustava utvrđena je također važnost tendencije frekvencije neposredno prije isključenja snage: da je bila u skladu s onom koja rezultira iz isključivanja ili je njoj suprotna. To je posebno važno kada su odstupanja frekvencije koja prate poremećaje snage relativno malena u usporedbi s prirodnom neosjetljivošću primarne regulacije.

Vrijednosti postignutih koeficijenata k_s znatno su veće (više od dva puta) od postavljenih (10%) na središnjim LFC regulatorima prije pokusa.

Kao rezultat djelovanja primarne regulacije varijacije frekvencije u statičkom i dinamičkom stanju relativno su malene (od nekoliko do nekoliko desetaka mHz). Primarna regulacija prouzročila je također smanjivanjem odstupanja frekvencije znatno poboljšanje pogona sistema u usporedbi sa stanjem prije izdvajanja ispitivanog sustava.

Treba istaknuti da ispitivani sustav veličine od 40 000 MW (tijekom pokusa) prirodno karakteriziraju veća odstupanja frekvencije u usporedbi s velikim sustavima od nekoliko stotina tisuća MW djelatne snage.

Također je vrijedno spomenuti da je u ispitivanim sustavima prije pokusa bilo raspoloživo samo nešto više od 50 % od tehnički raspoloživoga regulacijskog opsega snage za primarnu regulaciju, te također da je dio proizvodnih jedinica tijekom pokusa radio s neosjetljivošću ε prerađenom od 10 na 20 mHz. Dalje, primarna regulacija je uključena poslije dugog vremena blokiranja i prvi put s prirodnim (ne simuliranim) varijacijama frekvencije. Svi navedeni činitelji razlogom su nezadovoljavajućega djelovanja primarne regulacije nekih proizvodnih jedinica. Poslije povećanja, prema programima pojedinih poduzeća, margina primarne regulacije i uklanjanja utvrđenih individualnih nedostataka, što je djelomice već urađeno, opravdano je očekivati još bolje rezultate.

Ustanovljeni nedostaci u primarnoj regulaciji pojedinih sustava navedeni su u nacionalnim izvješćima pojedinih poduzeća.

Rad sekundarne regulacije također je pozitivno ocijenjen. Poslije naglih ispada djelatne snage oporavak frekvencije na nazivnu vrijednost većinom je primijećen unutar 10 minuta (samo u dva primjera oko 15 minuta), a razina varijacija frekvencije u većini statičkih stanja, tj. 50 Hz ± 20 mHz, u vremenu 4 do 7 minuta (s izuzetkom dva slučaja).

on time exceeding 3s (with 30s period since t_0 ignored for dynamic tests) was within +73 mHz and −77 mHz.

6. ANALYSIS AND EVALUATION OF THE RESULTS

The results obtained both for dynamic and static tests are to be recognized — in the scale of investigated system — as good. The system statism (s_s) for particular tests was from 6.8 % to 11 %, approximately 9.5 % in the mean. The coefficient of power system regulating energy (k_s) for majority of tests was approx. 9000 MW/Hz, i.e. over 20 % of system power load. These results testify to proper operation of primary control in the investigated system.

It is estimated that variation of the coefficients of statism and power system regulating energy results to greater extent from the measurement attributes in the power system and measurement accuracy than from time variation of the quantities.

When power system statism coefficient variations is analysed it is stated also that it is important whether directly before switching off the power the frequency has tendency complaying with the one resulting from the switching or opposite to it. This is of particular importance when relatively small frequency deviations are accompanying power disturbance as compared with natural dead bands of primary control.

The values of k_s coefficients obtained are considerably (over twice) greater than the preset (10 %) on the LFC Central Controllers before the tests.

As result of primary control operation the frequency variations both in static and dynamic state were relatively small (from several to several tens mHz). Primary control caused also a considerable improvement in power system operation by decreasing frequency deviations as compared with the state before isolation of the investigated system.

It is to be pointed out that the investigated system of 40000 MW capacity (during the tests) is characterised in a natural way with larger frequency deviations as compared with large systems of several hundreds thousands MW of active power capacity.

It is also worthwhile to mention that in the investigated systems before the tests only a little over 50 % of technically available control power band was put into operation in primary control, and also that part of power units during the tests operated with the dead band ε preset from 10 to 20 mHz. Overmore, the primary control was switched into operation after a long non-operation time, and for the first time with natural (not simulated) frequency variations. All the mentioned factors were the reason of nonsatisfactory operation of primary control in some power units. After an increase — according to primary control in some power units. After an increase — according to programs of particular power utilities — of primary control margin and removing the individual deficien-

U približno 81 % vremena tijekom 36-satnog testa odstupanja frekvencije u statičkim stanjima bila su unutar opsega 50 Hz ± 20 mHz (histogram, sl. 8).

Analiza odstupanja totala razmjene snage od predviđenih vrijednosti (jednosatna srednja vrijednost i maksimalno odstupanje) može se provesti samo za pojedinačne sustave i nalazi se u izvješćima pojedinih zemalja.

Iz analize odstupanja frekvencije i podataka za pojedini sustav te uzimajući u obzir total razmjene snage slijedi da još uvijek treba poboljšati sekundarnu regulaciju ispitivanog sustava boljom koordinacijom postavljenja središnjih LFC regulatora, ujednačavanjem brzina slično kao i postavljenja.

Iz rezultata mjerenja u dinamičkim pokusima utvrđene su također vremenske konstante inercije za ispitivani sustav i dane u tablici 1. One su između 11.1 i 20.9 sekundi, prosječno oko 14 sekundi, i to su također interesantne veličine koje rezultiraju iz mjerenja.

Naponi u mreži 400 kV i 220 kV tijekom dinamičkih pokusa samo su se malo mijenjali.

Rezultati postignuti tijekom pokusa u elektranama koje su bile u primarnoj i sekundarnoj regulaciji treba također pozitivno kvalificirati sa stajališta sustava kao cjeline. Bez dobrog rada elektrana generalno se ne bi mogli primijetiti dobri rezultati mjerenja u cijelom interkonektivom sustavu. Pojedinačni slučajevi pogrešnog djelovanja analizirani su i u pojedinačnim elektranama poduzete su potrebne akcije.

Rezultati koji su dani u ovom izvješću malo se razlikuju od onih u preliminarnim dokumentima kao posljedica veće točnosti nekih podataka, posebno isključivanih snaga. Razlike u vrijednostima isključivanih snaga uglavnom su posljedica odbijanja snage vlastite potrošnje od proizvedene snage jedinice. Sadašnja isključivana snaga stvarna je neto-snaga proizvodne jedinice.

7. ZAKLJUČCI

1. Rezultati testova provedenih u elektroenergetskim sustavima CENTREL-a i VEAG-a ocijenjeni su dobrim za autonomni paralelni pogon CENTREL-a i VEAG-a. Taj se zaključak odnosi jednako na dinamičke pokuse s isključivanjem snage (opsega nekoliko stotina MW), kao i na one statičke u normalnom pogonu sustava i prirodnim varijacijama opterećenja.
2. Postoji potreba daljeg poboljšavanja kvalitete primarne regulacije, prema UCPTE preporukama, jednako kao i prema onima sadržanim u »Katalogu mjera za integraciju MVMRt, CEZ, SEP i PSE S. A. u UCPTE«. Treba završiti postojeće programe pojedinačnih poduzeća usmjerene postizavanju takvog pogona.
3. Rad na sekundarnoj regulaciji u CENTREL-ovom i VEAG-ovom sistemu treba nastaviti. Taj se zaključak odnosi jednako na marginu regulacije snage u pojedinačnom sustavu, varijaciju snage u LFC, kao i na koordinaciju rada središnjih regula-

cies found, what has already been partly done, so that it is justified expect still better results.

The deficiencies found in primary control of particular systems are stated in national reports of particular power utilities.

Operation of secondary control is also positively qualified. After sudden active power outages recovery of frequency to rated value in majority of cases have been observed within 10 minutes (only in two cases around 15 min.), and to the level of frequency variations in majority of static states, i.e. 50 Hz ± 20 mHz — in the time of 4 to 7 minutes (with exception of two cases).

In approx. 81 % of time the 36 hour test, the frequency deviations in static states were within the band 50 Hz ±20 mHz (histogram — fig. 8).

Analysis of deviations of exchanged power total from scheduled values (one hour mean values and maximum deviations) can only be performed for particular systems and is placed in the reports of particular countries.

From the analysis of frequency deviations and the data for particular systems and concerning the exchanged power total it follows, that the secondary control in the investigated system still should be improved by better coordination of LFC Central Controllers settings, making the speed rates approximately equal, similarly as for the settings.

From the results of measurements for the dynamic tests also the inertia time constants were obtained, given in table 1, for the investigated system. They are between 11.1 s and 20.9 s, approx. 14 s in the mean and are also interesting quantities resulted from the measurements.

The voltages in the grid 400 and 200 kV during the dynamic tests undergo only slight variation.

The results obtained during the tests in the power stations operating in primary and secondary control should also be positively qualified from the point of whole power system view. Without proper operation of power stations in general scale of interconnected system good results of measurements could not be observed. Particular cases of maloperations were analysed and necessary actions were taken in particular power plants.

The results given in the present report differ in part from the ones in preliminary documents as a consequence of more accurate some data, in particular of switched off powers. The differences in values of power switched off are due mainly to subtracting the power of auxilliaries from power unit output. The present switched off power is the real netto power unit output.

7. CONCLUSIONS

1. The results of tests conducted in the CENTREL and VEAG power system are qualified as good for CENTREL and VEAG autonomous parallel operation. This conclusion concerns both the dynamic tests with power switched off (the range of several

tora u pojedinačnim sistemima, njihovo postavljenje i točnost totala razmjene snage i frekvencije. Rezultirat će manje odstupanje frekvencije i totala razmjene snage u statičkim stanjima i prijelaznim procesima (ubrzanim) poslije naglih ispada djelatne snage nego što je to bilo tijekom pokusa.

4. Nedostatke koji su ustanovljeni u pojedinačnim slučajevima u primarnoj i sekundarnoj regulaciji treba riješiti.
5. Postignute rezultate ispitivanja treba upotrijebiti u daljem poboljšavanju sposobnosti regulacijskog odgovora sustava uključenih u CENTREL-ov i VEAG-ov sustav. Rezultate također treba upotrijebiti u istraživačkom radu glede interkonekcije navedenih sustava sa UCPTE-om. Treba ih također smatrati — budući da su dobiveni u prirodnim uvjetima — kao podatke izvanredne vrijednosti za istraživanje i učenje.
6. Konačni zaključak iz provedenih tekstova jest potvrda općenito dobre sposobnosti regulacijskog odgovora CENTREL-ovog i VEAG-ovog sustava i u prvim sekundama vremenskog intervala — zahvaljujući djelovanju primarne regulacije, i u minutama — kao rezultat djelovanja sekundarne regulacije (LFC).

LITERATURA

[1] CENTREL — Ad hoc grupa za primarnu i sekundarnu regulaciju P-f; Izvješće. Pokusni autonomni paralelni pogon elektroenergetskih sistema CENTREL-a i VEAG-a, prosinac, 1993.

OZNAKE

Δ P	vrijednost isključene snage (potrošnje ili proizvodnje)
PS	elektrana
$\Sigma\ P_L(t_o)$	snaga potrošnje u trenutku isključenja (ukupna)
$\Sigma\ nP_P(t_o)$	nazivna ukupna snaga angažiranih jedinica u trenutku isključenja
$P_P(O)$	rotirajuća rezerva u trenutku isključenja snage
RR_{pc}	opseg primarne regulacije snage
RR_{sc}	opseg sekundarne regulacije snage
Δf_{stac}	stacionarna vrijednost odstupanja frekvencije (određena kao srednja vrijednost izračunana u intervalu od 20 do 30 sekundi poslije to)
$\Delta f_{min\ (maks)}$	minimalno (maksimalno) odstupanje frekvencije poslije isključenja
df/dt	derivacija frekvencije
s_s	koeficijent statizma elektroenergetskog sustava: $s_s = \frac{\Delta f_{stac} \cdot \Sigma\ n\ P_p\ (t_o)}{f_n \cdot \Delta P}\ 100 \quad [\%]$
k_s	koeficijent regulacijske energije sustava: $k_s = \frac{\Delta P}{\Delta f_{stac}} \quad [MW/Hz]$
T_{Is}	vremenska konstanta inercije sustava: $T_{Is} = \frac{f_n \cdot \Delta P}{\Sigma n P_p\ (t_o) \cdot df/dt} \quad [s]$

Prijevod i obrada: Z. TONKOVIĆ

hundreds MW) and the static with normal power system operation and natural variations of the loads.

2. There exists a need of further improvement of quality the primary control, according to UCPTE recommendations, as well as the ones contained in »Massnahmenkatalog zur Integration von MVMRt, CEZ, SEP und PSE S. A. in die UCPTE«. The existing programs of particular power utilities focused to achieve this goal operation should be finalized.
3. The work concerning secondary control operation in the CENTREL and VEAG system should be continued. This conclusion concerns both the power control margin in particular power systems, power variation rate in the LFC, and coordination of Central Controllers operation in particular systems, their settings and accuracy of exchanged power total and frequency. As a result a narrower than during the tests deviations of frequency and exchanged power total will be obtained in static states and the transient processes (accellerated) after sudden active power outages will be improved.
4. The shortcomings found in primary and secondary control in individual cases for particular systems should be solved.
5. The results obtained in the investigation should be used in further works on improvement of control response capability of the systems included in the CENTREL and VEAG systems. The results should also be used in research work concerning interconnection of the considered systems to the UCPTE system. They should also be concerned — because obtained in natural conditions — as data of extraordinarily value for research and education.
6. The final conclusion from the tests performed is confirmation of generally good control response capabilities of the CENTREL and VEAG system both in the first seconds time interval — due to primary control operation — and in minutes time interval — as a result of secondary control (LFC) operation.

REFERENCES

[1] CENTREL — Ad hoc group for primary and secondary P-f: REPORT. CENTREL AND VEAG POWER SYSTEM AUTONOMOUS PARALLEL TRIAL OPERATION. December 1993.

NOTATION

ΔP	— value of switched off power (load or generation)
NPS	— National Power System
PS	— Power Station
$\Sigma\ P_l(t_o)$	— power load (total) at the instant of switching off
$\Sigma\ nP_p(t_o)$	— rated power total of units in operation at the instant of switching off

TEST OF AUTONOMOUS PARALLEL OPERATION OF VEAG AND CENTRELL ELECTRIC POWER SYSTEMS

The paper is a review of the test operation of VEAG and CENTREL electric power systems, as a preparation for their joint to UCPTE.

DER VERSUCH EINES AUTONOMEN VERBUNDBETRIEBES ELEKTROENERGETISCHER SYSTEME VEAG UND CENTREL

Der Artikel stellt einen Bericht über dem Versuchsbetrieb von EES und VEAG, gleichgeschaltet aber nicht verbunden mit UCPTE dar. Dieser Betrieb stellt eine Vorbereitung der Eingliederung genannter Unternehmen in die UCPTE dar.

spinning reserve $P_p(o)$ — spinning reserve at the instant of power switching off

RR_{pc} — primary control power band

RR_{sc} — secondary control power band

Δf_{steady} — steady value off frequency deviation (is determinated as a mean value calculated in the interval of 20 to 30 seconds since t_o)

$\Delta f_{min\ (max)}$ — minimal (maximal) frequency deviation after switching off

df/dt — frequency derivative

S_s — coeficient of statism for power system

$$S_s = \frac{\Delta f_{steady} \times \Sigma n P_p(t_0)}{f_n \times \Delta P} \times 100\ [\%],$$

k_s — coeficient of power system regulating energy

$$k_s = \frac{\Delta P}{\Delta f_{steady}}\ [MW/Hz],$$

T_{Is} — system inertia time constant

$$T_{Is} = \frac{\Delta P \times f_n}{\Sigma n P_p(t_0) \times df/dt}\ [s].$$

Naslov pisaca:

Blecha K., Votlucka I., Svarc L.
Češka
Konecny G., Griger V.
Slovačka
Csehek M., Kapas M.
Mađarska
Dobroczek A., Zieliński Z.
Poljska
Kranhold M., Gudat R.
VEAG

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 04 – 25.

Napomena

Zahvaljujući svom međunarodnom ugledu, kako piše u popratnom pismu, ponuđena su »Energiji« dva izvješća o jedinstvenim mjerenjima u elektroenergetskom sustavu. S obzirom na njihovo značenje (i ne bez zadnje primisli u pogledu našeg sustava) objavit ćemo ih u engleskom originalu, kako smo ga dobili, i u doslovnom prijevodu u ovom i sljedećem broju. Upoznavanje naše stručne javnosti s tim rezultatima to je više opravdano što smo tijekom 1992. sudjelovali, kao HEP, u formuliranju »Kataloga mjera za integraciju MVM Rt, CEZ, SEP i PSE S.A. u UCPTE« (»Massnahmenkatalog zur Integration von MVM Rt, CEZ, SEP und PSE S.A. in die UCPTE«), te u Stručnim savjetima povodom studije izvedivosti priključka Mađarske u UCPTE (što je i inicirala asocijaciju CENTREL).

Z. T.

POSLJEDICE RATA NA ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU HRVATSKE

Mr. Gordana Lučić, Zagreb

UDK 621.31:33 (497.13)
PREGLEDNI ČLANAK

Posljedice rata na prostorima Hrvatske i Bosne i Hercegovine jako su oštetile elektroenergetski sustav Hrvatske i Hrvatsku elektroprivredu. Tako su zbog rata nastali veliki poremećaji u radu elektroenergetskog sustava Hrvatske. Cjelovitost sustava je prekinuta oštećenjem prijenosnih objekata 400 kV mreže. Nastala su velika oštećenja gotovo svih elektroenergetskih objekata, osobito na području gdje su se vodile intenzivne ratne operacije. Dio objekata je na privremeno okupiranom području Hrvatske i nad njima Hrvatska elektroprivreda nema kontrolu. Prekinuta je isporuka električne energije iz Srbije i Bosne i Hercegovine na koju je Hrvatska elektroprivreda imala pravo zbog zakupa snage i energije, te ulaganja u pripremu i izgradnju novih i zamjenskih objekata u tim republikama. Prethodno navedeno, rezultiralo je značajnim promjenama u radu elektroenergetskog sustava i stagnacijom potrošnje i proizvodnje električne energije tijekom ratnih godina.

Ključne riječi: elektroenergetski sustav Hrvatske, elektroenergetski objekti, rat, šteta.

1. UVOD

Rat u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini traje već gotovo tri godine i uzrok je velikih stradanja stanovništva, osobito na prostorima gdje su se vodile ratne operacije, te poremećaja u gospodarskim sustavima tih dviju republika. To se sve odrazilo i na elektroenergetski sustav Hrvatske, jer je Hrvatska elektroprivreda svoj elektroenergetski sustav razvijala i izgrađivala u sklopu jedinstvenoga elektroenergetskog sustava na području bivše Jugoslavije u sklopu Zajednice jugoslavenskih elektroprivreda. S ostalim članicama Zajednice Hrvatska elektroprivreda gradila je prijenosnu mrežu te proizvodne objekte — termoelektrane na lokacijama koje su blizu ugljenokopa (Kakanj, Gacko, Tuzla, Obrenovac) i hidroelektrane HE Trebinje I. i HE Dubrovnik. Sa Slovenijom izgrađena je nuklearna elektrana Krško u Sloveniji, dok se druga nuklearna elektrana trebala zajednički graditi u Hrvatskoj. Ta koncepcija razvoja i izgradnje elektroenergetskog sustava Hrvatske elektroprivrede, bila je ponajprije diktirana politikom i gospodarskom strategijom bivše Jugoslavije.

Neprijatelj je u planiranju svojih zločinačkih napada tijekom rata osobito planirao razaranje i okupaciju ključnih elektroenergetskih objekata, znajući da je elektroprivredna djelatnost osnovna infrastrukturna djelatnost za egzistenciju društvenog i privrednog života svake zemlje. Rezultat toga su raspad elektroenergetskog sustava Hrvatske i velika oštećenja elektroenergetskih objekata, te okupacija dijela objekata koji su na privremeno okupiranom području Hrvatske. Zbog rata prekinuta je i isporuka električne energije iz Srbije i Bosne i Hercegovine na koju je Hrvatska elektroprivreda imala pravo jer je zakupila dio proizvodnje nekih termoelektrana ili je ulagala u pripremu i izgradnju dijela objekata na tim područjima.

Posljedice rata na elektroenergetski sustav Hrvatske su mnogobrojne i veoma su oštetile Hrvatsku elektroprivredu, te dijelom i privredu Hrvatske. To će sigurno utjecati na dalji razvoj elektroprivredne djelatnosti i ostalih privrednih djelatnosti Republike Hrvatske. U nastavku je dan pregled glavnih posljedica rata na elektroenergetskom sustavu Hrvatske.

2. POSLJEDICE RATA

Glavne su posljedice rata na prostorima Hrvatske:

- raspad elektroenergetskog sustava Hrvatske i prekinute veze s Bosnom i Hercegovinom i Srbijom
- okupacija gotovo trećine teritorija Hrvatske, na kojoj elektroenergetska postrojenja nisu pod kontrolom Hrvatske elektroprivrede
- prekid isporuke električne energije iz Bosne i Hercegovine i Srbije iz izvora koje je gradila Hrvatska elektroprivreda za svoje potrebe
- velika oštećenja elektroenergetskih postrojenja zbog neprijateljskoga bombardiranja i diverzija, osobito na područjima gdje su se vodile ratne operacije
- veliki procijenjen iznos izravne ratne štete u Hrvatskoj elektroprivredi
- potpuna orijentacija Hrvatske elektroprivrede na saniranje oštećenja i izgradnju zamjenskih objekata (interventnih programa), što nije u skladu s predratnim planom razvoja elektroenergetskog sustava.

Raspad elektroenergetskog sustava

Elektroenergetski sustav Hrvatske bio je povezan prijenosnom mrežom s elektroenergetskim sustavom bivše Jugoslavije u jedan sustav. Kičma tog sustava bio je prsten 400 kV mreže koji je kroz Hrvatsku

Energija, god. 43 (1994) 4, 217 – 223

prolazio sjevernim dijelom od Osijeka — TS Ernestinovo do Zagreba — TS Tumbri, pa kroz središnji dio, od Zagreba do Rijeke — TS Meline (dionica TS Tumbri — TS Meline je izgrađena 1992. godine) i kroz južni dio, od Rijeke do Obrovca — RHE Obrovac, te u nastavku do Splita — TS Konjsko. Prsten se zatvarao kroz Bosnu i Hercegovinu od Splita do Mostara, Sarajeva, Tuzle, Ugljevika i Osijeka u Hrvatskoj. Preko Osijeka prsten je bio spojen sa Srbijom. Manji prsten 400 kV mreže prema Sloveniji — od Zagreba prema Krškom, Mariboru, Podlogu i Divači uklapao se preko Rijeke u velik prsten, tj. središnji dio sustava.

Elektroenergetski sustav Republike Hrvatske, kao dio elektroenergetskog sustava bivše Jugoslavije, bio je dio europske interkonekcije UCPTE, a neposredno je bio povezan samo izravnom vezom 110/120 kV s Mađarskom.

U Hrvatskoj je velik dio 400 kV prstena izgrađen od 1975. do 1979. godine, a dionica Zagreb — Rijeka (TS Tumbri — TS Meline) 1992. godine. Tokovi električne energije kroz te vodove bili su od istoka prema zapadu, jer je Hrvatska zakupila ili izgradila u Bosni i Hercegovini, te Srbiji 600 MW za svoje potrebe, a uz to je Srbija preko tih dalekovoda izvozila svoju energiju u Zapadnu Europu.

Osim uz 400 kV mrežu, Hrvatska elektroprivreda bila je povezana sa susjednim republikama bivše Jugoslavije s 220 kV i 110 kV mrežom.

Funkcioniranje 400 kV prstena prekinut je bombardiranjem transformatorske stanice Ernestinovo kraj Osijeka, transformatorske stanice Konjsko kraj Splita, te samih dalekovodnih trasa i okupacijom područja kroz koja su dalekovodi bili trasirani. Pri tome su prekinute veze sa Srbijom i Bosnom i Hercegovinom. Razaranjem trafostanice Mostar prekinuta je 400 kV veza Bosne i Hercegovine prema južnom dijelu Hrvatske. Zbog istih razloga prekinuti su dalekovodi 220 kV, tj. trase TS Mraclin — TS Brinje i TS Brinje — TS Konjsko.

Dalekovod 220 kV od Dubrovnika do TS Trebinje također je oštećen, pa hidroelektrana Dubrovnik nije mogla plasirati električnu energiju u elektroenergetski sustav, a odgovarajuća veza prema Dalmaciji nije postojala.

Raspad elektroenergetskog sustava Hrvatske rezultirao je podjelom sustava na pojedine »otoke« — centralni dio Hrvatske, te područja Slavonije i Dalmacije.

Rezultat svega prethodno navedenoga bile su mnoge poteškoće u opskrbi potrošača električnom energijom, osobito na području Dalmacije koje je više mjeseci ostalo bez dovoljno električne energije. Problemi s opskrbom potrošača električne energije na području Slavonije bili su nešto blaži zbog toga što je to područje bilo povezano s centralnim dijelom Hrvatske, tako da je dalekovod 400 kV TS Tumbri — TS Ernestinovo stavljen pod napon od 220 kV do Đakova. Neredovita opskrba potrošača električnom energijom odrazila se na kompletni društveni i gospodarski život na tim područjima.

Centralni dio Hrvatske uglavnom je imao redovnu opskrbu električnom energijom, ponajprije zbog više prozvodnih objekata koji su locirani na tom području, zbog mogućnosti uvoza električne energije putem prstena 400 kV mreže iz Slovenije, kao i činjenicom da je elektroenergetski sustav Hrvatske ostao u paralelnom radu s mrežom UCPTE-a.

Dio elektroenergetskih objekata nije pod kontrolom Hrvatske elektroprivrede

Na privremeno okupiranom teritoriju Hrvatske mnogo je elektroenergetskih objekata, a oni nisu pod kontrolom Hrvatske elektroprivrede. Tako npr. kroz južni dio trase 400 kV mreže, koja povezuje središnji dio Hrvatske s Dalmacijom, lociran je na privremeno okupiranom području i predstavlja jedan od osnovnih problema osiguranju električne energije za potrošače u Dalmaciji. Od proizvodnih objekata na okupiranom su području elektrane RHE Obrovac, HE Manojlovac i HE Golubić ukupne snage 306.6 MW. Oko 30 % postrojenja prijenosa i distribucije električne energije također se nalaze na okupiranom području, tj. na području Baranje, Slavonije, Kordu-na i sjeverne Dalmacije. Treba očekivati da su ti elektroenergetski objekti oštećeni. Osim toga postoji bojazan da je dio postrojenja demontiran i preseljen na područja pod kontrolom neprijatelja.

Prekid isporuke električne energije iz Srbije i Bosne i Hercegovine

Početkom 1992. godine prekinuta je isporuka električne energije iz Srbije i Bosne i Hercegovine ukupne snage oko 600 MW. Ta isporuka električne energije pokrivala je 24 % prijeratnih potreba potrošača u Hrvatskoj.

Na području Bosne i Hercegovine Hrvatska elektroprivreda je zakupila termoelektrane snage 200 MW — Tuzla IV. i 50 MW Kakanj. Uz to znatna sredstva su uložena u izgradnju termoelektrana i rudnika na lokaciji Tuzlanskog bazena radi osiguranja budućih isporuka električne energije. Početkom 1992. godine isporuka električne energije iz zakupljenih elektrana je prekinuta. Zajedničkom izgradnjom s Elektroprivredom Bosne i Hercegovine Hrvatska elektroprivreda je također imala pravo na dio snage termoelektrane Gacko u omjeru svog udjela ulaganja od 1/3, tj. od 100 MW.

Na temelju zajedničkog ulaganja Hrvatske elektroprivrede s Elektroprivredom Srbije u izgradnju termoelektrane TE Obrenovac od 308 MW i rudnika Tamnava proizvodnje 3 milijuna tona ugljena godišnje, Elektroprivreda Srbije je bila dužna isporučivati električnu energiju od 1680 GWh godišnje, tj. dati na raspolaganje 280 MW snage.

Velika oštećenja elektroenergetskih objekata

Zbog neprijateljskih bombardiranja, miniranja i ostalih ratnih operacija uvelike su oštećeni elektroenergetski objekti.

Od objekata **proizvodnje** najviše su stradali objekti TE-TO Osijek, HE Peruča i HE Dubrovnik. Manje su stradali također i objekti TE Sisak, TE-TO Zagreb i HE Senj, gdje je stradalo postrojenje zatvaračnice Gusić polje u mjestu Brlog, općina Otočac.
Sva postrojenja TE-TO Osijek oštećena su zbog trajnog neprijateljskog bombardiranja od sredine rujna 1991. godine do svibnja 1992. godine. Najveća oštećenja bila su na objektima gospodarstva tekućeg goriva i plinskoturbinskom agregatu br. 2. U sklopu gospodarstva tekućeg goriva zapalilo se gorivo u prvom i drugom spremniku, dok se iz trećeg spremnika izlilo gorivo zbog višestrukog proboja stijenki. U Osijeku je također velika oštećenja pretrpio i centralni toplinski sustav.

Oštećenje hidroelektrane HE Peruča jedan je od najvećih zločinačkih činova neprijateljske vojske tijekom rata i ne pamti se da je izveden u svijetu na takvom tipu objekta. Neprijateljska vojska je u rujnu 1991. godine okupirala HE Peruču, a nakon toga je zatvorila protok vode iz Peručkog jezera. Održavanjem visokog vodostaja u akumulaciji stanovništvu je stalno prijetilo poplavljivanje područja nizvodno od hidroelektrane. Tijekom okupacije neprijatelj je uništavao i pljačkao sve dijelove postrojenja. U siječnju 1993. godine neprijatelj je minirao branu na pet mjesta i oštetio ju tako da je potrebna temeljita sanacija. Pri tome je uništena i kućica zatvarača i most preko preljeva, a rasklopno postrojenje bilo je zasuto vodom i glinenim materijalom. Kasnije je voda tekla i kroz strojarnicu, te nanijela još veće štete. Zbog oštećenosti brane akumulacijsko jezero se moralo isprazniti, što je smanjilo ili onemogućilo proizvodnju u ostalim hidroelektranama nizvodno na porječju Cetine osobito u ljetnim sušnim mjesecima. Tako je Dalmacija, uz prekid prijenosnih veza s ostalim dijelom elektroenergetskog sustava Hrvatske, ostala i bez dijela izvora električne energije tijekom više ljetnih mjeseci 1993. godine.

Hidroelektrana HE Dubrovnik stradala je u dva navrata, i to od 1. do 17. listopada, kada su zbog neprijateljskih napada, uglavnom stradali izvodi 220 kV i djelomično je opljačkano skladište, alatnica i radionice. Nakon tog napada sva oštećenja na izvodima 220 kV su otklonjena. Drugi napadi neprijatelja su uslijedili u razdoblju od svibnja do kraja listopada 1992. godine. U tom razdoblju oštećene su cijevi za napajanje vodom Hercegnovog u vodostanu, pa se voda od vodostana prema vanjskom krugu elektrane slijevala četiri mjeseca i izazvala velika oštećenja na kabelskim kanalima vanjskog kruga, te je također izazvala zatrpavanje nanosom ulaz u podzemnu strojarnicu. Pristupni tunel bio je djelomično zatrpan i kompletno miniran, no, nasreću, zbog neke pogreške pri postavljanju neprijatelj nije mogao mine aktivirati.

Prijenosna i distribucijska mreža osobito je oštećena na područjima gdje su se vodile ratne operacije — Slavonija, Lika i područje Zadra i Šibenika. Dio postrojenja oštećen je i pri povlačenju bivše JNA s područja Hrvatske, kao npr. Delnice. Uz već spomenute dionice dalekovoda 400 kV i 220 kV, stradala je jako i mreža 110 kV, te niz trafostanica, od kojih su najveće uz već spomenutu TS Konjsko i trafostanice TS Bilice kod Šibenika i TS Vinkovci. Tijekom jednogodišnje okupacije okolice Dubrovnika grad je bio gotovo četiri mjeseca bez električne energije. Povlačenjem okupatora ostala je potpuno uništena trafostanica TS Komolac i jako oštećen vod 110 kV Ston – Komolac.

Velika ratna šteta

Po nalogu Ministarstva financija, a na temelju Zakona o utvrđivanju ratne štete iz 1991. godine, napravljen je popis i procjena direktne ratne štete u Hrvatskoj elektroprivredi.
Direktna ratna šteta u Hrvatskoj elektroprivredi iznosi **2084 milijuna DEM**. Taj iznos sadrži štetu na objektima proizvodnje, prijenosa i distribucije od 209 milijuna DEM, troškove interventnog programa u Dalmaciji od 331 milijuna DEM, troškove privremenih mjera obrane od 7 milijuna DEM i štetu zbog gubitka imovine Hrvatske elektroprivrede u bivšim jugoslavenskim republikama od 1537 milijuna DEM. U tablici 1. dan je sumarni prikaz direktne štete u Hrvatskoj elektroprivredi po funkcijskim cjelinama.
Šteta na objektima **proizvodnje** iznosi **51 milijun DEM**, i to se najviše odnosi na objekte, koji su najviše bili izloženi ratnim operacijama, kao što su HE Peruča — 26 milijuna DEM, TE-TO Osijek — 21 milijun DEM (elektroprivredni dio 17 milijuna i toplinarski dio 4 milijuna DEM) i HE Dubrovnik — 4 milijuna DEM.
Od **prijenosnih objekata**, na kojima je procijenjena šteta od **49 milijuna DEM**, najveće štete su procijenjene na području PRP-a Split — 38 milijuna DEM i PRP-a Osijek — 8 milijuna DEM, tj. na područjima gdje su se vodile najžešće ratne operacije.

Tablica 1. Sumarni prikaz izravne štete u Hrvatskoj elektroprivredi po funkcijskim cjelinama

Šifra	Naziv	Šteta u 000 HRD	Šteta u 000 DEM
1	2	3	4
1	Objekti proizvodnje	361,777	51,682
2	Objekti prijenosa	341,037	48,720
3	Objekti distribucije	759,504	108,501
4	Zamjenski objekti (Interventni programi)	2,317,252	331,036
4.1	Interventne elektrane	850,285	121,469
4.2	Otočna veza	406,790	58,113
4.3	Obnova Dubrovnika	1,060,177	151,454
5	Troškovi privremenih mjera obrane	51,292	7,327
	Ukupno 1 – 5	3,830,862	547,266
6	Imovina u bivšim Rep. Jugoslavije	10,760,590	1,537,227
6.1	BiH	4,037,510	576,787
6.2	Srbija	6,714,358	959,194
6.3	Crna Gora	8,722	1,246
	Ukupno	14,591,452	2,084,493

Energija, god. 43 (1994) 4, 217 – 223

Ukupna šteta na **objektima distribucije iznosi 109 milijuna DEM,** a od toga najveće su štete na područjima Osijeka i Dubrovnika i iznose 20 milijuna DEM. Slijedi područje Vinkovaca sa štetom od 12 milijuna DEM, zatim područja Gospića, Križa i Požege sa štetom od 8 milijuna DEM i područje Zadra sa 7 milijuna DEM.

Radi osiguranja električne energije za potrošače u Dalmaciji, tijekom rata pristupilo se izgradnji zamjenskih objekata, odnosno realizaciji interventnog programa u Dalmaciji. **Interventni program u Dalmaciji procijenjen je u iznosu 331 milijun DEM.** To seodnosi na trošak nabave i iznajmljivanja interventnih elektrana u Dalmaciji od 121 milijun DEM, zatim na planirana sredstva za realizaciju projekta »Otočne veze« u iznosu od 58 milijuna DEM, te ukupno planirana ulaganja potrebna za osiguranje normalne opskrbe potrošača električnom energijom na području Dubrovnika i mogućnosti plasmana električne energije iz HE Dubrovnik u ostali dio Dalmacije u iznosu 151 milijuna DEM.

Troškovi obrane i zbrinjavanja stanovništva procijenjeni su na **7 milijuna DEM.** Taj iznos sastoji se od sredstava uloženih u nabavu materijala koji su se koristili za zaštitu objekata i djelatnika Hrvatske elektroprivrede od ratnih razaranja, te ukupnog iznosa jednokratnih pomoći što su se davale djelatnicima Hrvatske elektroprivrede koji su zbog rata morali napustiti svoje domove ili im je bila potrebna pomoć za saniranje ratom oštećenih stambenih objekata.

Vrijednost **imovine Hrvatske elektroprivrede u bivšim jugoslavenskim republikama iznosi 1537 milijuna DEM**. To se uglavnom odnosi na uložena sredstva u pripremu izgradnje i izgradnju novih kapaciteta termoelektrana i rudnika, što je učinjeno radi osiguranja dugoročne suradnje u dobavi električne energije kroz zakupe snage elektrana, osiguranje mjesta za odlaganje šljake i pepela, te osiguranje dovoljnih količina ugljena.

Procijenjena vrijednost imovine u **BIH iznosi 577 milijuna DEM**, od čega samo na termoelektranu i rudnik Gacko otpada 385 milijuna DEM. Ostali najveći iznosi odnose se na Buško Blato (crpna stanica na području BIH), rudnike Šikulje i Dubrave, TE Kakanj i kapacitete u Tuzlanskom bazenu, te ostala ulaganja kao što su izgrađeni dalekovodi i odmaralište na Vlašiću.

Imovina Hrvatske elektroprivrede u **Srbiji** procijenjena je na **959 milijuna DEM.** Najveći iznos odnosi se na zamjenski objekt za uložena sredstva u TE Obrenovac s rudnikom. Elektroprivreda Srbije prekinula je isporuku električne energije, i time jednostrano raskinula ugovor s Hrvatskom elektroprivredom o dugoročnoj isporuci električne energije (prosječno godišnje 1680 GWh) iako je Hrvatska elektroprivreda izvršila sve svoje novčane obveze vezane za osiguranje rada termoelektrane snage 305 MW i godišnju eksploataciju rudnika Tamnava od 3 milijuna tona ugljena. Prema ugovornim obvezama, u ovakvom slučaju je predviđeno da Elektroprivreda Srbije vrati Hrvatskoj elektroprivredi dio novčanih sredstava koji je u skladu s odnosom financiranja izgradnje odgovarajućeg kapaciteta termoelektrane i rudnika u momentu raskida ugovora. Na temelju navedene ugovorne odredbe procijenjen je iznos štete za Hrvatsku elektroprivredu zbog raskida Elektroprivrede Srbije ugovora o isporuci električne energije iz ovog objekta. Ostali iznos štete u toj republici odnosi se na neisporučenu opremu, i to najvećim dijelom za TE Plomin 2 iz Minela — Beograd, te imovinu Hrvatske elektroprivrede u bivšoj Zajednici elektroprivrednih organizacija u Beogradu (dispečerski centri — stari i novi, zgrada, stanovi).

Iznos procijenjene štete u **Crnoj Gori od 1 milijun DEM** odnosi se na dio ulaganja Hrvatske elektroprivrede u odmaralište u Bečićima — Budva.

Orijentacija na saniranje ratnih šteta i izgradnju zamjenskih objekata

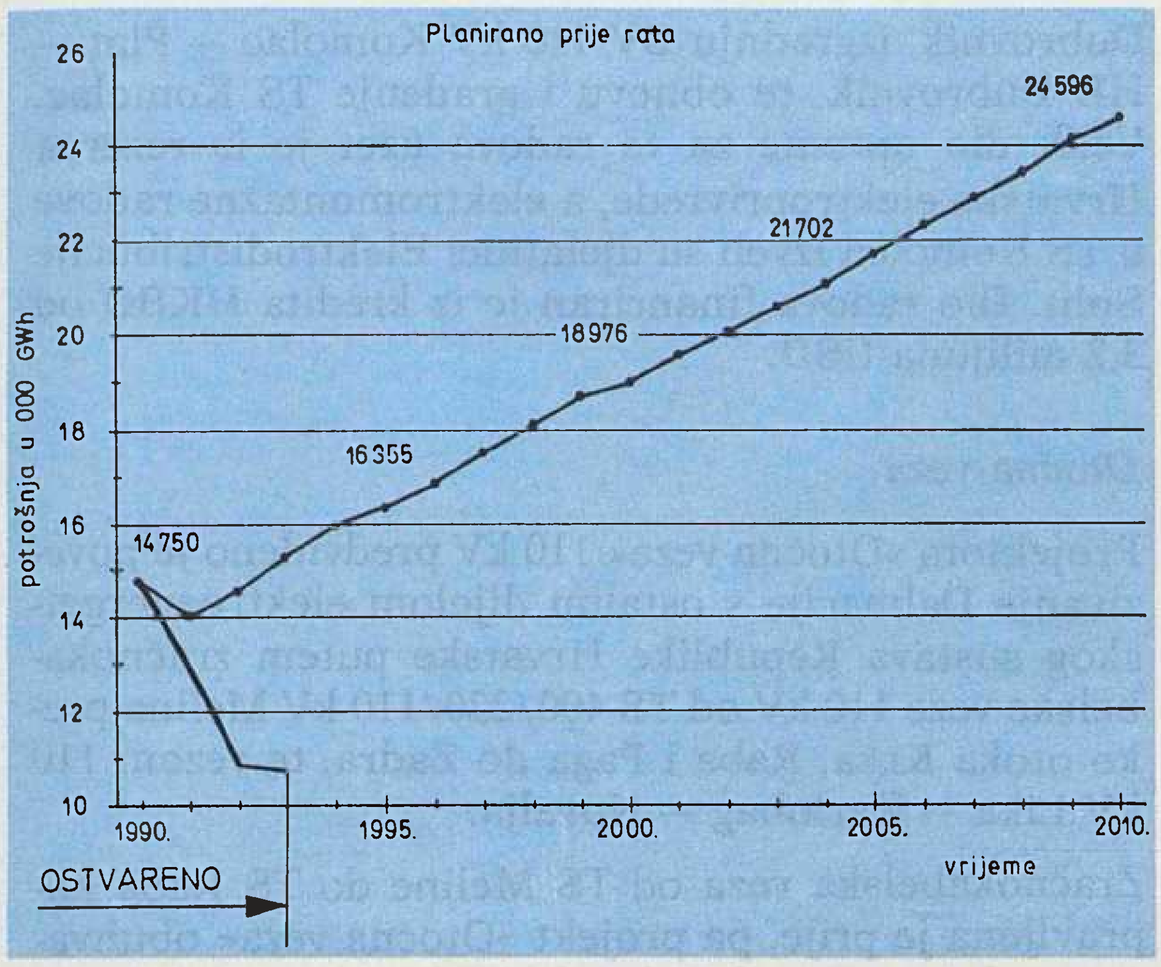
Zbog nastalih velikih oštećenja i prekida energetskih veza između pojedinih dijelova Hrvatske, što je onemogućilo normalnu opskrbu potrošača električnom energijom, Hrvatska elektroprivreda orijentirala se gotovo isključivo na saniranje oštećenja i izgradnju zamjenskih objekata (Interventnog programa). Pri tome je privremeno zanemaren prijeratni plan razvoja elektroenergetskog sustava.

Planovi razvoja Hrvatske elektroprivrede do 1990. godine uglavnom su bili orijentirani prema planovima razvoja elektroenergetskog sustava bivše Jugoslavije i Zajednice elektroprivrednih organizacija.

Predratna, 1990. godina prekretnica je za razvoj elektroenergetskog sustava Hrvatske. Raskid s političkim i gospodarskim sustavom na prostoru bivše Jugoslavije odrazio se i na promjenu razvojnih koncepcija elektroenergetskog sustava Hrvatske. U takvoj situaciji bilo je potrebno što prije planirati razvoj cjelovitoga elektroenergetskog sustava Hrvatske i Hrvatske elektroprivrede prema normama ponašanja Europe, u čiji se politički i gospodarski sustav Hrvatska treba što prije integrirati. Imajući to na umu Institut za elektroprivredu u Zagrebu napravio je studiju »Mogući scenariji razvoja Hrvatske elektroprivrede« (prosinac 1991. godine).

Studija »Mogući scenariji razvoja Hrvatske elektroprivrede« nije obuhvatila utjecaj rata, već je kao podloga za prikaz planirane koncepcije razvoja uzet elektroenergetski sustav Hrvatske prije rata. Hrvatska elektroprivreda je prije rata odabrala strateško opredjeljenje razvoja do 2010. godine prema jednom od scenarija s realno ostvarivom strukturom gospodarstva, uz rast stope društvenog proizvoda oko 4 % godišnje, s 50 % društvenog proizvoda od uslužne djelatnosti i uz umjereno prestrukturiranje industrije do 2010. godine.

Na slici 1. dan je prikaz plana potrošnje električne energije do 2010. godine. U dijagramu su dane dvije krivulje plana potrošnje, tj. plan potrošnje prije rata i plan potrošnje uz uzimanje u obzir ratnih posljedica. Prema planu prije rata predviđeno je da će do 2010. godine potrošnja električne energije postići razinu od 24 596 GWh godišnje (gornja krivulja). Ostvarena potrošnja električne energije smanjila se ti-



Slika 1. Plan potrošnje električne energije do 2010. godine

jekom ratnih godina (1991, 1992. i 1993.) u odnosu na predratnu 1990. godinu. Prema planiranoj krivulji potrošnje, uz uvažavanje pada potrošnje tijekom ratnih godina i uz istu stopu rasta potrošnje kao u predratnom planu, potrošnja 2010. godine može biti 20 185 GWh (donja krivulja). Pri izradi aktualiziranih planova razvoja stopa porasta potrošnje električne energije bit će rezultat brojnih analiza, pa će vjerojatno i aktualizirana krivulja potrošnje do 2010. godine imati drukčiji izgled.

Tijekom rata se umjesto predviđene izgradnje novih objekata prema predratnom planu pristupilo sanaciji oštećenja, postavljanju provizornih rješenja i izgradnji zamjenskih objekata (Interventni program) u okviru obnove elektroenergetskih objekata u tijeku rata.

3. OBNOVA U TIJEKU RATA

Program obnove

Obnova elektroenergetskog sustava opsežan je i kompleksan proces koji će trajati nekoliko godina, angažirati masu izvođača radova i isporučilaca opreme, te za čiju realizaciju su potrebna velika financijska sredstva.

U sklopu obnove elektroenergetskog sustava, osim sanacija oštećenja i postavljanja provizorija, što se radilo od samog početka rata, predviđene su aktivnosti na modernizaciji i revitalizaciji elektroenergetskog sustava i postrojenja. Sve te aktivnosti trebaju biti u skladu s osnovnim ciljem Hrvatske elektroprivrede da se što prije potpuno uključi u europske elektroenergetske sustave i izmjenu usluga — električne energije, znanja, tehnologije i sl.

Jedan od dokumenata koji je u tom smislu napravljen jest »Program obnove objekata i postrojenja Hrvatske elektroprivrede« (travnja 1993. godine) u kojem su cjelovito sagledane aktivnosti na obnovi s planiranom dinamikom radova i potrebnim priljevom financijskih sredstava, te podrobnom specifikacijom radova. Također je predviđena jedinstvena organizacija procesa obnove za Hrvatsku elektroprivredu uz primjenu modernih metoda rada i maksimalno korištenje informatičke podrške. Tijekom realizacije obnove potrebno je ustrajati na jedinstvenoj organizaciji ponajprije zbog bolje djelotvornosti njezine realizacije, te potreba svih domaćih i INO institucija s kojima Hrvatska elektroprivreda kontaktira da imaju uvijek iste subjekte u infrastrukturnim djelatnostima, koji jedinstveno vode obnovu pojedinih djelatnosti.

Financiranje obnove predviđeno je uglavnom domaćim i inozemnim sredstvima međunarodnih financijskih institucija (Svjetske banke, Europske banke za obnovu i razvoj) i isporučitelja opreme. U tom smislu dio projekata obnove kandidiran je za dobivanje kredita, te je obavljen niz pregovora i pripremljena odgovarajuća dokumentacija.

Tako se sa Svjetskom bankom pregovaralo o iznosu od 20 milijuna USD za projekte obnove prijenosa i distribucije električne energije prema utvrđenim prioritetima iz Programa obnove. Pregovori su na tom stupnju da je načinjen prijedlog ugovora o kreditu između Vlade Republike Hrvatske i Svjetske banke.

S Europskom bankom za obnovu i razvoj također su načinjeni predugovori za dobivanje kredita za obnovu objekata prijenosa i distribucije u iznosu 50 milijuna USD. Dalji definitivni pregovori i zaključivanje ugovora uvjetovani su pronalaženjem sufinancijera izvan Republike Hrvatske i ostvarenja mirovnog procesa u BiH.

Do sada je dobiven kredit Hrvatske kreditne banke za obnovu — HKBO u iznosu 3.2 milijuna USD za obnovu elektroenergetskog sustava na području Dubrovnika, tvrtke KWU za sanaciju plinskih turbina u TE-TO Osijek u iznosu 1,6 milijuna USD, te krediti isporučitelja opreme za kupnju nekih dizelskih agregata i dva plinskoturbinska agregata za elektranu Dujmovača u iznosu 33 milijuna USD. Za financiranje projekta »Otočne veze« pokrenuta je akcija Svjetskoga hrvatskog kongresa za prikupljanje sredstava putem kupnje državnih dionica Republike Hrvatske od naših iseljenika širom svijeta.

Iz prethodno navedenog slijedi da najveći dio dosadašnjih aktivnosti na sanaciji ratom oštećenih objekata i realizaciji Interventnog programa financira Republika Hrvatska, a u tijeku su pregovori o osiguranju ostalih izvora financiranja.

Sanacija oštećenih objekata

Radove na sanaciji oštećenih objekata i uspostavljanju provizornih rješenja tijekom čitavog rata, koji često nisu bili u skladu s postojećim tehničkim normativima i standardima, uglavnom su izvodili djelatnici Hrvatske elektroprivrede kako bi maksimalno osigurali opskrbu potrošača električnom energijom. Često su se radovi odvijali neposredno nakon ili u tijeku ratnih operacija, a često su se isti radovi i ponavljali nakon uzastopnih neprijateljskih napada. Najveći dio radova na sanaciji i provizorijima izveden je na objektima distribucije i prijenosa električ-

ne energije, te na proizvodnim objektima TE-TO Osijek, TE Sisak, HE Dubrovnik i HE Senj. Gotovo svi troškovi za ove radove podmirili su se iz sredstava redovnog održavanja, osim za TE-TO Osijek gdje je dobiven kredit od KWU za sanaciju plinskih turbina.

Izgradnja zamjenskih objekata — Interventni program

Područje Dalmacije ostalo je energetski odsječeno od ostaloga dijela elektroenergetskog sustava Hrvatske. U nastaloj situaciji pristupilo se izgradnji zamjenskih objekata prema Interventnom programu. Tako su na području Dalmacije realizirani projekti »Interventne elektrane« i »0 faze obnove opskrbe električnom energijom grada i okolice Dubrovnika« a započet je i u tijeku je projekt »Otočna veza«.

U nastavku je dan kratki opis pojedinog projekta.

Interventne elektrane u Dalmaciji

U sklopu ovog projekta nabavljene su ili unajmljene te instalirane dizelske i plinske elektrane ukupne snage 175,8 MW na jedanaest različitih lokacija za opskrbu potrošača srednje Dalmacije električnom energijom. Sredstva za elektrane osigurala je Republika Hrvatska, osim za opremu dizelske elektrane u Zadru i plinske elektrane Dujmovača, za koje je kredit dao isporučitelj opreme.

Obnova opskrbe potrošača električne energije Dubrovnika i okolice

Projekt obnove opskrbe električnom energijom Dubrovnika predstavlja novu koncepciju opskrbe potrošača na području Dubrovnika i njegove okolice. Dosadašnja koncepcija oslanjala se na jedinstveni elektroenergetski sustav bivše Jugoslavije putem dalekovoda 110 kV i 220 kV prema Trebinju. Prema novoj koncepciji područje Dubrovnika je povezano preko teritorija Republike Hrvatske u jedinstven elektroenergetski sustav. Realizacijom ovog projekta omogućit će se sigurna opskrba potrošača električne energije u južnoj Dalmaciji i plasman električne energije iz HE Dubrovnika u ostale dijelove Republike Hrvatske.

Realizacija projekta predviđena je kroz sljedeće faze:

- »0« faza — obuhvaća osiguranje napajanja Dubrovnika i okoliša,
- »I« faza — obuhvaća stvaranje uvjeta za plasman električne energije iz HE Dubrovnik do TS Ston gradnjom TS Plat i DV 220/110 kV Plat — Ston,
- »II« faza — obuhvaća stvaranje uvjeta za plasman električne energije od Stona do rasklopnog postrojenja Imotski gradnjom dalekovoda i rasklopnog postrojenja Imotski.

U 1993. godini realizirana je u planiranom roku samo »0« faza, jer za ostale radove nisu bila osigurana financijska sredstva. Ta faza je obuhvatila sanaciju, rekonstrukciju i proširenje dijela postrojenja HE Dubrovnik, izgradnju DV 110 kV Komolac — Plat — HE Dubrovnik, te obnovu i građenje TS Komolac. Velik dio opreme za te radove uzet je iz rezerva Hrvatske elektroprivrede, a elektromontažne radove u TS Komolcu izveli su djelatnici Elektrodistribucije Split. Dio radova financiran je iz kredita HKBO od 3,2 milijuna USD.

Otočna veza

Projektom »Otočna veza« 110 kV predviđeno je povezivanje Dalmacije s ostalim dijelom elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske putem zračnokabelske veze 110 kV od TS 400/220/110 kV Melina preko otoka Krka, Raba i Paga do Zadra, te vezom 110 kV Lika — Karlobag — Novalja.

Zračnokabelska veza od TS Meline do TS Raba napravljena je prije, pa projekt »Otočna veza« obuhvaća gradnju veze od Raba do Zadra, te veze Lika — Karlobag — Novalja. Dio projekta od Raba do Zadra sastoji se od jedanaest potprojekata.

Dio »Otočne veze« od TS Rab do TS Zadar I. očekuje se da bude završen u predviđenom roku, tj. planira se da cijela dionica bude pod naponom u srpnju 1994. godine. Lički dio »Otočne veze« će biti završen nešto kasnije.

4. ZAKLJUČAK

Zbog ratnih razaranja Hrvatska elektroprivreda je pretrpjela veliku štetu. Rad elektroenergetskog sustava Hrvatske prekinut je i nastala su velika oštećenja elektroenergetskih objekata.

Tijekom rata Hrvatska elektroprivreda je nastojala stalnim saniranjem oštećenja, postavljanjem provizorija i izgradnjom zamjenskih objekata osigurati što bolju opskrbu potrošača električnom energijom. Unatoč tome, pojedini dijelovi Hrvatske ostali su bez dovoljno električne energije više mjeseci. To se odrazilo na gospodarski i društveni život na tim područjima.

Obnavljajući elektroenergetski sustav i elektroenergetske objekte, Hrvatska elektroprivreda može provesti kompletnu modernizaciju i revitalizaciju sustava i postrojenja vodeći brigu o prilagođavanju svim normama i standardima Europe u tehničkom, ekonomskom i organizacijskom smislu. Na taj način će se moći ostvariti jedan od osnovnih ciljeva Hrvatske elektroprivrede, a to je uključivanje u europske elektroenergetske sustave i izmjenu usluga — električne energije, znanja, tehnologije i sl.

Izradi cjelovitih planova razvoja elektroenergetskog sustava moći će se pristupiti nakon definiranja strateških planova razvoja energetike cijele Hrvatske. Pri planiranju razvoja energetike Hrvatske, prema današnjim spoznajama, sagledat će se svi utjecaji promjena vezanih za proces tranzicije u kojoj se Hrvatska nalazi, te posljedica rata na razvoj energetike Hrvatske. To će biti podloga za izradu planova razvoja elektroenergetskog sustava Hrvatske.

Energija, god. 43 (1994) 4, 217 – 223

CONSEQUENCES OF WAR ON CROATIAN ELECTRIC POWER SYSTEM

Consequences of war on the theritory of Croatia and Bosnia and Herzegovina caused a lot of damage to the electric power system of Croatia and the Croatian National Electricity. Because of the war great distrubances in the electric power system of Croatia have been caused. The integrity of the system was cut off by the damage of the 400 kV transmission network. Great damage has been caused to almost all electric power stations and substations, especially where intensive war operations took place. A part of the system is on the temporarily occupied Croatian territory and there Croatian National Electricity has no control. The delivery of electric energy from Serbia and Bosnia and Herzegovina has been cut off although the Croatian National Electricity has a right to that electricity because of the lease agreement on power and energy and investments in preparation and construction of new and substitute projects in those republics. Previously stated, resulted in significant changes in the electric power system operation and stagnation of consumption and production of electric energy during the war years.

DIE FOLGEN DES KRIEGES AN DEM ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEM KROATIENS

Die Kriegsgeschehen im Raume der Republik Kroatien und der Republik Bosnen--Herzegovina haben große Schäden im elektroenergetischen Systems verursacht und die kroatische Elektrizitätswirtschaft schwer beinträchtigt. So sind durch den Krieg große Störungen im Betrieb des elektroenergetischen Systems entstanden. Die Vollständigkeit des Systems ist durch die Beschädigungen der Übertragungsobjekte des 400 kV-Netzes unterbrochen worden. An fast allen elektroenergetischen Anlagen sind große Schäden entstanden, besonders dort, wo Kriegsoperationen großen Umfangs geführt wurden. Ein Teil der Objekte befindet sich am okupierten Gebiet Kroatiens und steht ausserhalb der kroatischen Kontrolle. Die Lieferungen der elektrischen Energie aus Serbien und Bosnien-Herzegowina, auf welche Kroatien, auf Grund der Verpachtung von Leistung und Energie, und der Beteiligung an der Vorbereitung und dem Ausbau von Neu- und Ersatzbauten, einen Recht hatte, sind unterbrochen worden. Diese Tatsachen haben zu bedeutenden Änderungen in der Wirkung des elektroenergetischen Systems, zur Stagnation des Verbrauchs und der Erzeugung der elektrischen Energie während der Kriegsjahre, geführt.

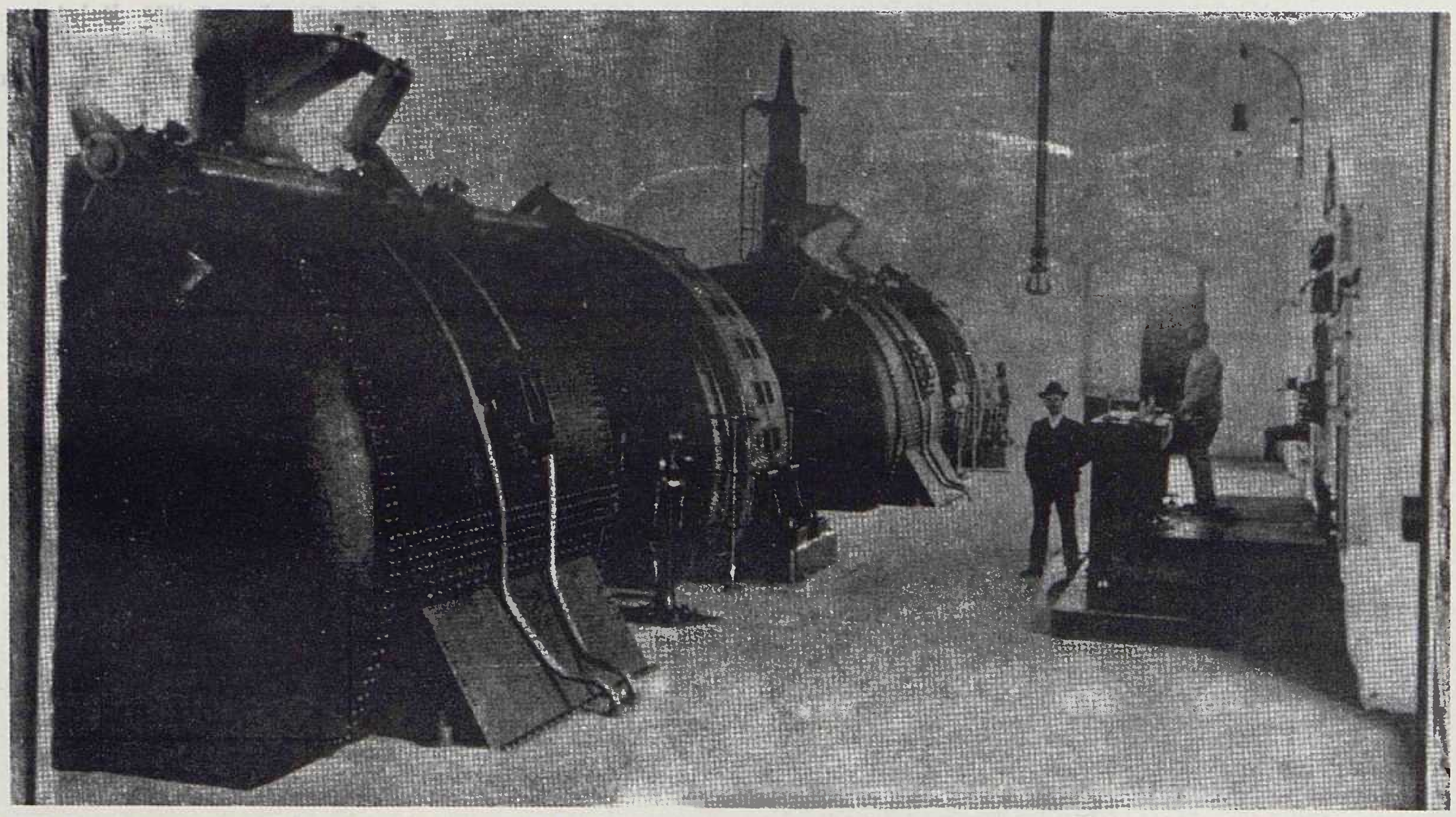
Naslov pisca:

Mr. Gordana Lučić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za razvoj i inženjering
41000 Zagreb
Avenija Vukovar 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-05-23.

28. kolovoza

DAN HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE



HE Jaruga — pogled na strojarnicu 1904. g.

Dana 28. kolovoza 1895. pušten je u pogon naš prvi kompletni moderni elektroprivredni sustav koji se sastojao od HE Jaruga 1 (službeni naziv hidroelektrane bio je Prva povlaštena električna centrala u Dalmaciji »Krka« Ante Šupuk i sin), zatim prvoga prijenosnog voda napona 35 kV dugoga 11 km na potezu Krka — Šibenik, te razdjelne mreže grada Šibenika s 5 transformatorskih stanica 3 000/110 V. Time je dan temelj za današnju Hrvatsku elektroprivredu, pa je opravdano taj dan odabran za trajno obilježavanje Dana HEP-a.

Pridružujemo se čestitkama prigodom prvog obilježavanja Dana Hrvatske elektroprivrede 28. kolovoza, u Šibeniku.

Uredništvo

OSNOVNA NAČELA TARIFNOG SUSTAVA ZA PRODAJU ELEKTRIČNE ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Dr. Jakša Topić, Zagreb

UDK 621.3:338.52
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazuju se osnovna načela na kojima se temelji postojeći Tarifni sustav za prodaju električne energije u Republici Hrvatskoj. Govori se o promjenama oblika dijagrama opterećenja na koje je, uz druge okolnosti, utjecala i primjena Tarifnog sustava. Ukazuje se i na značaj upravljanja potrošnjom radi smanjenja potreba za dodatnom izgradnjom elektroenergetskih objekata, a time i smanjenja ukupnih troškova u sustavu.

Ključne riječi: tarifni sustav, ukupni troškovi, dnevni dijagram opterećenja, upravljanje potrošnjom, limitator.

1. UVOD

Cilj je Republike Hrvatske kao jedne od najmlađih europskih država da u svoje gospodarske odnose ugradi vlasničke i tržišne kriterije zapadnoeuropskih zemalja. U tu je svrhu Vlada Republike Hrvatske u drugoj polovici 1990. god. odlučila da se izradi novi Tarifni sustav za prodaju električne energije. Tarifni sustav je izrađen u vrlo kratkom roku i primjenjuje se od 1. 4. 1991.

U organizaciji Hrvatskog komiteta Međunarodne konferencije za velike elektroenergetske sustave (HK CIGRE), njezinih studijskih komiteta 31 (Distribucijske mreže) i 37 (Planiranje i razvoj elektroenergetskog sustava) te Hrvatskog energetskog društva a pod pokroviteljstvom Ministarstva gospodarstva Republike Hrvatske, održan je u Zagrebu 20. travnja 1994. Okrugli stol o Tarifnom sustavu za električnu energiju. Svrha Okruglog stola bila je ispitati iskustva trogodišnje primjene postojećeg Tarifnog sustava, a osobito ocijeniti utjecaj ratnih okolnosti, društveno-gospodarskih i drugih promjena s kojima se nije moglo računati u vrijeme njegova donošenja.

Rasprava je pokazala da su osnovna načela i temeljna polazišta dobro postavljena, a da određena odstupanja u praksi treba dopunama postupno ispraviti.

Tarifni sustav polazi od dva osnovna načela:

1. **Svaki potrošač ovisno o mjestu preuzimanja i načinu korištenja električne energije (po iznosu i vremenskoj dinamici) snosi troškove koje izaziva.**
2. **Cijena električne energije mora biti tako koncipirana da potiče potrošača na racionalno korištenje energije, čime on pridonosi energetski i gospodarski sebi i ostalim potrošačima u elektroenergetskom sustavu.**

Prvo načelo pretpostavlja objektivizaciju troškova koji nastaju u cjelokupnom tehnološkom procesu proizvodnje, prijenosa i distribucije u funkciji mjesta, načina i iznosa preuzete energije.

Prema drugom načelu trebalo je uputiti jasnu i nedvosmislenu poruku potrošačima kako oni trebaju organizirati svoj rad da bi sebi smanjili izdatke za preuzetu električnu energiju i time pridonijeli racionalnijem radu cijeloga elektroenergetskog sustava.

2. STRUKTURA TROŠKOVA

Polazeći od prvog načela, ekonomske osnove izrade tarifnog sustava i tarifnih stavova bili su **ukupni** troškovi Hrvatske elektroprivrede koji se raspodijele po naponskim razinama i kategorijama potrošnje i transformiraju u cijene kod krajnjih potrošača. Ukupni troškovi poslovanja Hrvatske elektroprivrede se dijele na stalne i promjenljive.

Stalni troškovi obuhvaćaju troškove: amortizacije, kamate, troškove pogona i održavanja, ostale namjenske troškove te poreze i ostala izdvajanja društvu.

Stalni troškovi su u funkciji angažirane snage (kW), i oni rastu od jedne do druge naponske razine u zavisnosti od dograđenih elemenata.

Pri izradbi tarifnog sustava i tarifnih stavova poštivani su rezultati posebne studije kojom je utvrđeno da cijena snage, ovisno o povećanju stalnih troškova po naponskim razinama, raste prema sljedećim faktorima:

— 110 kV	1
— 35 kV	1,20 × 1
— 10 kV	1,67 × 1
— 0,4 kV	2,19 × 1

Promjenljivi troškovi elektroprivrede su uglavnom troškovi goriva za proizvodnju električne energije u termoelektranama i troškovi nabave električne energije iz drugih država. Oni su u funkciji isporučene električne energije odnosno kWh.

Dakle, ako se prihvati prvo načelo tarifnog sustava (da svaki potrošač snosi troškove koje izaziva u sustavu), Hrvatska elektroprivreda bi trebala pokriti stalne troškove kroz »naknadu za snagu« a promjenljive kroz »naknadu za električnu energiju«.

Odnos stalnih i promjenljivih troškova Hrvatske elektroprivrede u 1990, 1991, 1992. i 1993. god. je iznosio:

Opis	1990.		1991.		1992.		1993.*	
	HRD /kWh	%	HRD /kWh	%	HRD /kWh	%	HRD /kWh	%
ukupni troškovi	0,90	100,0	2,15	100,0	25,62	100,0	10,20	100,0
promjenljivi troškovi	0,40	44,4	0,79	36,7	8,04	31,4	3,00	29,4
stalni troškovi	0,50	55,6	1,36	63,3	17,58	68,6	7,20	70,6

* Prema podacima I – XI. mjesec 1993. god.

Podaci pokazuju da u posljednjim godinama udio stalnih troškova ima tendenciju porasta (što je velikim dijelom posljedica pada potrošnje električne energije), tako da je u 1993. odnos stalnih i promjenljivih troškova dosegao iznos 70% : 30%. To znači da bi odnos tarifnih stavova za snagu i energiju trebao biti takav da Hrvatska elektroprivreda s naslova snage ostvari 70% ukupnog prihoda, a s naslova energije oko 30%. Dakako, ovo načelo potrošači bi teško prihvatili. Treba očekivati da će u neposrednoj budućnosti, povećanjem potrošnje ovaj odnos biti približno isti kao u predratnim godinama.

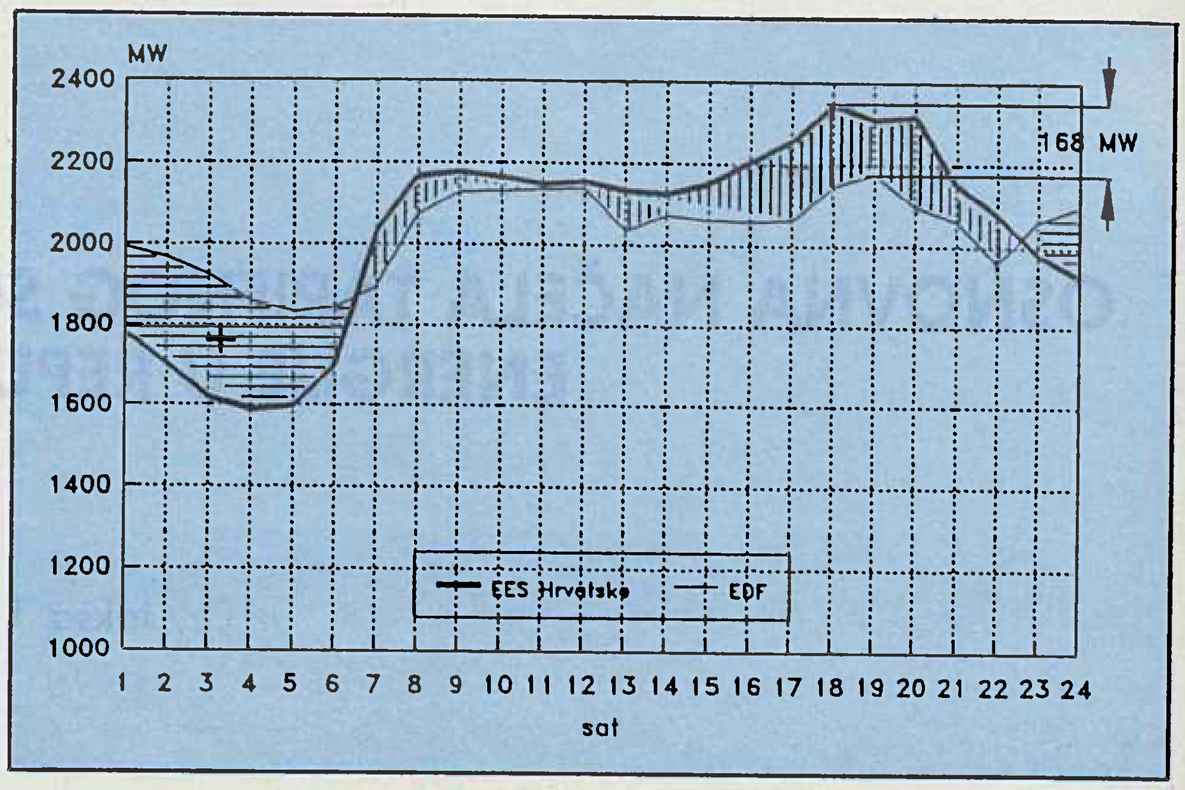
Tarifni stavovi koji su na snazi od 23. srpnja 1993. izrađeni su tako da se očekuje oko 45% ukupnog prihoda s naslova »naknade za snagu«, a oko 55% ukupnog prihoda s naslova »naknade za električnu energiju«.

3. DNEVNI DIJAGRAM OPTEREĆENJA

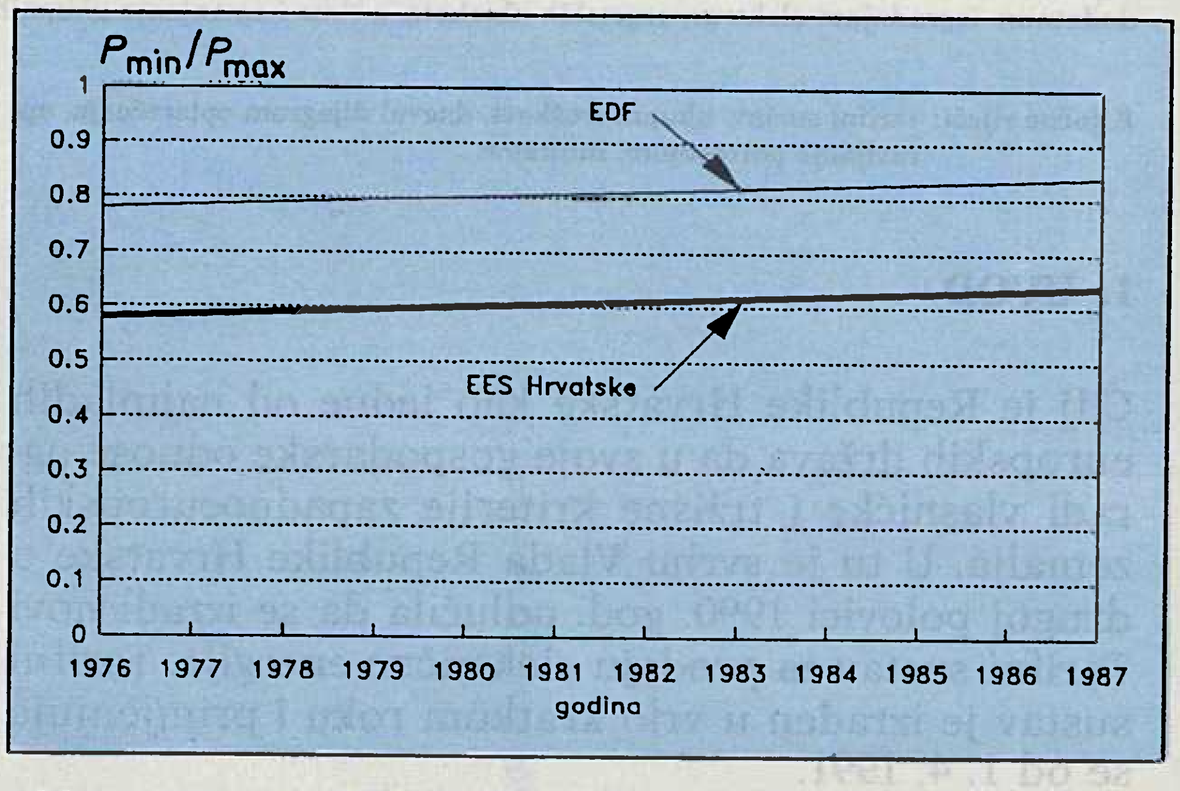
Polazeći od drugog načela uz sve razlike u tarifnim sustavima (i u tarifnoj politici) pojedinih zemalja, zajedničko je nastojanje da se potiče tzv. »peglanje dijagrama opterećenja« i povećanje odnosa P_{min}/P_{max} odnosno povećanje iskorištenja izgrađenih postrojenja. To je osnova uvođenja naknade za angažiranu snagu uz električnu energiju. Treba reći da racionalna upotreba električne energije kod potrošača podrazumijeva utjecaj odnosno smanjenje angažirane snage dok smanjenje potrošnje električne energije uglavnom predstavlja štednju.

Pri izradbi danas važećeg Tarifnog sustava pošlo se od toga da ako se ostvareni dijagram opterećenja elektroenergetskog sustava Hrvatske, za istu potrošnju električne energije, transformira u ostvareni dijagram EDF-a (sl. 1) maksimalno opterećenje sustava Hrvatske se smanjuje za 168 MW ili 7,1%, što znači da se i potreba za izgradnjom sustava smanjuje za isti iznos.

Isto tako ako se prikaže odnos P_{min}/P_{max} elektroenergetskog sustava Hrvatske i EDF-a (sl. 2) vidljivo je da se radi o dva pravca bez nade da se, uz tadašnji tarif-



Slika 1. Satna opterećenja elektroenergetskih sustava Hrvatske i EDF-a



Slika 2. Odnos minimalnih i maksimalnih opterećenja elektroenergetskih sustava Hrvatske i EDF-a

ni sustav i druge mjere isporuke, u dogledno vrijeme približe ili sijeku.

Ilustrirani prikazi upućuju na negativne razlike u korištenju elektroenergetskog sustava Hrvatske u odnosu na EDF. Budući da nisu provedena detaljna istraživanja svih mogućih utjecaja koja bi dala precizan i kvantificiran odgovor, ove negativne razlike su jednim dijelom posljedica i rezultat:

— efikasnijeg tarifnog sustava EDF-a
— efikasnijeg upravljanja potrošnjom EDF-a,

koji su sa svoje strane omogućili ili prisilili potrošače na ponašanje kakvo se željelo postići tarifnim sustavom radi izravnanja dijagrama opterećenja, a time i **smanjenja potrebe za dodatnom izgradnjom odnosno dodatnim investicijskim ulaganjima.**

4. POTREBNA IZGRADNJA I TROŠKOVI IZGRADNJE

Prema posljednjoj studiji razvoja »Mogući scenariji razvoja Hrvatske elektroprivrede«, koja je izrađena 1991. god., prosječni ukupni troškovi sanacije, revitalizacije, rekonstrukcije i izgradnje novih elektroenergetskih postrojenja do 2010. god. uz određene pret-

postavke (vezane za ostvarenje razine potrošnje i isporuke električne energije iz zajedničkih objekata) iznose:

	USD × 10^6	%
Proizvodnja	3 344	51,0
Prijenos	608	9,3
Distribucija	2 194	33,5
Ostalo	312	4,8
Istraživanje/razvoj	97	1,5
Ukupno	6 555	100,0

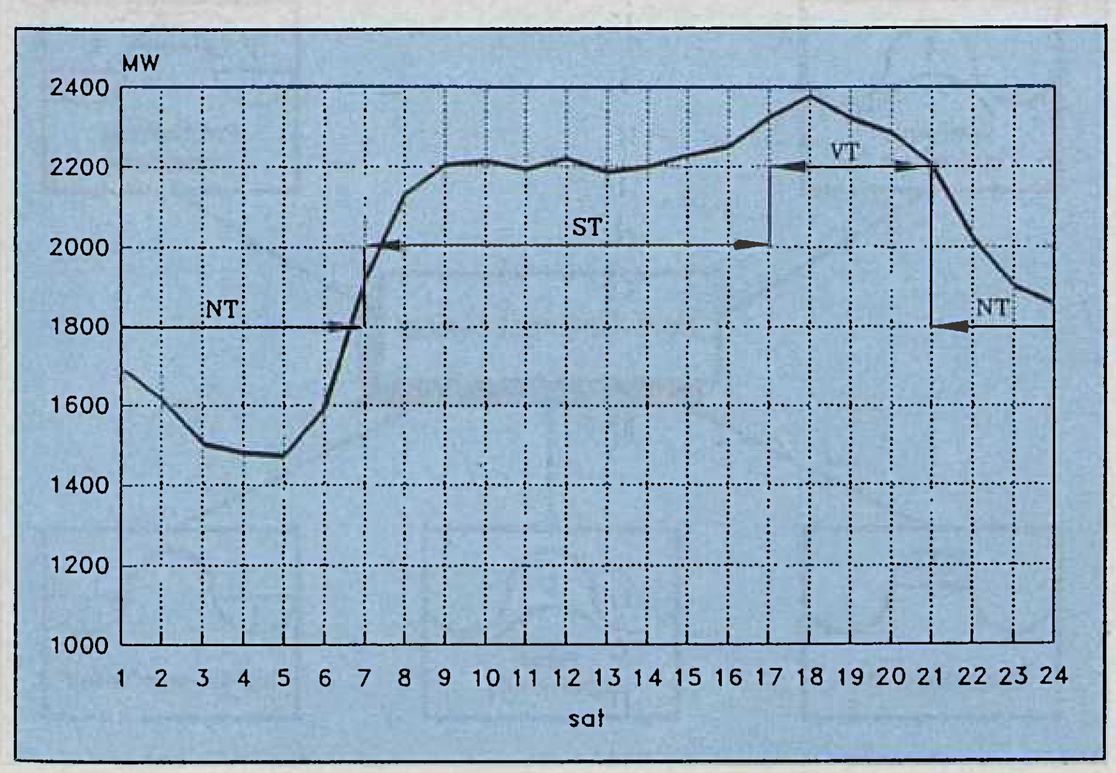
Dakle, troškovi proizvodnje iznose 51%, a troškovi prijenosa i distribucije oko 43% ukupnih troškova. Treba reći da se pri izgradnji novih objekata proizvodni objekti dimenzioniraju prema potrebnoj snazi i energiji, a prijenosna i distribucijska postrojenja samo prema maksimalnoj snazi. To znači da su i potrebna financijska sredstva kod proizvodnih objekata u funkciji potrebne snage i energije, a kod prijenosnih i distribucijskih postrojenja u funkciji maksimalne snage.

Ukupna potrebna sredstva za proizvodne, prijenosne i distribucijske objekte po MW novoizgrađene snage za različite scenarije razvoja iznose:

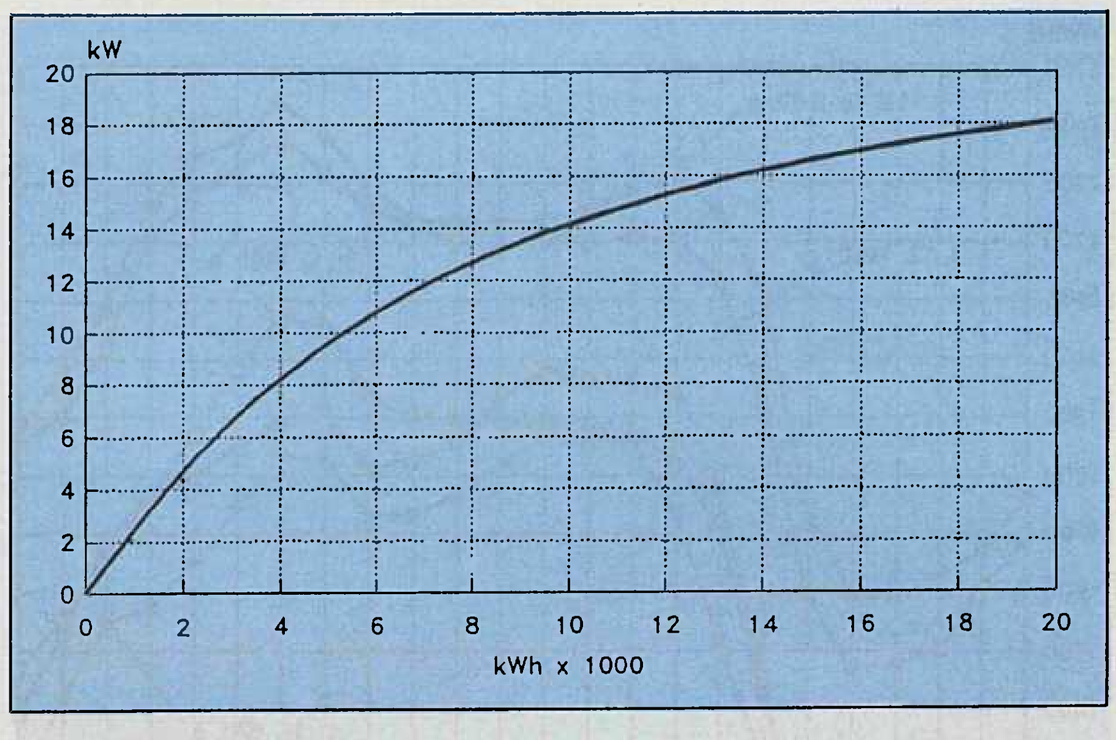
Scenarij	Potrebna izgradnja (MW)	Troškovi (USD × 10^6)		Troškovi (USD × 10^6/)MW	
		Proizv. objekti	Prijenos + distr.	Proizv. objekt	Prijenos + distr.
SN50A	1496	2 740	2 631	1,83	1,76
SV50A	1975	3 303	2 972	1,67	1,50
SN50B	1976	3 145	2 631	1,59	1,33
SV50B	2775	5 048	2 972	1,82	1,07

Da bi se smanjila potrebna dodatna izgradnja odnosno stimuliralo potrošače na racionalno korištenje električne energije, u ovaj tarifni sustav, u odnosu na prethodni, uvedena su u toku dana tri tarifna stava (viši tarifni stav VT, srednji tarifni stav ST i niži tarifni stav NT) (sl. 3).

Isto tako utvrđena je ovisnost vršnog opterećenja prosječnog kućanstva o godišnjoj potrošnji električne energije (sl. 4), što osigurava da potrošači plaćaju



Slika 3. Satna opterećenja EES Hrvatske 7. 12. 1990. godine



Slika 4. Ovisnost vršnog opterećenja kućanstva o godišnjoj potrošnji električne energije

snagu koju angažiraju u sustavu. Treba napomenuti da je osnovna primjedba na prethodni tarifni sustav bila to što su svi potrošači (kućanstva) plaćali jednaku naknadu za snagu tzv. **paušal.**

5. PRIMJENA OGRANIČAVALA DJELATNE SNAGE I NJIHOV DOPRINOS REALIZACIJI TARIFNOG SUSTAVA

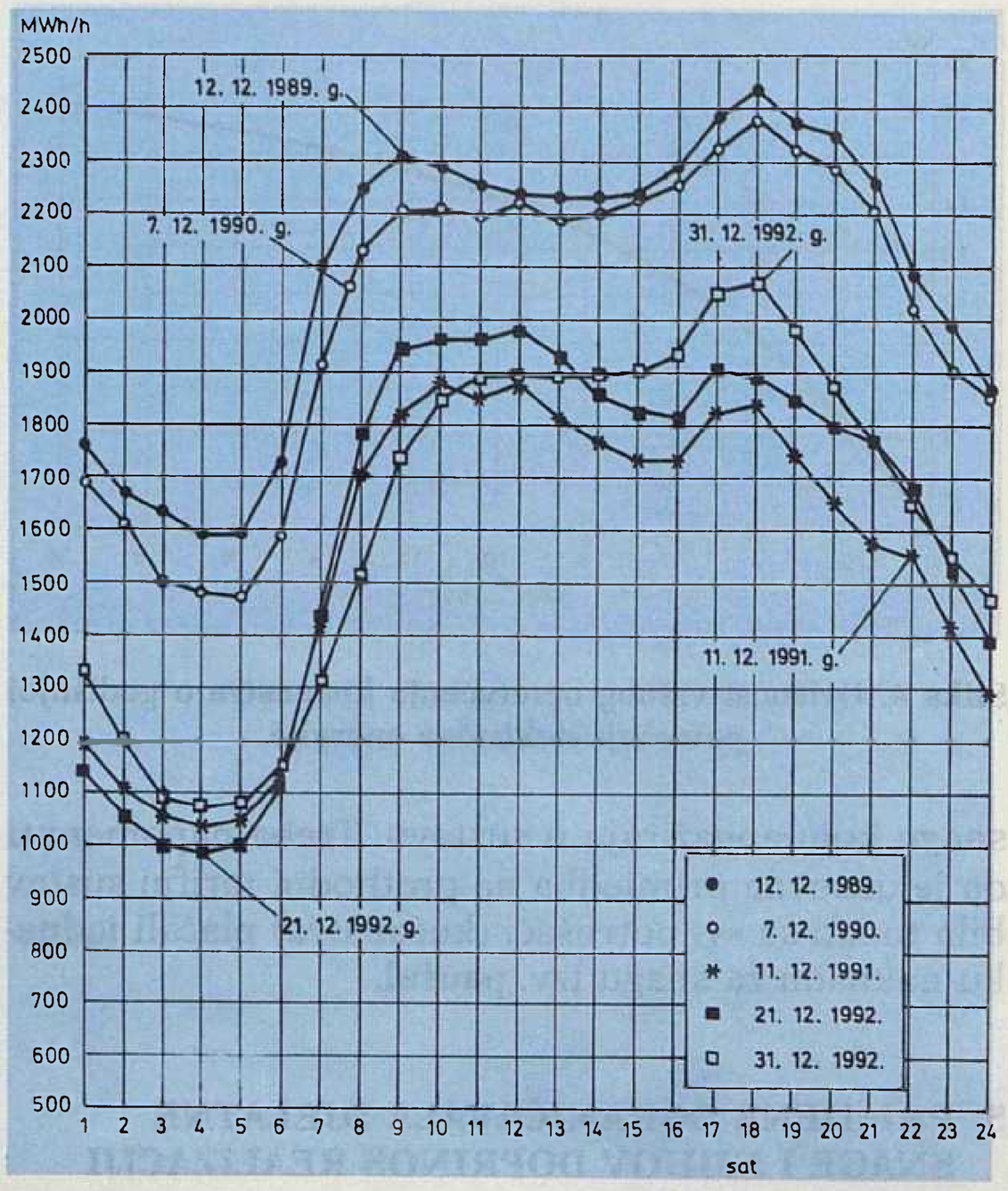
Jedan od načina koji osigurava bolje iskorištenje postojećeg elektroenergetskog sustava i smanjuje potrebu za izgradnjom dodatne snage jest ugradnja ograničavala kod potrošača.

Ovaj uređaj osim drugih pogodnosti (ovisno o tipu) onemogućuje pojavu nekontrolirane snage (sustav se mora dimenzionirati i izgraditi tako da zadovolji maksimalnu snagu) i stimulira potrošnju u granicama zakupljene (određene) snage.

Ograničavala kao element koji osigurava racionalno gospodarenje električnom energijom koriste najrazvijenije europske elektroprivrede (Francuska — EDF, Italija — ENEL, Španjolska — ENDESA itd.).

Prema nekim objavljenim procjenama, uvođenjem ovog uređaja u 15 milijuna kućanstava u Francuskoj vršno opterećenje na razini sustava smanjeno je za oko 0,5 kW po kućanstvu. Dakle, to je 7 500 MW snage izvora koju bi trebalo izgraditi sa svom pripadajućom mrežom da ovaj uređaj nije primijenjen.

Vezano za ograničavala, zanimljiv je dijagram opterećenja iz 1992. god. (sl. 5). Maksimalno opterećenje u 1992. god. postignuto je na Silvestrovo, dakle 31. prosinca 1992. u 18 sati (2 070 MW). Opterećenje je od 15 do 18 sati naraslo za 170 MW ili 8,2% maksimalnog opterećenja. Isti slučaj se dogodio i 31. prosinca 1993. Opterećenje je od 16 do 18 sati naraslo za 253 MW, a večernja špica u 18 sati, 1 940 MW, je veća od jutarnje za 227 MW. Ta povećanja su sigurno posljedica uključenja električnih trošila u kućanstvima. Da su bila ugrađena ograničavala u samo dio kućanstava (prema tarifnom sustavu je bila predviđena obveza ugradnje ograničavala za potrošače koji troše iznad 5 000 kWh godišnje, dakle one koji električnu energiju uglavnom koriste za grijanje, pripremu top-



Slika 5. Satna opterećenja EES Hrvatske (maksimalni dan u prosincu)

le vode i kuhanje, što obuhvaća oko 12% ukupnog broja potrošača kućanstava, a ostali ako imaju interesa), ovaj porast angažirane snage bio bi znatno smanjen. Vjerojatno bi maksimalno opterećenje u 1992. god. bilo postignuto 21. prosinca 1992. god., 1 981 MW. Dakle, razlika je 89 MW. Ovdje treba napomenuti da bi ugradnja ograničavala djelovala i na smanjenje jutarnjeg vršnog opterećenja.

Prema onome što je u nas napravljeno, lako je zaključiti da je općenito upravljanje potrošnjom odnosno (što je isto) povećanje iskorištenja izgrađenih kapaciteta slabo zastupljeno. Iznimku čini Elektroistra Pula, koja već desetak godina uvodi MTK i ugrađuje ograničavala radi izravnanja dijagrama opterećenja.

Ugrađena ograničavala u Elektroistri Pula su jednostavna, postižu svoju svrhu i kao takve potrošači ih prihvaćaju. Efekti provedenih mjera pokazuju da je to, s obzirom na dostignutu razinu razvoja našeg elektroenergetskog sustava i spremnost potrošača, put koji omogućuje značajnije uštede u eksploataciji i izgradnji elemenata elektroenergetskog sustava.

6. PROMJENE DIJAGRAMA OPTEREĆENJA

Ako se pogleda dijagram opterećenja elektroenergetskog sustava Hrvatske — maksimalni dani (sl. 5), vidljivo je da se maksimalno opterećenje prije primjene danas važećeg tarifnog sustava pojavljivalo u večernjim satima. Poslije 1. travnja 1991. god., uzimajući u obzir ratne okolnosti te posebno pad potrošnje u gospodarstvu i prestanak rada druge i treće smjene, dijagram opterećenja elektroenergetskog sustava Hrvatske promijenio je svoj oblik.
Maksimalno opterećenje pojavljuje se u jutarnjim satima (osim Silvestrova), a razlika između jutarnje i večernje špice u odnosu na dijagrame iz prethodnih godina je smanjena.

U sljedećem koraku pažnju treba usmjeriti na prebacivanje potrošnje iz jutarnjih sati u noćni period kako bi se smanjilo maksimalno, a povećalo minimalno opterećenje. To znači upravljanjem potrošnje i drugim mjerama treba stimulirati potrošače, posebno veće i industrijske potrošače koji to mogu i nađu interes, da svoju potrošnju iz jutarnjeg prebace u noćni period.

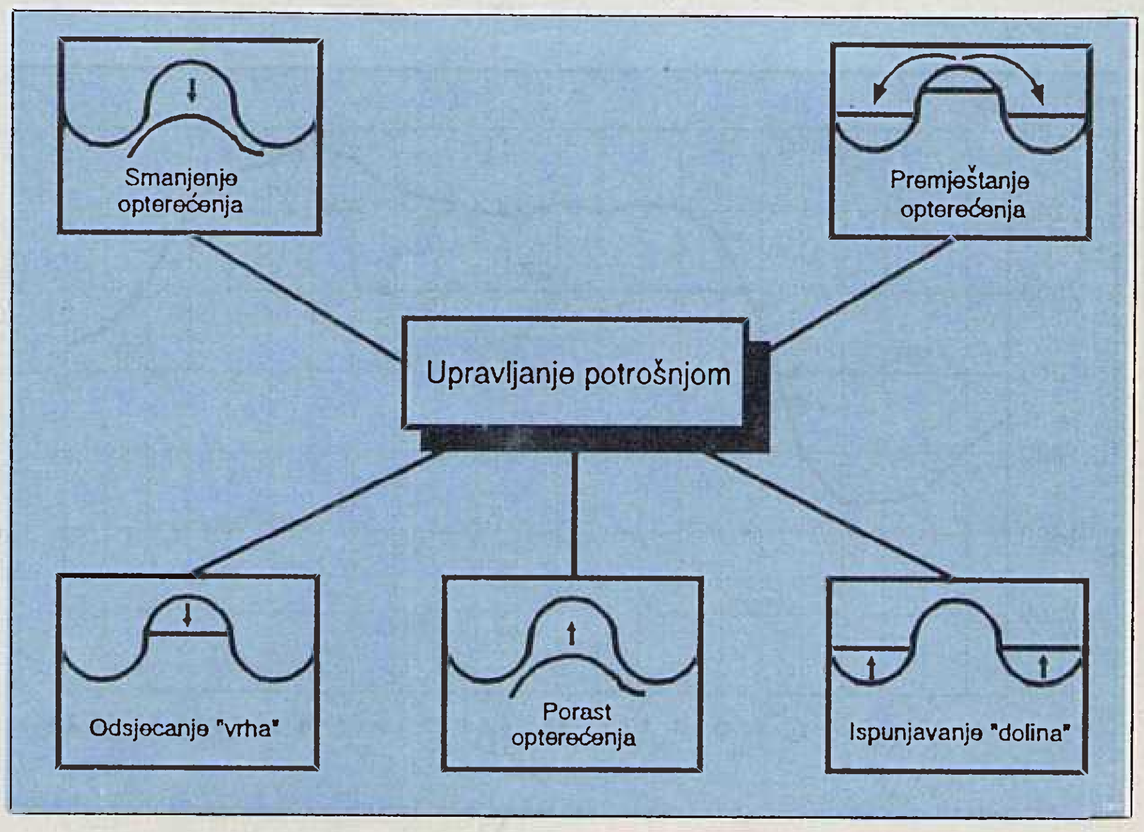
Da se dobije uvid u značaj upravljanja potrošnjom, o tome, općenito, nešto više u nastavku.

7. UPRAVLJANJE POTROŠNJOM

Upravljanje potrošnjom (»Demand Managment«) čini niz mjera i postupaka koji se poduzimaju da bi se djelovalo na iznos i vremenski raspored opterećenja (izravnanje dijagrama opterećenja) odnosno potrošnje električne energije u elektroenergetskom sustavu.
Te mjere prema svjetskim iskustvima, u osnovi se mogu svrstati u pet kategorija (sl. 6):

1. smanjenje opterećenja,
2. premještanje opterećenja,
3. odsijecanje vršnog opterećenja,
4. ispunjavanje »dolina« (noćnih minimuma) u dijagram opterećenja,
5. povećanje opterećenja.

Smanjenje opterećenja postiže se u prvom redu upotrebom efikasnijih trošila (zamjena npr. postojećih motora ili rasvjetnih tijela modernijim i djelotvornijim).
Premještanje opterećenja postiže se putem direktne kontrole opterećenja potrošača, te indirektno uvođenjem posebnih tarifnih stavova i drugih financijskih poticajnih mjera. Premještanjem opterećenja ne smanjuju se sveukupne potrebe za električnom energijom.



Slika 6. Načini upravljanja potrošnjom

Odsijecanje vrha može se postići na više načina, a najvažniji se ostvaruje putem ugovora s potrošačima (davanjem određenih popusta na cijenu električne energije) kojima se može smanjiti ili potpuno prekinuti napajanje električnom energijom pri vršnim opterećenjima sustava.

Ispunjavanje dolina postiže se tako da se tarifnim stavovima (cijenom) potiče rast opterećenja (potrošnje) potrošača u satima nižeg opterećenja u sustavu.

Povećanjem opterećenja tijekom dugoročnog perioda nastoji se postići kontrola rasta cijelog dijagrama opterećenja kako bi se ti porasti doveli u za sustav povoljne odnose. Programi kontrole povećanja opterećenja najčešće se koriste posebnim tarifnim stavovima da bi se potakao prelazak potrošača s drugih energenata na korištenje električne energije.

Primjenom prethodno navedenih mjera i aktivnosti smanjuju se stope porasta konzuma, smanjuju se potrebe za izgradnjom novih proizvodnih, prijenosnih, distribucijskih kapaciteta, smanjuju se ili preraspoređuju potrošnje ugljena, nafte ili plina, više se koriste elektrane s manjim specifičnim pogonskim troškovima, smanjuju se emisije štetnih tvari i negativni utjecaji na okolinu, štede primarni energetski izvori, a potrošačima koji to omogućuju znatno se smanjuju troškovi za električnu energiju. Prema nekim svjetskim navodima, uštađeni kW upravljanja potrošnjom se kreće od 30 do 50% potrebnih investicija za novu izgradnju. To pokazuje da su ulaganja u upravljanje potrošnjom, radi izravnanja dijagrama opterećenja, u interesu ne proizvodnje posebno, ne prijenosa posebno, ne distribucije posebno, već elektroprivrede kao cjeline, a time i samih potrošača.

Osnovni kriterij za ulaganja elektroprivrednih poduzeća u upravljanje potrošnjom u svijetu je da su ukupni troškovi manji nego kapitalni i pogonski troškovi novih proizvodnih, prijenosnih i distribucijskih poduzeća.

Godišnja ulaganja poduzeća u Sjevernoj Americi u zahvate iz domene upravljanja potrošnjom tijekom osamdesetih godina rasla su iz godine u godinu, tako da su u najambicioznijim poduzećima dosegla iznos od 4% ukupnog godišnjeg prihoda. U idućih deset godina elektroprivredno poduzeće Ontario Hydro planira uložiti u takav program 3 milijarde USD, a Hydro Quebec 1,8 milijardi USD. Vrlo detaljnim analizama ocijenjeno je da će do 2014. godine na području koje opskrbljuje elektroprivredno poduzeće Ontario Hydro biti isplativo predviđeno vršno opterećenje od 31 GW u 2000. god., mjerama i akcijama na strani potrošnje, smanjiti za 3,7 GW ili oko 12%, a vršno opterećenje od 40 GW koje se očekuje u 2014. god. za 5,6 GW ili za 14%. Samo akcijama premještanja opterećenja predviđa se 2000. god. smanjenje vršnog opterećenja za 1,0 GW, a u 2014. god. za 1,3 GW.

Što se tiče energije, predviđena potrošnja u 2014. god. od 234 TWh bi se isplatila smanjiti za 17 TWh ili 7,3% mjerom i akcijama na strani potrošnje.

U »Mogućim scenarijima Hrvatske elektroprivrede« na temelju niza proračuna dana je ocjena dosega upravljanja potrošnjom u smislu izravnanja dijagrama opterećenja odnosno preusmjeravanja potrošnje uperiod nižeg opterećenja sustava, kako bi se poboljšali faktori opterećenja, smanjila maksimalna opterećenja, a samim tim korigirali zahtjevi za izgradnjom sustava odnosno troškovi izgradnje.

Ocijenjeno je da bi se maksimalno opterećenje u EES Hrvatske moglo smanjiti u 2000. godini do 81 MW, što iznosi 2,9% vršnog opterećenja (scenarij SN50 — rast ukupnog društvenog proizvoda u razdoblju 1990 – 2010. god. s prosječnom godišnjom stopom 2,60%) do 94 MW, što iznosi 2,7% vršnog opterećenja (scenarij SV40T — rast ukupnog društvenog proizvoda u razdoblju 1990 – 2010. god. s prosječnom godišnjom stopom 3,95%). U 2010. godini smanjenje maksimalnog opterećenja se očekuje do 231 MW, što iznosi 6,8% vršnog opterećenja (scenarij SN50) do 302 MW, što iznosi 6,3% vršnog opterećenja (scenarij SV40T).

8. UMJESTO ZAKLJUČKA

Ovim Tarifnim sustavom za prodaju električne energije približili smo se tarifnim sustavima zapadnih zemalja i napravili osnovni korak koji omogućava uvođenje tržišnog gospodarstva zapadnoeuropskog tipa u energetski sektor Republike Hrvatske.

Na istim načelima na kojima se temelji Tarifni sustav za prodaju električne energije izrađen je Tarifni sustav za prodaju prirodnog plina. U pripremi je izrada Tarifnog sustava u toplinarstvu. Primjena tih triju tarifnih sustava omogućit će da se utvrde pariteti cijena među energentima kod krajnjih potrošača, što je osnova za definiranje energetske politike Republike Hrvatske.

Dakako, tarifni sustav je dinamičan proces koji stalno treba mijenjati i prilagođavati potrebama i karakteristikama potrošača radi sigurne opskrbe uz minimalne troškove. Tarifni sustav potiče potrošača na mijenjanje (u smislu »peglanja«) dijagrama opterećenja, ali i promijenjeni dijagram opterećenja imanove zahtjeve za promjenu tarifnog sustava. Ta interaktivna veza, čini se, nikada neće prestati.

LITERATURA

[1] J. TOPIĆ, N. BILČAR, S. JURIŠIĆ, »Tarifni sustav za prodaju električne energije«, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1991. god.

[2] Grupa autora, »Mogući scenariji razvoja Hrvatske elektroprivrede«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1991. god.

[3] Ontario Hydro's Plan to Serve Customers Electricity Needs, Ontario Hydro, Canada, 1990.

Energija, god. 43 (1994) 4, 225 – 230

BASIC PRINCIPLES OF TARIFF SYSTEM FOR ELECTRIC ENERGY SAIL IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Basic principles of existing Tariff system for electric energy sail in the Republic of Croatia are presented. Load demand curve changes are given, influenced by tariff system application and some other circumstances. The importance of demand management is given in order to diminish the need for new electric power station construction as well as to diminish total system costs.

DIE GRUNDPRINZIPIEN DES TARIFSYSTEMS FÜR DIE ELEKTRISCHE ENERGIE IN DER REPUBLIK KROATIEN

Dargestellt werden die Grundprinzipien, auf welchen das geltende Tarifsystem für den Verkauf der elektrischen Energie in der Republik Kroatien beruht. Es wird auf die Formveränderungen des Belastungsdiagrammes hingewiesen, auf welche, neben der anderen Gegebenheiten, auch die Anwendung des Tarifsystems ihre Wirkung geübt hat. Es wird auf die Bedeutung der Beeinflussung des Verbrauches, als eines Mittels der Einschränkung der Notwendigkeit des Ausbaues neuer elektroenergetischer Objekte und damit der Schrumpfung der Gesammtkosten im System, hingedeutet.

Naslov pisca:

Dr. Jakša Topić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d. Zagreb,
41000 Zagreb,
Avenija Vukovar 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-06-15.

UPRAVLJANJE KAKVOĆOM (QUALITY MANAGEMENT)

Dino Škopac, Plomin

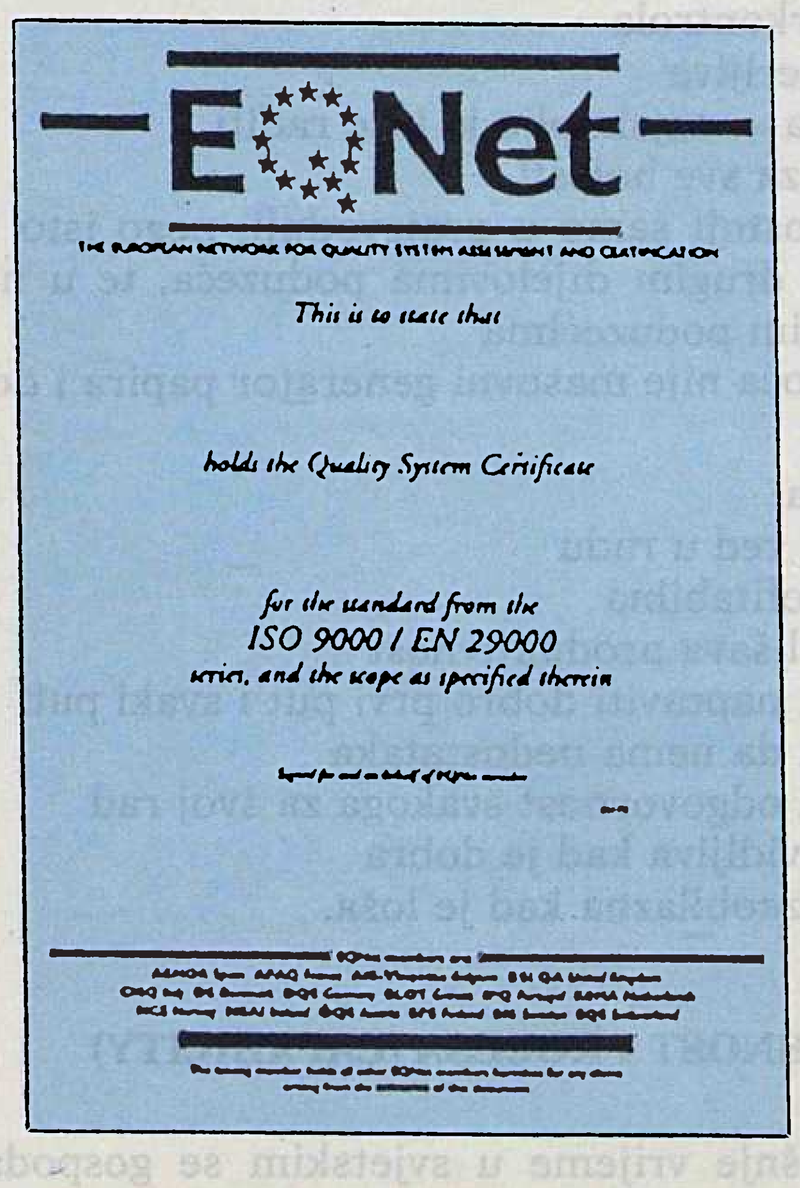
UDK 658.562:621.31
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Prikazana je povijest bavljenja kakvoćom, definicije vezane za bavljenje kakvoćom, norme i propisi sustava kakvoće, upravljanje kakvoćom u organizacijskoj shemi poduzeća, odgovornost za kakvoću, prosudbe kakvoće u poduzeću i razvoj upravljanja kakvoćom od početka do danas.

Ključne riječi: kakvoća, norme, propisi.

Prije uvoda

Kakvoća proizvoda, procesa, usluge ili poslovanja nije slučajna. Ona je produkt niza poduzetih mjera u poduzeću s unaprijed definiranim ciljevima, tj. produkt upravljanja. U Republici Hrvatskoj dobili smo potkraj studenog 1993., prvo poduzeće s **certifikatom sustava kakvoće** (sl. 1), dokumentom koji u očima poslovnog partnera znači povjerenje, sigurnost, zadovoljstvo, a koji se u zapadnoj Europi broji u desecima tisuća. To je DINA PETROKEMIJA d.d. iz Omišlja, čiji je sustav kakvoće certificirao LLOYDS REGISTER QUALITY ASSURANCE po elementima ISO 9002 iz 1987. godine. To je važan događaj, kako za DINU, tako i za upravljanje kakvoćom u Hrvatskoj i predstavlja prekretnicu u uključivanju našega gospodarstva u europske tokove. Ubrzo je uslijedio i drugi certifikat, no ipak prvi po ISO 9001 što ga je ishodilo poduzeće ABB — Karlovac od njemačke certifikacijske kuće DQS. U tijeku su certifikacijski postupci unutar ĐĐ Holdinga, Končara i drugih poduzeća u Hrvatskoj.



Slika 1. Certifikat Europske organizacije za prosudbu i certificiranje sustava kakvoće

Međutim, u Hrvatskoj zasad nema ovlaštenih organizacija koje se bave certificiranjem sustava kakvoće u poduzeću, pa su naša poduzeća prisiljena obraćati se inozemnim ovlaštenim organizacijama.

No posve sigurno smo na pragu razdoblja kada će naša poduzeća pridavati veću važnost uvođenju sustava kakvoće, a na to će ih natjerati tržišni uvjeti poslovanja, konkurencija, najprije inozemna, a zatim i domaća, te neminovna potraga za unutrašnjim rezervama. Ne smije se zaboraviti da uvođenje sustava kakvoće znači **povećanje produktivnosti, poboljšanje imagea poduzeća te povećanje profitabilnosti,** i to za 15 – 20% od ukupnog prihoda poduzeća, a to su, mora se priznati, vrlo konkretni i atraktivni ciljevi.

UVOD

Povijest bavljenja kakvoćom

Povijest bavljenja kakvoćom tijesno je povezana s poviješću normizacije.

Naime, potreba za normiranjem određenih proizvoda i aktivnosti u sustavnom načinu rada i poslovanja i potreba za kontrolom kakvoće pojavila se početkom ovog stoljeća u Velikoj Britaniji gdje su 1901. godine izdane prve britanske norme. Izdala ih je institucija »Engineering Standards Committee«, koju je uskoro preuzela »British Engineering Standards Association« (BESA) i razvila je u danas poznatu instituciju »British Standards Institution« (BSI).

Sve to događa se 60-ak godina prije nego su Japanci svijetu pokazali da kakvoća može biti nacionalna strategija proboja na svjetsko tržište.

Prve su norme u vrlo kratkom vremenu pokazale svoju punu opravdanost vezanu za kakvoću proizvoda i usluga. Stoga se osniva sada već čitav sustav, i to nacionalnih normi, koji s vremenom postoje nužan, ali i obvezan za kompanije orijentirane na uvoz i izvoz.

Dvije najcjenjenije svjetske institucije na polju normizacije jesu »International Electrotehnical Commision« (IEC) i »International Organization for Standardization« (ISO). Prva pokriva polje elektrotehnike, a druga strojarstva. Obje su smještene u Švicarskoj u Genevi i funkcioniraju na bazi komiteta po određenim područjima.

International Electrotehnical Commision (IEC) osnovana je 1906. godine i razvila fundamentalne norme, terminologiju, metode ispitivanja, uključujući i poznati internacionalni sustav jedinica (SI).

International Organization for Standardization (ISO) osnovana je nakon drugoga svjetskog rata 1947. godine i dok se IEC koncentrirala na norme na polju elektrike i elektronike (uključujući elektromedicinski i nuklearni inženjering) ISO se bavi neelektričnim normama. Najpoznatije norme koje je izdala ISO jesu norme upravljanja kakvoćom ISO 9000 — ISO 9004, definicije pojmova vezane za upravljanje kakvoćom ISO 8402 i norme za ISO-metričke vijke.

Sporazumom između dviju organizacija one se ne natječu međusobno, već, naprotiv, zbog povezanosti elektro i strojarske problematike sa svim poljima, usko surađuju u stvaranju normi i propisa. Službeni jezici za obje organizacije jesu engleski i francuski, no u zadnje vrijeme norme se publiciraju trojezično (uključen je i njemački jezik).

S druge strane, veliki zamasi u upravljanju kakvoćom zbivaju se nakon drugoga svjetskog rata s razvojem ratne industrije te nuklearnog i svemirskog programa.

Definicije

Radi lakšeg praćenja u nastavku prikazane su definicije vezane za upravljanje kakvoćom iz ISO 8402.

Kakvoća
- skup svih karakteristika proizvoda, procesa ili usluge koje se odnose na mogućnost da se zadovolje utvrđene ili indirektno izražene potrebe
- pogodnost za upotrebu
- usklađenost sa zahtjevima.

Politika kakvoće
- opće namjere i ciljevi jedne organizacije ili poduzeća glede kakvoće koje je utvrdio najviši organ upravljanja te organizacije.

Sustav kakvoće
- organizacijska struktura, odgovornosti, postupci, procesi, osposobljenost i sredstva koji zajedničkim djelovanjem osiguravaju da proizvodi, procesi ili usluge zadovolje utvrđene ili neposredno izražene potrebe.

Upravljanje kakvoćom
- oblik funkcije upravljanja koji se odnosi na utvrđivanje i provođenje politike kakvoće
- za postizanje kakvoće potrebno je utvrditi odgovornost i osigurati udio svih uposlenih u poduzeću; za upravljanje kakvoćom odgovorno je poslovodstvo poduzeća
- upravljanje kakvoćom obuhvaća strateško planiranje, raspored resursa za djelatnost i druge sustavne mjere.

Kontrola kakvoće
- aktivnosti i mjere koje se koriste za utvrđivanje ispunjavanja zahtjeva u pogledu kakvoće
- kontrola kakvoće je korektiva.

Osiguranje kakvoće
- sve planirane i sustavne mjere potrebne za stjecanje odgovarajućeg povjerenja da će proizvod, proces ili usluga ispuniti utvrđene zahtjeve glede kakvoće
- osiguranje kakvoće je preventiva.

KAKVOĆA MOŽDA NIJE ONO ŠTO MISLIMO DA JEST

Kakvoća je multidisciplinarno područje. Kakvoća je način ponašanja, način života i način rada.
Kakvoću u poduzeću stvara poslovodstvo, i to aktivnim sudjelovanjem, a ne moralnom potporom.
Kao takva ona je vrlo podložna nerazumijevanju, iako je u načelu svi prihvaćaju. Najbolji način za prevladavanje tog nerazumijevanja jest ispravan pristup kakvoći, tj. izobrazba za kakvoću u poduzeću, i to za sve razine managementa.
Za otklanjanje najosnovnijih dilema možemo reći sljedeće:

Kakvoća nije:
- kontrola ili inspekcija
- superkontrola
- nemjerljiva
- skupa — najskuplje je loše raditi
- lijek za sve bolesti
- ne postoji samo u proizvodnji, nego isto tako u svim drugim dijelovima poduzeća, te u neproizvodnim poduzećima
- kakvoća nije masovni generator papira i dokumenata.

Kakvoća:
- znači red u radu
- je profitabilna
- poboljšava produktivnost
- znači napraviti dobro prvi put i svaki put
- znači da nema nedostataka
- znači odgovornost svakoga za svoj rad
- je nevidljiva kad je dobra
- je nezaobilazna kad je loša.

SPOSOBNOST PROCESA (CAPABILITY)

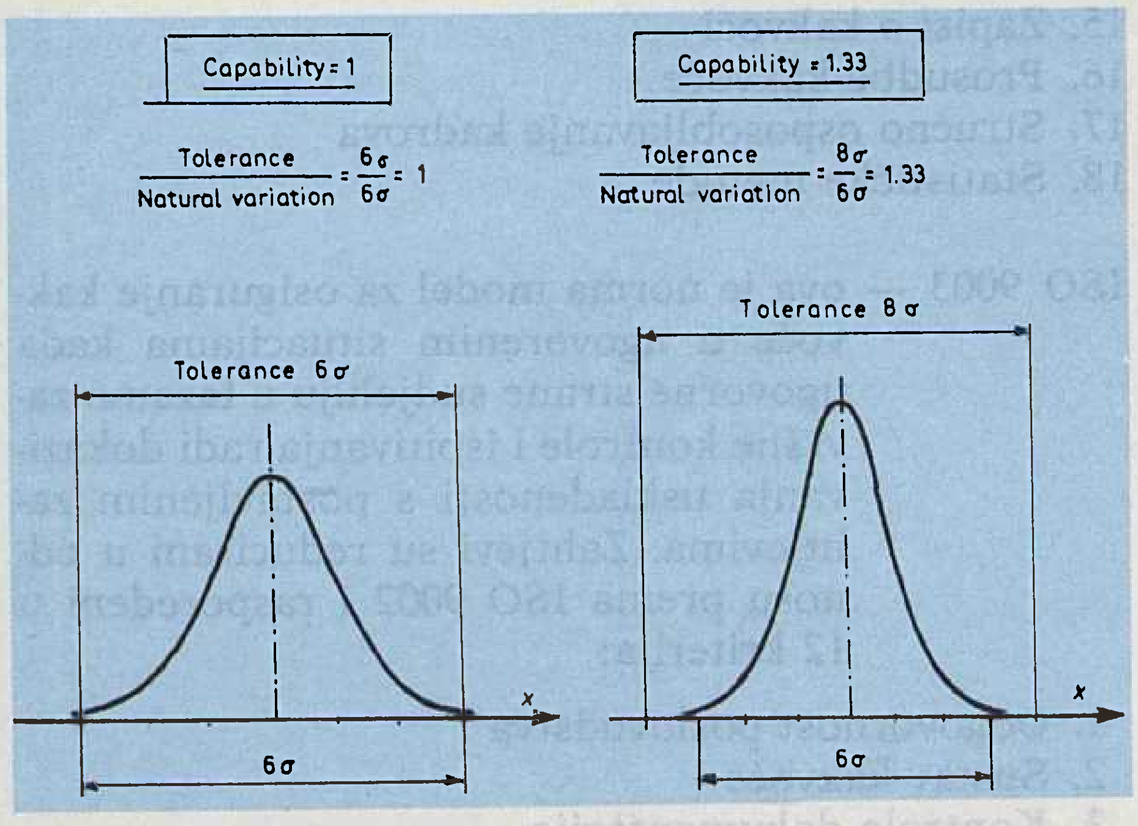
U današnje vrijeme u svjetskim se gospodarskim procesima primjećuje napuštanje masovne proizvodnje nekih proizvoda i prijelaz na manje serije prema

specifičnim zahtjevima kupaca, što zahtijeva konzistentnu kakvoću, kratke rokove isporuke, brže promjene, konstrukcije, visoke performanse i niske cijene ili, jednom riječju, **fleksibilnost**. U tom cjelokupnom okruženju postavljaju se sve veći zahtjevi na sposobnost procesa.

Proces mora biti tako projektiran da se rezultati uz normalne okolnosti kreću unutar zadanih tolerancija. Sposobnost procesa definira se kao odnos između intervala tolerancije i standardne devijacije rezultata procesa (sl. 2).

$$\text{Sposobnost procesa} - C = \frac{\text{Tolerancija}}{\text{Standardna devijacija}}$$

Zbog ugradnje zahtjeva za kakvoću u proces (nedostataka mora biti nula te uraditi točno prvi put) sposobnost procesa $C = 1$, koja je dopuštala 1 350 pogrešaka na 1 milijun, povećalo se na $C = 1{,}33$, a ona dopušta samo 30 pogrešaka na 1 milijun, što je postroženje za 45 puta.



Slika 2. Sposobnost procesa

NORME I PROPISI SUSTAVA KAKVOĆE

Sustav kakvoće uvodi se u poduzeće sukladno propisu ili normi koju smo odabrali, a na osnovi zakonskih propisa ili drugih propisanih uvjeta.

Norme i propisi sustava kakvoće mogu se podijeliti na one za konvencionalna postrojenja ili poduzeća te na propise za nuklearna postrojenja koja podliježu posebnoj regulativi što propisuje International Atomic Energy Agency (IAEA) iz Beča, a čiji je Hrvatska član od rujna 1992. godine.

U nastavku slijedi kratak pregled međunarodnih normi i propisa za sustave upravljanja kakvoćom.

1. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO)
   SERIJA 9000 — ISO 8402 — Rječnik kakvoće
   — ISO 9001
   — ISO 9002
   — ISO 9003
   — ISO 9004
2. EUROPSKA ORGANIZACIJA ZA STANDARDIZACIJU (CEN)
   SERIJA EN 29000 — EN 29004 (preuzete norme ISO 9000)
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)
   SAFETY SERIES NO 50-C-QA OF NUCLEAR POWER PLANTS
4. MIL Q–9858 A — QUALITY PROGRAM REQUIREMENTS FOR INDUSTRY — 1963
5. A QAP — SERIJA 1–9 — ALLIED QUALITY ASSURANCE
   PUBLICATIONS FOR INDUSTRY — SERIJA NATO — normi za osiguranje kakvoće
6. 10 CER 50, App. B — QUALITY ASSURANCE CRITERIA FOR NUCLEAR POWER PLANTS — američki standardi sustava kakvoće za nuklearne elektrane
7. ANSI N 45–2 — norme Američkog nacionalnog instituta za normizaciju
8. CSA–Z 299 — norme kanadske organizacije za normizaciju
9. BS 5750, parf 1–6 — britanske nacionalne norme za sustav kakvoće iz 1979, od kojih se razvio ISO 9000.

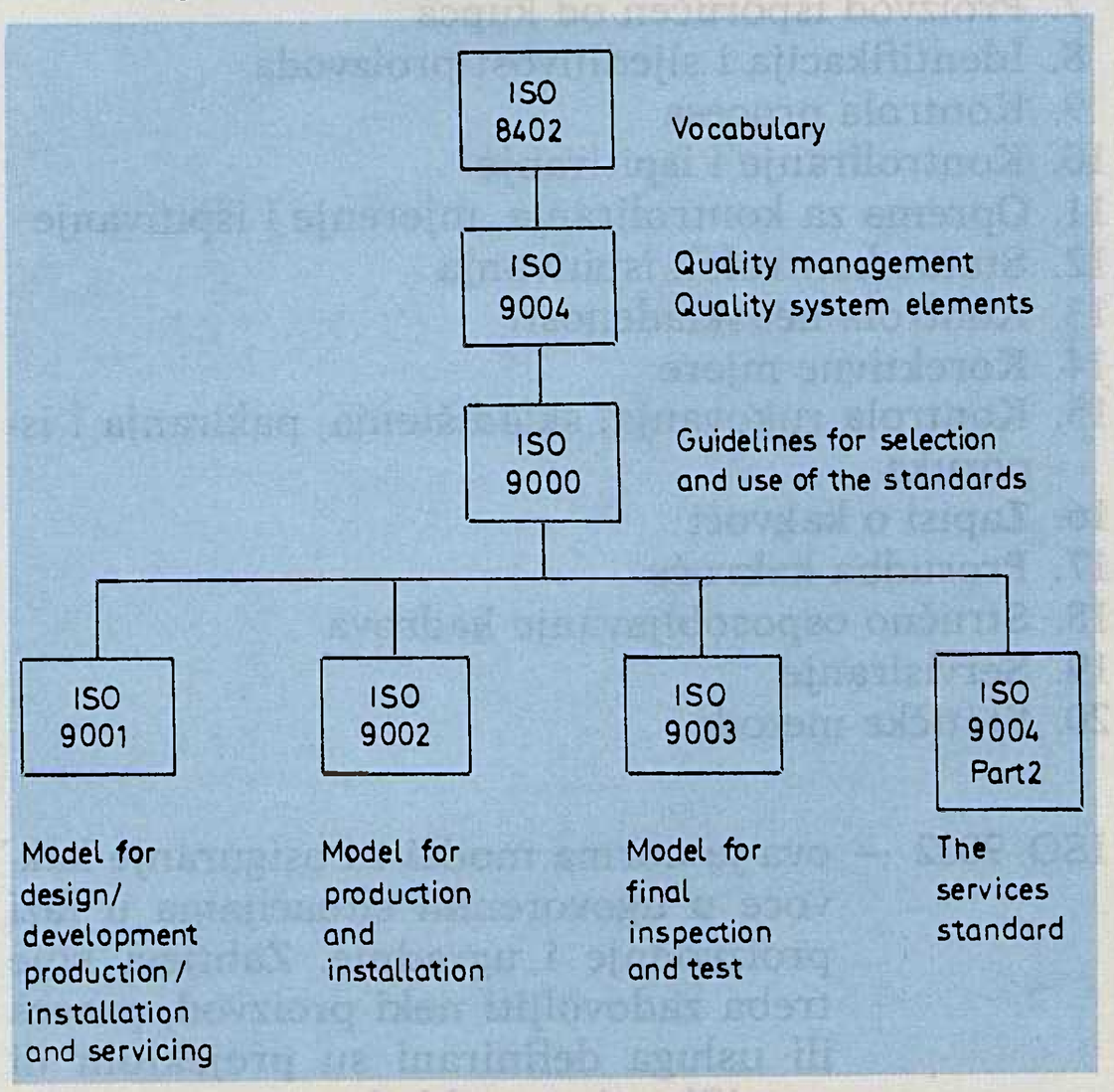
ISO 9000 (EN 29000)

ISO 9000 (EN 29000) su norme za upravljanje kakvoćom i za implementaciju sustava kakvoće u poduzeće.

Norme serije ISO 9000 objavila je 15. ožujka 1987. »International Organization for Standardization« iz Geneve, a prihvatila ih je komisija EZ-a pod oznakom EN 29000.

U tijeku je revidiranje normi ISO 9000, te se uskoro očekuje izdanje nove revizije koje je u fazi prijedloga. EN 29000 još je jedan korak u ukidanju barijera unutar EZ-a, odnosno doprinos akciji »Europa 92« koja znači slobodan promet ljudi, dobara i kapitala.

Na slici 3. prikazane su norme serije ISO 9000/EN 29000 koja obuhvaća:



Slika 3. Norme serije ISO 9000

— ISO 8402
— ISO 9000
— ISO 9001
— ISO 9002
— ISO 9003
— ISO 9004.

ISO 8402 — norma koja obrađuje terminologiju, odnosno rječnik kakvoće; to su obrađene definicije pojmova koji se koriste u normama serije ISO 9000.

ISO 9000 — to je norma koja daje uputu za izbor i uporabu normi serije ISO 9000. U ISO 9000 obrađene su osnovne koncepcije jedne organizacije glede kakvoće, karakteristične situacije sustava kakvoće, ovisno o tome radi li se o ugovorenim ili neugovorenim situacijama; u ugovorenim situacijama koristimo se sa ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003, a u neugovorenim situacijama sa ISO 9004.

ISO 9001 — ova je norma model za osiguranje kakvoće u ugovorenim situacijama kad ugovorne strane sudjeluju u fazama projektiranja, razvoja, proizvodnji, ugradnje i servisiranja od normi za ugovorene situacije ISO 9001 je najzahtjevnija i ima 20 kriterija:

1. Odgovornost poslovodstva — tu treba naglasiti da poslovodstvo prema ovoj normi mora imenovati svog predstavnika koji neovisno o ostalim ovlastima ima ovlaštenje i odgovornost za primjenu norme ISO 9001
2. Sustav kakvoće
3. Pregled ugovora
4. Kontrola projekta
5. Kontrola dokumentacije
6. Nabava
7. Proizvod isporučen od kupca
8. Identifikacija i sljedljivost proizvoda
9. Kontrola procesa
10. Kontroliranje i ispitivanje
11. Oprema za kontroliranje, mjerenje i ispitivanje
12. Status kontrole i ispitivanja
13. Kontrola neusklađenosti
14. Korektivne mjere
15. Kontrola rukovanja, skladištenja, pakiranja i isporuka
16. Zapisi o kakvoći
17. Prosudba kakvoće
18. Stručno osposobljavanje kadrova
19. Servisiranje
20. Statičke metode.

ISO 9002 — ova je norma model za osiguranje kakvoće u ugovorenim situacijama u fazi proizvodnje i ugradnje. Zahtjevi koje treba zadovoljiti neki proizvod, proces ili usluga definirani su projektom ili specifikacijom; usklađenost s postavljenim zahtjevima potvrđuju se u fazama proizvodnje i ugradnje. U odnosu na ISO 9001, ova norma ima ponešto reducirane zahtjeve raspoređene u 18 kriterija:

1. Odgovornost poslovodstva
2. Sustav kakvoće
3. Pregled ugovora
4. Kontrola dokumentacije
5. Nabava
6. Proizvod isporučen od kupca
7. Identifikacija i sljedljivost proizvoda
8. Kontrola procesa
9. Kontroliranje i ispitivanje
10. Oprema za kontroliranje, mjerenje i ispitivanje
11. Status kontrole i ispitivanja
12. Kontrola neusklađenosti
13. Korektivne mjere
14. Kontrola rukovanja, skladištenja, pakiranja i isporuka
15. Zapisi o kakvoći
16. Prosudbe kakvoće
17. Stručno osposobljavanje kadrova
18. Statističke metode.

ISO 9003 — ova je norma model za osiguranje kakvoće u ugovorenim situacijama kada ugovorne strane sudjeluju u fazama završne kontrole i ispitivanja radi dokazivanja usklađenosti s postavljenim zahtjevima. Zahtjevi su reducirani u odnosu prema ISO 9002 i raspoređeni u 12 kriterija:

1. Odgovornost poslovodstva
2. Sustav kakvoće
3. Kontrola dokumentacije
4. Identifikacija i sljedljivost proizvoda
5. Kontroliranje i ispitivanje
6. Oprema za kontroliranje i ispitivanje
7. Status kontrole i ispitivanja
8. Kontrola neusklađenosti
9. Kontrola rukovanja, skladištenja, pakiranja, isporuka
10. Zapisi o kakvoći
11. Stručno osposobljavanje kadrova
12. Statističke metode.

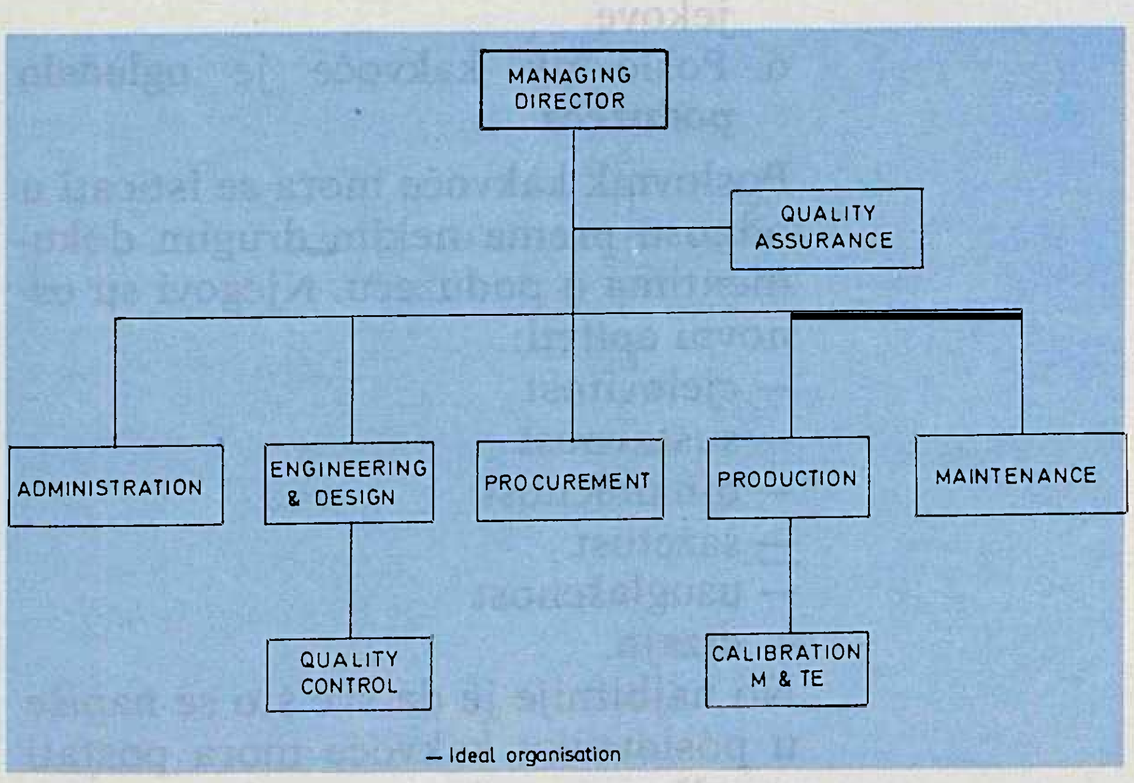
ISO 9004 — ova je norma uputa organizacijama za upravljanje kakvoćom i za uvođenje sustava upravljanja kakvoćom u poduzeće; ona daje elemente sustava kakvoće i koristi se kod neugovorenih situacija; norma ima 20 kriterija i u odnosu prema ISO 9001 treba izdvojiti dva kriterija koja predstavljaju novost:
Kriterij broj 6. Troškovi kakvoće
Kriterij broj 7. Kakvoća u marketingu.

ISO 9004 — part 2. — obrađuje norme za uslužne djelatnosti, što pokazuje da su norme serije ISO 900 sveobuhvatne i primjenljive od energetike do turizma.

UPRAVLJANJE KAKVOĆOM U ORGANIZACIJSKOJ SHEMI PODUZEĆA

Upravljanje kakvoćom može se implementirati u poduzeće samo od njegova vrha prema dolje, i to putem organizacijskih i rukovodnih struktura, odnosno putem odgovarajućih odluka poslovodstva. Nema nikakva govora o obratnom putu, tj. da netko iz nižih organizacijskih razina bez ovlaštenja poslovodstva, bez obzira na to koliko stručan i uporan bio, radi na uvođenju sustava kakvoće u poduzeće. Taj put je osuđen na neuspjeh i na trošenje mnogo energije uz skromne rezultate. Zato je vrlo bitno da poslovodstvo poduzeća, osjećajući potrebu za uvođenje sustava kakvoće (zbog povećanja profitabilnosti i poboljšanja »imagea«), bude pokretač akcija na tom polju. Na slici 4. prikazana je organizacijska shema jednog poduzeća (izvor — Lionel Stebing — Quality assurance).

Najbitnije je spomenuti da organizacijska jedinica za kakvoću u poduzeću, bez obzira na to radi li se o službi, odjelu ili sektoru mora biti smještena tako da odgovara izravno i neposredno direktoru poduzeća, jer je to prvi uvjet uspješnog funkcioniranja.



Slika 4. Upravljanje kakvoćom u organizacijskoj shemi poduzeća

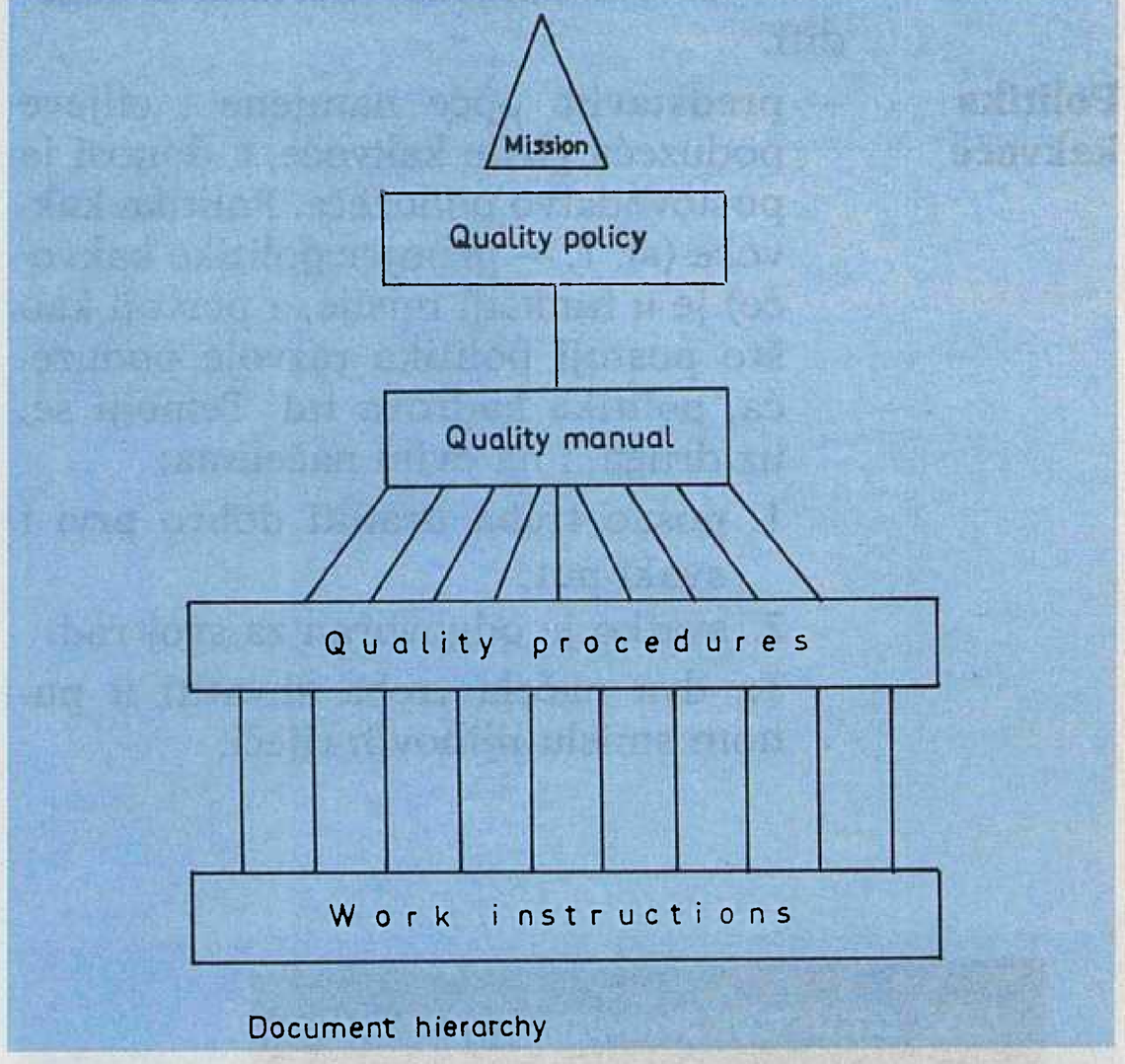
ODGOVORNOSTI ZA KAKVOĆU

Osnovno načelo u određivanju odgovornosti za kakvoću jest da doslovno svatko odgovara za kakvoću svog opsega posla.
Direktor poduzeća snosi odgovornost za politiku kakvoće i organizaciju upravljanja kakvoćom u poduzeću.
Za razvoj sustava kakvoće u poduzeću, uključujući sve njegove sastavne dijelove, odgovornost je na rukovoditelju ili direktoru organizacijske jedinice za kakvoću u poduzeću.
Međutim, za osiguranje kakvoće u pojedinim sektorima, kao što su marketing, nabava, financije, kadrovi, proizvodnja itd., primarnu odgovornost snose rukovoditelji ili direktori tih sektora, a ne, kako se to ponekad tumači, sektor za kakvoću koji tu ima sekundarnu odgovornost.

Obično se u poduzeću izradi matrica odgovornosti za kakvoću koja sadrži elemente sustava kakvoće i funkcije — nositelja odgovornosti koju potpisuje direktor poduzeća.

DOKUMENTACIJA SUSTAVA KAKVOĆE

Na slici 5. prikazana je hijerarhija dokumentacije za kakvoću u poduzeću.



Slika 5. Hijerarhija dokumenata kakvoće u poduzeću

Misija poduzeća (temeljna zadaća) — dokumentirana je vizija vlasnika poduzeća, upravnog odbora i generalnog direktora o tome zašto poduzeće postoji, koja je njegova zadaća u ovom trenutku i kamo se želi ići u budućnosti. Misija poduzeća (sl. 6 — primjer misije) mora postati žarište i iz-

MERCURY MISSION STATEMENT

Our Mission is to

- Reach £2 billion of profitable annual revenues in telecommunications by the mid-1990s
- Be the first-choice supplier of the products and services we offer to targeted Business and Residential markets, through total customer satisfaction
- Be a Total Quality Culture company which fully involves and develops our employees

To achieve our Mission we will

- Provide long distance services to UK Business and Residential customers as our core business
- Develop value-added services and systems ousinesses which complement our core business, can grow faster than their market, and can meet profit objectives
- Ensure our products and services are the best in their class for value and quality
- Continuously improve our business processes with the objective of zero defects
- Base our culture on a cross-functional team approach to continuous improvement
- Understand and meet customer needs ahead of our competitors
- Provide an employment environment which is second-to-none
- Bring the benefits of Cable & Wireless, the World Telephone Company, to our customers

Mercury

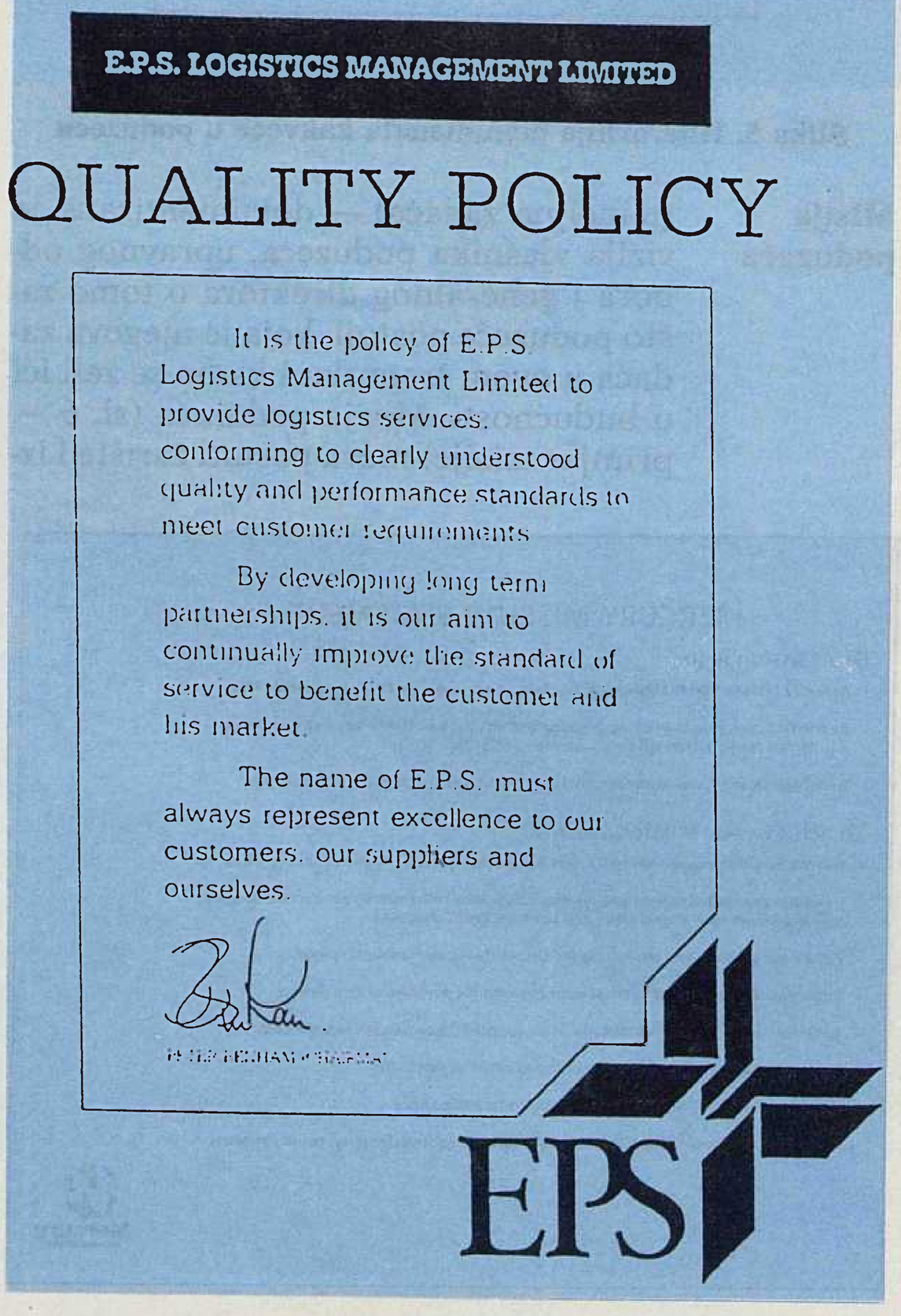
Slika 6. Primjer misije poduzeća

vor oko kojeg treba okupiti sve najprogresivnije snage u poduzeću, a u funkciji njezine potpune realizacije u idućem razdoblju od recimo 10 godina. Taj rok može i varirati, a posebice stoga što se ne smiju zaboraviti složene političke okolnosti u Hrvatskoj, u Europi i svijetu. Činjenica je da su u ovo doba, doba promjena i u nas, a i u svijetu, na sceni neki novi procesi kojima se, želimo li to ili ne želimo, moramo prilagoditi.

Politika kakvoće — predstavlja opće namjene i ciljeve poduzeća glede kakvoće, a donosi je poslovodstvo poduzeća. Politika kakvoće (sl. 7. — primjer politike kakvoće) je u funkciji misije, a postoji kao što postoji politika razvoja poduzeća, politika kadrova itd. Temelji se, uz druga, i na ovim načelima:

1. posao treba uraditi dobro prvi i svaki put,
2. svatko je odgovoran za svoj rad.

Ta dva načela treba shvatiti u punom smislu njihovih riječi.



Slika 7. Primjer politike kakvoće poduzeća

Poslovnik kakvoće — strateški dokument managementa poduzeća kojim se definira oživotvorenje politike kakvoće. Poslovnik kakvoće radi se u Sektoru za kakvoću poduzeća, a potpisuje ga direktor poduzeća i direktor za kakvoću. Poslovnik kakvoće se izrađuje prema za to odobrenoj normi ili propisu, npr. prema ISO 9001.

Zašto je potreban poslovnik kakvoće?

1. Poslovnik kakvoće je alat managementa.
2. Poslovnik kakvoće održava zaposlene — svjesne njihovih odgovornosti.
3. Poslovnik kakvoće je nezaobilazan dokument u poslovnim kontaktima s drugim domaćim i inozemnim tvrtkama.
4. Poslovnik kakvoće je nužan dokument pri sklapanju ugovora i izvođenju poslova.
5. Poslovnik kakvoće je temelj za uključenje u svjetske gospodarske tijekove.
6. Poslovnik kakvoće je **ogledalo poduzeća**.

Poslovnik kakvoće mora se isticati u odnosu prema nekim drugim dokumentima u poduzeću. Njegovi su osnovni epiteti:

— cjelovitost
— sustavnost
— dinamičnost
— sažetost
— usuglašenost
— dizajn.

No najbitnije je da sve što se napiše u poslovniku kakvoće mora postati **pravilom ponašanja** u poduzeću (što zapravo poslovnici i jesu), tj. treba osigurati njegovu provedbu. Tu vrijedi pravilo: **Napiši kako radiš i radi kako je napisano!**

Procedure ili postupci kakvoće — dokumenti koji operacionaliziraju poslovnik kakvoće. Donose se u Sektoru za kakvoću.

To su pisani i odobreni postupci koji normiraju određene aktivnosti u poduzeću i definiraju specifične detalje o tome kako se te aktivnosti provode. Primjerice tu se ubrajaju postupci:

— ugovaranje
— kolanje dokumenata
— označavanje dokumenata
— nabava
— klasificiranje isporučitelja
— preuzimanje
— kontroliranje proizvoda
— kontrola neusklađensoti

— korektivne mjere
— skladištenje
— prosudbe kakvoće
— izobrazba kadrova
— personalna evidencija
— troškovi kakvoće.

Nabrojeni postupci definiraju format, odgovornosti, metodologiju, kriterije prihvatljivosti, eventualne posebne uvjete, te generiranje i čuvanje zapisa o provođenju nabrojenih aktivnosti.

Radne upute — pisani odobreni radni dokumenti za kontrolu, aktivnosti pojedine grupe ili odjela što utječu na kakvoću.

Zapisi o kakvoći — to su izvješća i zapisi koji osiguravaju dokumentirani dokaz o provedenoj aktivnosti koja utječe na kakvoću.

AUDIT ILI PROSUDBA KAKVOĆE U PODUZEĆU

Isto kako funkcija managementa obuhvaća planiranje, organiziranje, angažiranje kadrova, vođenje i, nakraju, lanca kontroliranje, tako i nakon uspostave sustava kakvoće stvar nije gotova. Naprotiv, tek onda treba uspostaviti organizirano provjeravanje sustava kako bi se osiguralo njegovo efikasno djelovanje.

Definicija audita ili prosudbe kakvoće prema ISO 8402

— Sustavna i nezavisna prosudba radi utvrđivanja da su aktivnosti u svezi s kakvoćom te ostvareni rezultati kakvoće u skladu s planiranim procedurama i zahtjevima te da su procedure i zahtjevi za kakvoću efikasno provedeni i podobni za postizanje ciljeva kakvoće.
— Cilj audita ili prosudbe jest procjena potrebe za korektivnom akcijom.

Treba naglasiti **da odgovornost za audit sustava kakvoće snosi direktor poduzeća.** Prema tome, iako same aktivnosti oko prosudbe izvodi Sektor za kakvoću u poduzeću, konačno izvješće analizira direktor poduzeća. Tada se definiraju potrebe za eventualnim korektivnim akcijama, termini izvođenja itd.

Korektivna akcija nastaje kao odgovor na utvrđenu **neusklađenost** unutar sustava kakvoće. Nakon utvrđivanja neusklađenosti Sektor kakvoće otvara izvješće o neusklađenosti te definira korektivnu akciju i odgovorne osobe za njezino provođenje, a nakon ponovne prosudbe, u slučaju pozitivnog nalaza, izvješće o neusklađenosti se zatvara i arhivira.

Sama prosudba ili audit kakvoće može biti:

1. **vanjski**,
2. **unutarnji**,

te **redovni** ili **izvanredni**.

Isto tako postoji:

1. audit proizvoda,
2. audit procesa,
3. audit sustava.

Audit proizvoda — jest provjera karakteristika kakvoće proizvoda s obzirom na unaprijed propisane zahtjeve.

Audit procesa — jest provjera pojedinih faza određenog procesa, npr. u projektiranju, proizvodnji ili održavanju, kako bi se ocijenila sposobnost procesa te, po potrebi, izvela određena korekcija, a sve radi njegove efikasnosti.

Audit sustava — jest provjera elemenata cijelog sustava, npr. kakvoće, a to konkretno znači funkcionalnost organizacije, provedbu odredbi poslovnika, proceduru itd. u odnosu prema pisanim dokumentima.

Unutarnji (interni) audit ili prosudba

— Provodi se unutar poduzeća i pruža poslovodstvu poduzeća informacije o stanju upravljanja kakvoćom u poduzeću.
— Nakon što smo se uvjerili u funkcionalnost svog sustava kakvoće, možemo izdati zahtjev ovlaštenoj organizaciji za izdavanje **certifikata za sustav kakvoće** (sl. 1. — Certifikat Europske organizacije za prosudbu i certificiranje sustava kakvoće).

Između ostalog najzahtjevniji od ISO standarda ISO 9001 za audit kaže:

— Auditi se moraju planirati na osnovi stanja i važnosti određene aktivnosti.
— Auditi i akcije koje slijede moraju se provoditi prema pisanim procedurama ili postupcima.

Vanjski (eksterni) audit ili prosudba

Većinom se vanjski audit provodi kad želimo provjeriti isporučitelja (podisporučitelja) bez obzira na to radi li se o proizvodu, procesu ili cijelom sustavu.

Vanjski audit također provode ovlaštene institucije za izdavanje certifikata, na zahtjev poduzeća koje želi ishoditi certifikat.

Vanjski audit se provodi po unaprijed utvrđenim planovima, programima, »check« listama, upitnicima, formularima koji se koriste upravo za takve svrhe.

ISO je izdao normu ISO 10011 gdje su smjernice za:

— audit i njegovu provedbu
— kriterije klasifikacije za auditore
— upravljanje programom audita.

Za poduzeće u Hrvatskoj audit je relativno nova kategorija, osim za ona koja imaju stalne kontakte s inozemnim tvrtkama, kao što su naša brodogradilišta, Pliva, ABB i neka druga.

No jedno je sigurno: Našim ulaskom u Europu upravljanje kakvoćom, pa tako i **audit**, sve više prožimaju domaća poduzeća i postaju naša stvarnost.



Interni i vanjski audit sustava kakvoće

Slika 8. Auditi ili prosudba sustava kakvoće

UMJESTO ZAKLJUČKA — RAZVOJ UPRAVLJANJA KAKVOĆOM

Na slici 9. prikazan je razvoj upravljanja kakvoćom od njegovih početaka pa do danas, koji se sastoji od nekoliko faza.

Najprije se počela koristiti **kontrola kakvoće** kako bi se najprije otkrili, a nakon toga uklonili nedostaci. Kontrola kakvoće je korektivna djelatnost i 100 % kontrola ne osigurava nam da će sljedeći proizvod biti kvalitetan.

U ovom stadiju u središtu pozornosti jest proizvod, a povjerenje kupca u kakvoću je malena. U novoj fazi **osiguranju kakvoće** pokušavaju se unaprijed poduzimati akcije (**prevencija**) koje će nam osigurati kakvoću proizvoda procesa ili usluge pod parolom »**Bolje spriječiti nego liječiti**«.

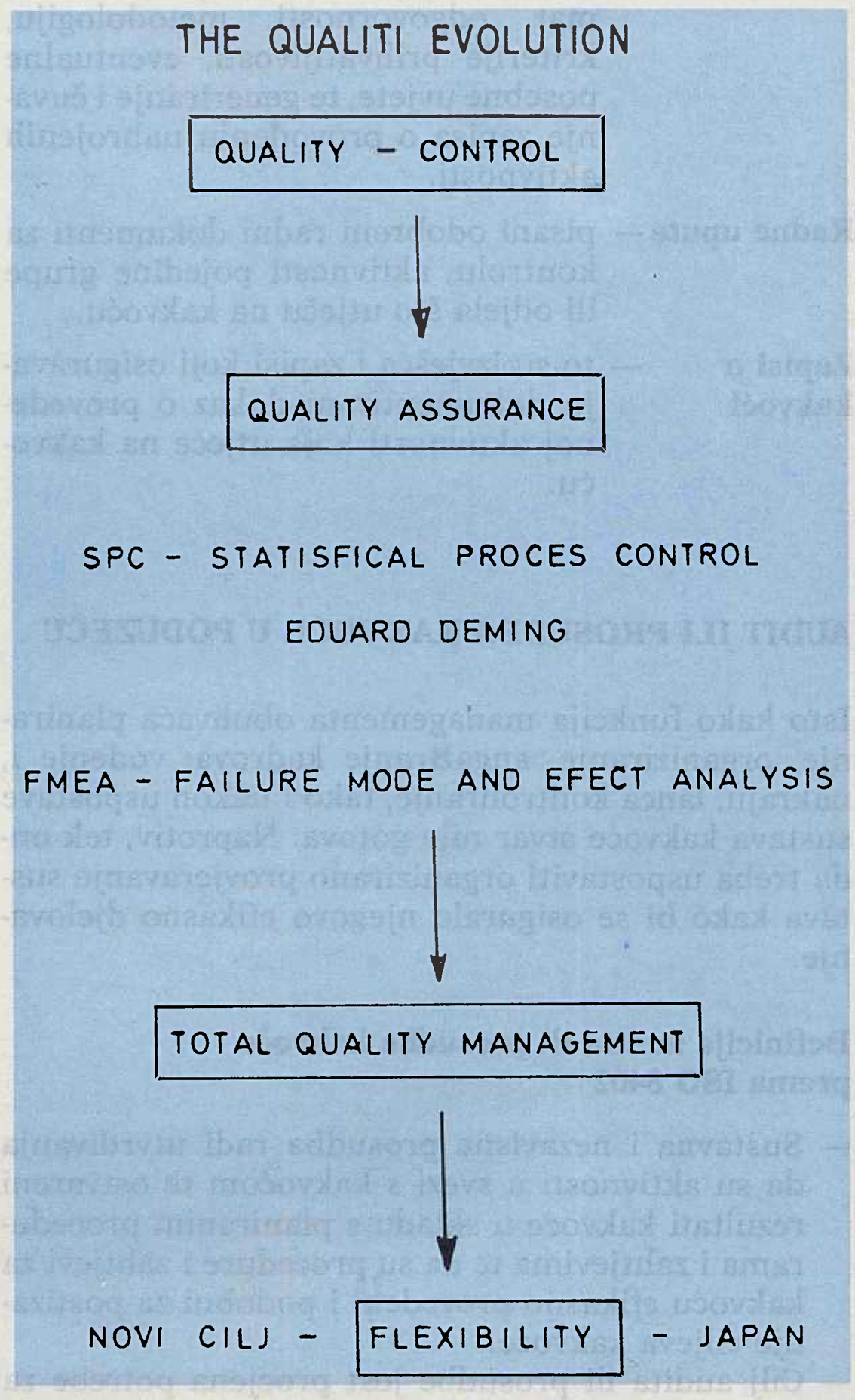
U fokusu pozornosti je kakvoća procesa koja osigurava kakvoću proizvoda i samim tim raste i povjerenje kupca ili korisnika.

Međutim, tu se ne staje. Najprije u Japanu, a zatim u SAD i zapadnoj Europi ide se na TOTAL QUALITY MANAGEMENT, tj. totalnu kakvoću u svim segmentima poduzeća. Kakvoća dopire do svakog uposlenoga.

Razvijaju se statističke metode kontrole radi poboljšanja kakvoće. U središtu pozornosti je kupac ili korisnik, razvijaju se strategije radi povećanja kakvoće, ide se na egzaktno definiranje odgovornosti, što stvara veliko povjerenje kod kupaca.

No ni tu nije kraj, jer u Japanu, koji je uspostavio totalno upravljanje kakvoćom, danas se okreću novom cilju, a to je FLEXIBILITY — FLEKSIBILNOST. Kako je već opisano, osnovne su značajke fleksibilnosti sljedeće:

- konzistentna kakvoća
- kratki rokovi isporuke
- brze promjene konstrukcije
- visoke performance
- niske cijene.



Slika 9. Razvoj upravljanja kakvoćom

LITERATURA

[1] ISO 8402 — QUALITY VOCABULARY — 1986. i dodaci 1988. i 1989.

[2] ISO 9000/EN 29000 — QUALITY SYSTEMS, serija ISO 9000–9004/EN 29000–29004 od 1987. god.

[3] Philip Crosby: »Kvaliteta je besplatna«, Privredni vjesnik Zagreb, 1989. god.

[4] Dennis Lock: »Gower Hardbook of Quality Management«, 1991.

Energija, god. 43 (1994) 4, 231 – 239

QUALITY MANAGEMENT

The report presents the history of quality engagement, the definitions related to quality engagement, norm and regulations of the quality systems, quality management in the organisational scheme of the company, responsability for the quality, the estimation of the quality in the company as well as development of the quality management from the begining up to the present.

QUALITÄTSSTEUERUNG

Dargestellt wird: die Geschichte des Befassens mit der Qualität, sich auf dieses Befassen bezogene Begriffsbestimmungen, die Position der Qualitätssteuerung innerhalb des Organisationsschemas des Unternehmens, die Verantwortung für die Qualität, Erwägungen der Qualität im Unternehmen und die Entwicklung der Qualitätssteuerung vom Anfang bis zur Gegenwart.

Naslov pisca:

Dino Škopac, dipl. ing.
HEP — TE Plomin II,
52234 Plomin, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-06-15.

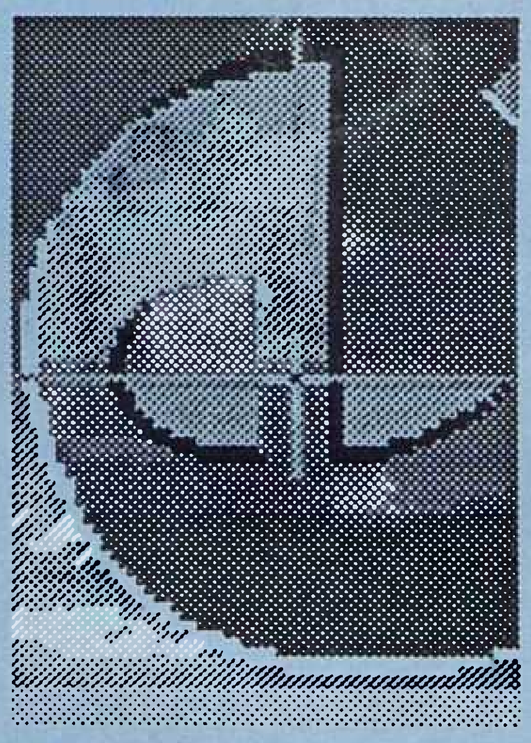
MEĐUNARODNI VELESAJAM INŽINJERSTVA — KONTAKT FORUM U CENTRALNOJ I ISTOČNOJ EUROPI

36-i međunarodni sajam inžinjerstva koji bi trebao postati most povezujući zapad i istok održat će se 14 – 20. rujna 1994. u Brnu. Očekuje se da će ceremonijalnom otvorenju prisustvovati češki premijer g. Vaclav Klaus i ostali članovi kabineta.

Kontakt adresa:

Brno Fairs and Exhibitions, Public Limited Company
Výstaviště 1, 647 00 BRNO, Czech Republic
Press Centre — Pavilion O
Ing. Lubomír BARTOŠÍK — Project Press Manager
Tel.: +42-5-4115 2568, Fax: +42-5-4115 3079

RC



KON

INSTITUT
ZA ENERGETIKU
I
ZAŠTITU
OKOLIŠA

RJEŠENJE ZAŠTITE VEZNIH FILTARA SUSTAVA *MTU* OD PREKOMJERNOG ZAGRIJAVANJA, PRIMIJENJENO U TRAFOSTANICI 110/(20)10 kV ELEKTRE ZAGREB

Šime Stopfer, Zagreb

UDK 621.311.42:621.316.9
STRUČNI ČLANAK

U radu je opisan sustav za mrežno tonfrekventno upravljanje instalirano u Elektri Zagreb, te jedna od metoda za identifikaciju problema/lociranja mjesta kvara u energetskom dijelu sustava mrežno tonfrekventnog upravljanja. Za konkretan problem, pregrijavanja veznih filtara u trafostanici 4TS Stenjevac, opisano je primijenjeno tehničko rješenje, te prikazani rezultati obavljenih mjerenja prije i poslije ugradnje novoga zaštitnog elementa (modificirano standardno iskrište).

Ključne riječi: MTU – mrežno frekventno upravljanje, vezni filtar, iskrište.

1. UVOD — SUSTAV MREŽNO TONFREKVENTNOG UPRAVLJANJA ELEKTRE ZAGREB

U Elektri Zagreb je još potkraj šezdesetih godina uočena potreba za sustavom upravljanja potrošnjom, te je 1971. godine instaliran sustav mrežnog tonfrekventnog upravljanja. Tijekom godina sustav je proširivan, dodavane su nove funkcije i nove krajnje stanice.

Danas sustav MTU Elektre Zagreb čine:

— centralna automatika (Rade Končar) 1
— nadzorno upravljačke jedinice (L&G, Rade Končar, MTK Projekt i Končar) 12
— vezni filtari (L&G, Rade Končar i Končar) 23
— MTU prijemnici (L&G, Iskra, Ei-Niš i MTK Projekt) 70 000

Osnovne tehničke karakteristike sustava MTU jesu:

— način injektiranja signala: paralelno
— frekvencija: 283 1/3 Hz
— telegram: Semagyr 50
— naponska razina utiskivanja signala: 30 i 10(20) kV

Funkcije koje se danas obavljaju putem sustava MTU jesu:

— upravljanje javnom rasvjetom
— upravljanje rasvjetom podhodnika
— upravljanje tarifama — velepotrošači
— upravljanje tarifama — kućanstva.

Emitirani tonfrekventni signal sustava MTU Elektre Zagreb pokriva gotovo cijelu distributivnu mrežu u nadležnosti pogona Elektre Zagreb, što bitno pridonosi njegovu značenju i ulozi u cjelokupnom vođenju distributivne mreže grada Zagreba.

Tijekom višegodišnje eksploatacije dijelovi sustava zamijenjeni su (centralna automatika) zbog dotrajalosti ili nužne modernizacije. Stalno je postojao problem uklapanja novih uređaja, tehnologija i tehničkih rješenja u postojeći sustav MTU, te usklađivanje rada uređaja raznih proizvođača. Zbog toga su u Elektri Zagreb, u grupi koja se brine o sustavu MTU, razvijeni i korišteni razni alati i metode za trajni nadzor i praćenje ispravnosti rada sustava. Tijekom višegodišnje eksploatacije prikupljeni su podaci o ponašanju sustava MTU u raznim pogonskim uvjetima, te postoje dragocjena iskustva o toj problematici. Većina uočenih problema i kvarova rješava se samostalno u grupi, a samo za manji dio traži se pomoć proizvođača ili druge vanjske tvrtke.

2. PREGRIJAVANJE VEZNIH FILTARA U TRAFOSTANICI 4TS STENJEVAC

U trafostanici 110/(20)10 kV 4TS Stenjevac instalirano je i pušteno u pogon 1983. godine pilot postrojenje sustava MTU proizvodnje »Rade Končar — Elektronika i informatika«. Tijekom probnog pogona zabilježeno je neuobičajeno mnogo kvarova nadzorno-upravljačke jedinice i veznog filtra. Neki od njih rezultirali su potpunim razaranjem veznih transformatora. Naknadnim analizama utvrđeno je da su to posljedice pregrijavanja veznih transformatora.

Zbog izrazito nepouzdanog rada nije bilo moguće pustiti to postrojenje u trajni pogon, već su se za promjenu tarife i paljenje javne rasvjete na tom području i dalje koristili instalirani uklopni satovi.

Treba naglasiti da je samo u 4TS Stenjevac dolazilo do opisanih pojava i kvarova iako je oprema istog proizvođača i isto tehničko rješenje primijenjeno u još pet transformatorskih stanica 110/× kV Elektre Zagreb. Za sva ostala postrojenja može se konstatirati da su njihova eksploataciona svojstva u dopuštenim granicama.

Intenzivna izgradnja distributivne mreže na području koje se napaja iz ove transformatorske stanice i prijelaz na 20 kV naponski nivo nametnuli su zahtjev za puštanjem u trajni pogon MTU postrojenja u 4TS Stenjevac. Prvi korak bila je zamjena nadzorno-upravljačke jedinice 1990. godine. Ni nakon te zamjene postrojenje MTU nije bilo dovoljno sigurno za trajni pogon. Problem pregrijavanja veznih transformatora ostao je i dalje osnovni uzrok nepouzdanog rada. Zbog toga je grupa za održavanje MTU Elektre Zagreb pokušala samostalno riješiti ovaj problem.

2.1. Trafostanica 110/(20)10 kV 4TS Stenjevac

Trafostanica 110/(20)10 kV Stenjevac tipična je distributivna stanica, instalirane snage transformatora 2×20 MVA. Napaja mrežu zapadnoga dijela grada na koju su priključeni tipični distributivni potrošači. Pripadna srednjonaponska mreža uglavnom je kabelska, a manjim dijelom zračna. Broj priključenih potrošača po pojedinim izvodima TS SN/NN varira u uobičajenim granicama. U trafostanici 4TS Stenjevac nije ugrađena kompenzacija.

Instalirana su dva postrojenja MTU na način da svako napaja jednu sekciju sabirnica (20)10 kV, a u slučaju potrebe mogu se prespojiti i služiti jedan drugom kao rezerva.

2.2. Postrojenje MTU u 4TS Stenjevac

Postrojenje MTU u 4TS Stenjevac sastavni je dio sustava mrežno tonfrekventnog upravljanja Elektre Zagreb i upravlja se iz centralne automatike instalirane u dispečerskom centru Elektre Zagreb. Nadzorno-upravljačka jedinica u 4TS Stenjevac povezana je s centralnom automatikom telekomunikacijskim vezama.

Energetski dio postrojenja MTU čine dvije grupe statičko frekventnih pretvarača i dvije grupe veznih filtara. Vezni filtar omogućuje učinkovit prijenos energije signala statičkog pretvarača u distributivnu mrežu i istovremeno štiti sam statički pretvarač od nepoželjnih pojava iz mreže. Sastoji se od niskonaponskih kondenzatora, veznog transformatora i visokonaponskih kondenzatora. Statički pretvarači vezani su na (20)10 kV sabirnice preko veznih filtara i zasebnih vodnih polja.

Niskonaponski kondenzatori sastoje se od tri paralelna bloka i svakom je dodan otpornik za pražnjenje. Vezni transformatori su zračni s vrlo velikim rasipanjem (faktor sprege $k=0.14$) i zaliveni su umjetnom masom »araldit«. Svaki namot sastoji se od dva međusobno neovisna pomična dijela kako bi se promjenom induktiviteta moglo precizno ugoditi karakteristike veznog filtra. Visokonaponski kondenzatori ugrađeni su na metalno kućište postavljeno na potporne izolatore.

Blok-shema veznog filtra u trafostanici 4TS Stenjevac i svi karakteristični tehnički podaci dani su na slici 1.

Nazivni podaci za vezni filtar u 4TS 21 STENJEVAC

$L_1 = 1{,}767$ mH
$L_2 = 31$ mH
$I_1 = 150$ A
$I_2 = 103$ A
$I_{50} = 18$ A
$Q_1 = 30$
$Q_2 = 60$
$C_1 = 120$ µF
$C_2 = 10$ µF
$F = 283\ 1/3$ Hz

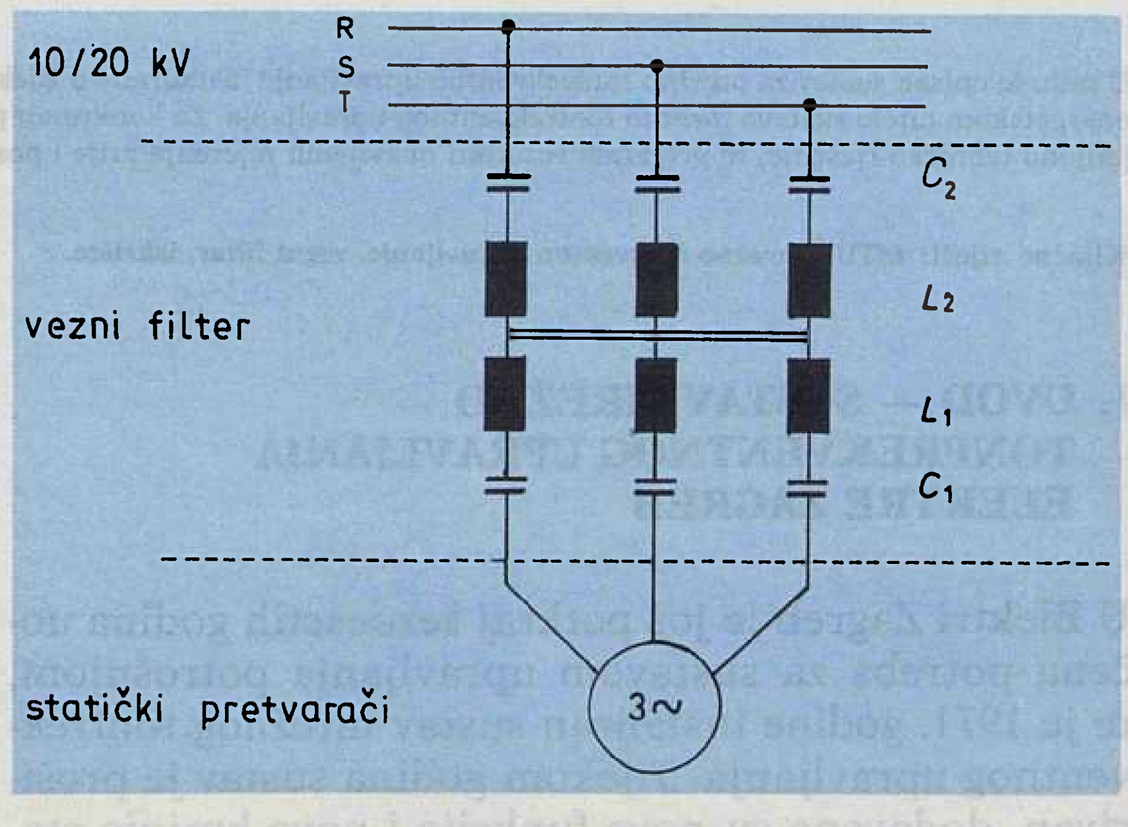
Proračunska struja 50 Hz sekundarnog kruga:

(uz R_2 2 Ω)

$$I_{50} = \frac{U_{50}}{|Z\,50|}\ 18{,}71\ \text{A}$$

Prema podacima L&G transformator podnosi +4% preopterećenja, tj:

$$I_{\text{eff}} = 19{,}40\ \text{A}$$



Slika 1.

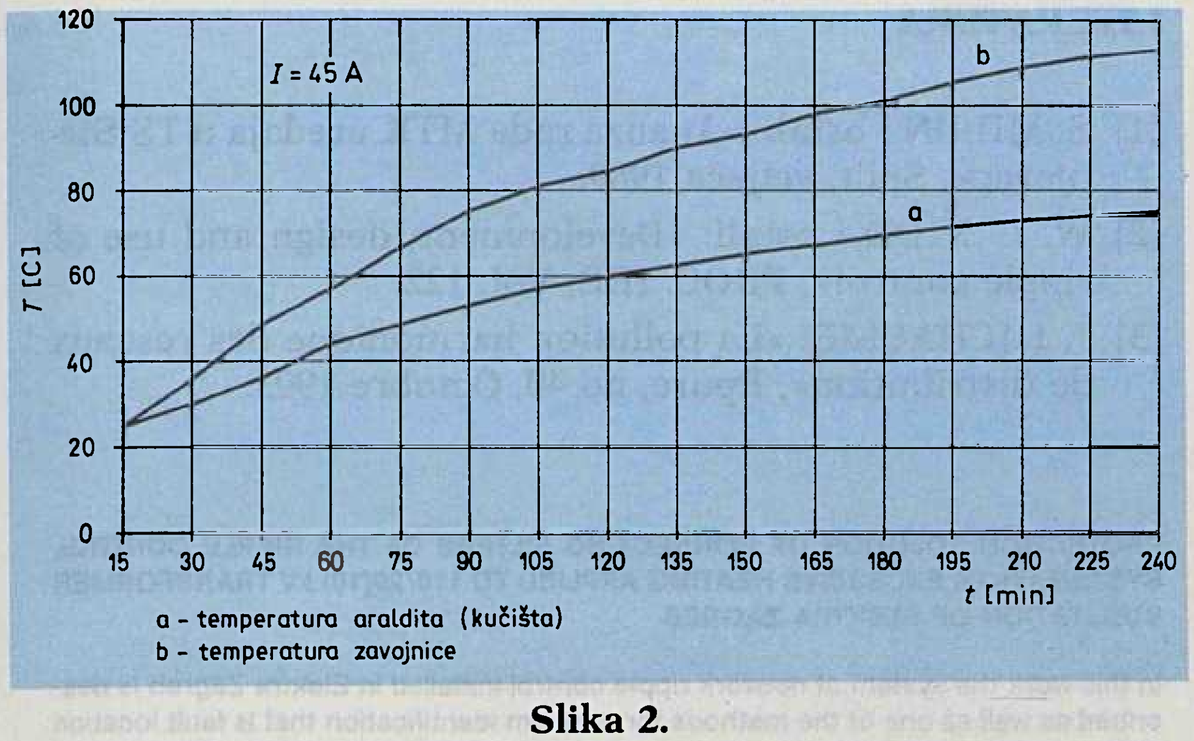
3. IDENTIFIKACIJA PROBLEMA

Intenzivnim praćenjem promjena pogonskih veličina tijekom eksploatacije (opterećenje, temperatura, razina mrežno tonfrekventnog signala i drugi) zaključili smo da se vezni filtri pretjerano zagrijavaju. Dodatno, popratna manifestacija jednog od ispada bila je rasprskavanje veznog transformatora. Zbog toga smo pristupili snimanju karakteristika veznog filtra i svih veličina za koje smo smatrali da mogu utjecati, izravno ili posredno, na njihovo zagrijavanje.

3.1. Snimanje karakteristika zagrijavanja veznih transformatora

Karakteristika zagrijavanja veznih transformatora snimljena je uz prisilno povećanje struje kroz vezni transformator. Sukladno raspoloživom instrumentariju odlučili smo snimiti karakteristiku zagrijavanja uz trajnu struju od 45 ampera. Pri tome smo mjerili temperaturu transformatora i temperaturu u zavojnici tijekom 240 minuta. Snimanje karakteristike zagrijavanja obavljeno je u samoj trafostanici kako bi se postigli isti mikroklimatski uvjeti kao u stvarnom pogonu.

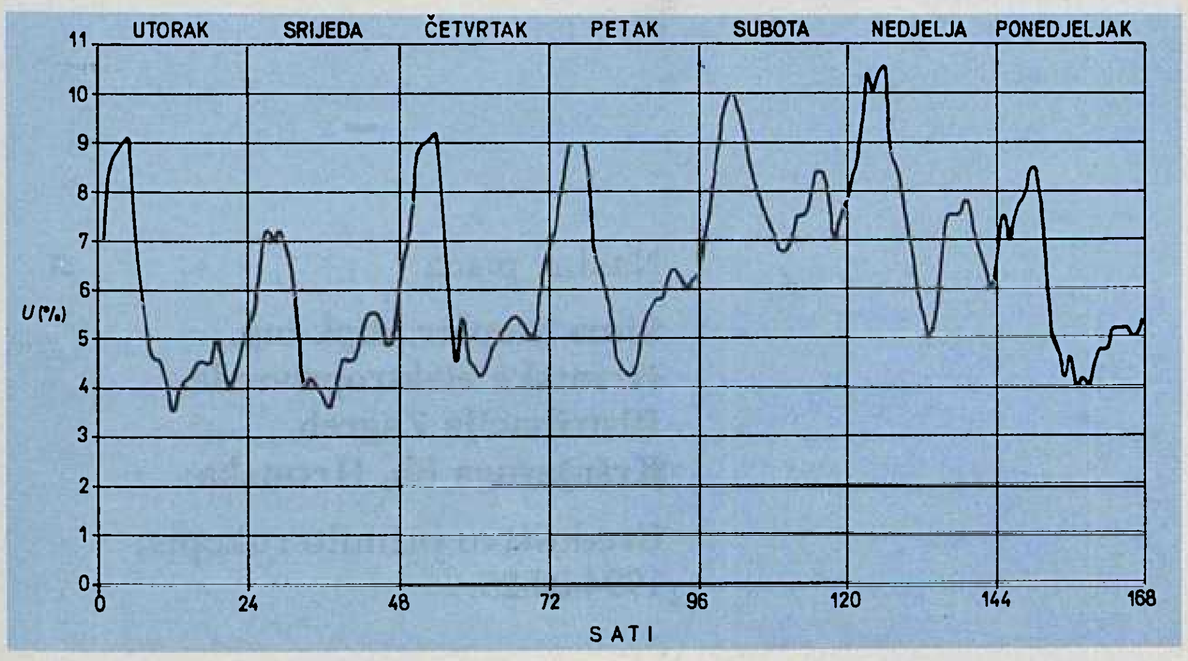
Rezultati mjerenja prikazani su na slici 2.



Slika 2.

3.2. Mjerenje harmonika

Pretpostavili smo na temelju iskustvenih podataka i podataka iz literature da bi mogući uzrok povećanja struje kroz vezni filtar mogla biti prisutnost harmonika u mreži. Obavljena su mjerenja struje i napona za osnovni, peti, šesti i sedmi harmonik. Rezultati mjerenja pokazuju neravnomjernu prisutnost harmonika u sve tri faze, kao i veliku ovisnost o opterećenju trafostanice. Najizražajnija je prisutnost petog harmonika.



Slika 3.

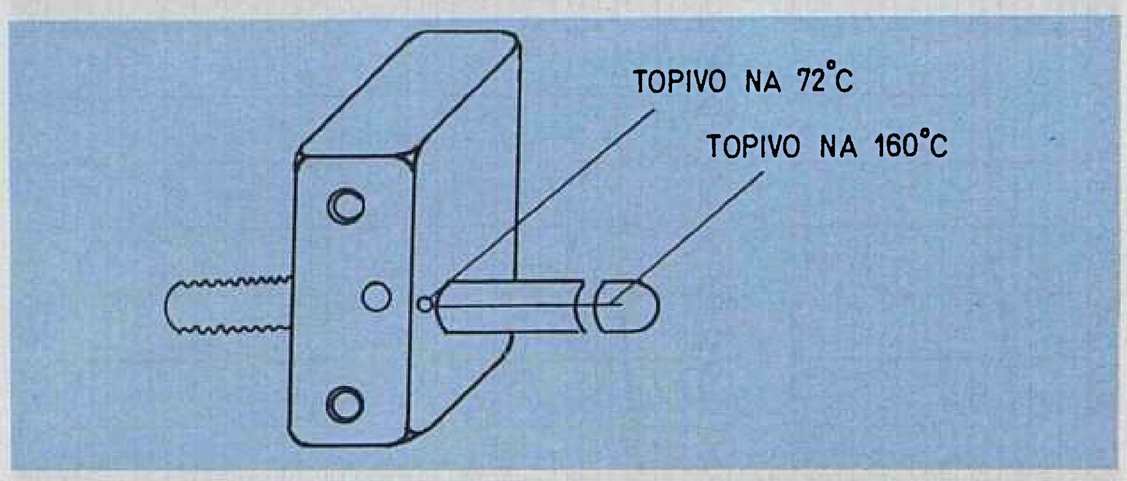
Na slici 3. prikazani su rezultati mjerenja napona petog harmonika tijekom tjedan dana na srednjonaponskoj razini u fazi R.

4. OPIS PRIMIJENJENOG RJEŠENJA ZAŠTITE VEZNOG FILTRA

Na temelju dobivenih rezultata procijenili smo da nije moguće bez dodatne zaštite pustiti postrojenje u trajni sigurni pogon.

Postojeća zaštita veznog filtra izvedena je kao prenaponska zaštita pomoću iskrišta koja su ugrađena na izvodima zavojnice veznih transformatora. Iskrišta su podešena tako da se u slučaju pojave prenapona i zagrijavanja vrhova iskrišta više od 160 °C, rastali »lemno« mjesto na iskrištu. Posljedično aktivira se opruga i vrhovi iskrišta se dodirnu te kratko spoje zavojnicu transformatora.

Modifikacija zaštite veznog filtra zasniva se na istom načelu kao i postojeća. Mehanizam prorade iskrišta dodatno je povezan na još jednu točku na kućištu veznog transformatora. Pri tome je u potpunosti zadržana i u funkciji postojeća prenaponska zaštita. Zapravo, postojećoj prenaponskoj zaštiti dodana je paralelna zaštita od prekomjernog zagrijavanja veznog transformatora. Temeljem izmjerenih vrijednosti (dijagram na slici 2) za temperaturu prorade paralelne zaštite odabrano je 72 °C. Naime, pri temperaturi zavojnice od 105 °C kućište transformatora zagrije se na 72 °C. Pri postizanju granične temperature kućišta transformatora (72 °C) aktivira se opruga u iskrištu i ono obavi svoju zaštitnu funkciju na isti način kao i u slučaju pojave prenapona. Na slici 4. prikazano je modificirano iskrište.



Slika 4.

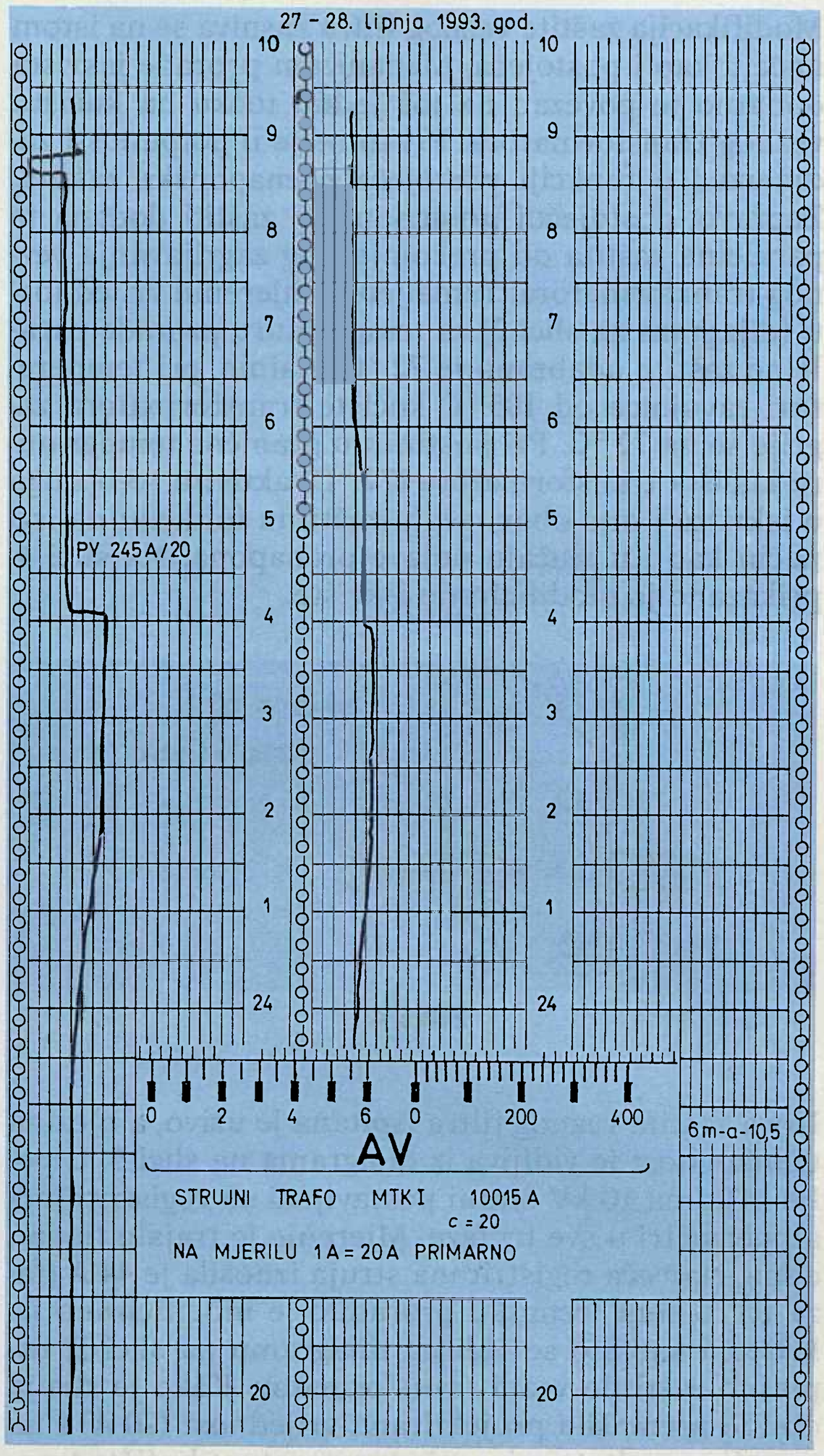
Nova zaštita veznog filtra ispitana je uživo, a njezina učinkovitost je vidljiva iz dijagrama na slici 5. U polje MTU na 10 kV strani postavljeni su registrirajući ampermetri u sve tri faze. Mjerenje je trajalo tjedan dana. Najveća registrirana struja iznosila je 44 A (faza R). U tom trenutku proradilo je modificirano iskrište, i kao što se vidi na dijagramu na slici 5, uspješno zaštitilo vezni transformator. Kako je struja obilno premašila projektiranu vrijednost (20 A) i na temelju rezultata mjerenja temperature kućišta transformatora ovisno o veličini struje i njenom trajanju zaključujemo da je paralelna zaštita proradila upravo zbog zagrijavanja kućišta na 72 °C.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju obavljenih mjerenja na postrojenju MTU u trafostanici 4TS Stenjevac utvrđena je i dokazana međusobna ovisnost opterećenja energetskih transformatora, struje kroz vezni filtar, zagrijavanje veznog filtara i intenzitet harmonika u mreži. Izmjerene vrijednosti upućuju na činjenicu da je uzrok razaranja veznih transformatora prevelika struja kroz vezni filtar, a što je posljedica povećanog iznosa petog, šestog i sedmog harmonika.

Ugradnjom modificiranog iskrišta osigurana je zaštita veznih filtara, te je omogućen trajni pogon postrojenja MTU u trafostanici 4TS Stenjevac.

Potrebno je napomeniti da ovakvo rješenje ne rješava osnovni problem. Osnovni problem i nadalje ostaje povećani iznos petog, šestog i sedmog harmonika koji se treba i dalje istraživati.



Slika 5.

LITERATURA

[1] S. MILUN i ostali: »Analiza rada MTK uređaja u TS Stenjevac«, Split, veljača 1989.

[2] W. L. KIDD i ostali: »Development, design and use of ripple control«, PROC. IEE, Vol. 122.

[3] J. LACHAUME: »La pollution harmonique des reseaux de distribution«, Epure, no 40, Octobre 1993.

PROTECTION SOLUTION OF CONNECTING FILTERS OF THE RIPPLE CONTROL SYSTEM FROM EXCESSIVE HEATING APPLIED TO 110/20(10) kV TRANSFORMER SUBSTATION OF ELEKTRA ZAGREB

In this work the system of network ripple control installed in Elektra Zagreb is described as well as one of the methods for problem identification that is fault location in the energy part of the network ripple control system. For a real problem of connecting filter heating in the 4TS Stenjevac transformer substation, applied technical solution is described and the results of measurement done before and after the installation of a new protection element are presented (modified standard protective gap).

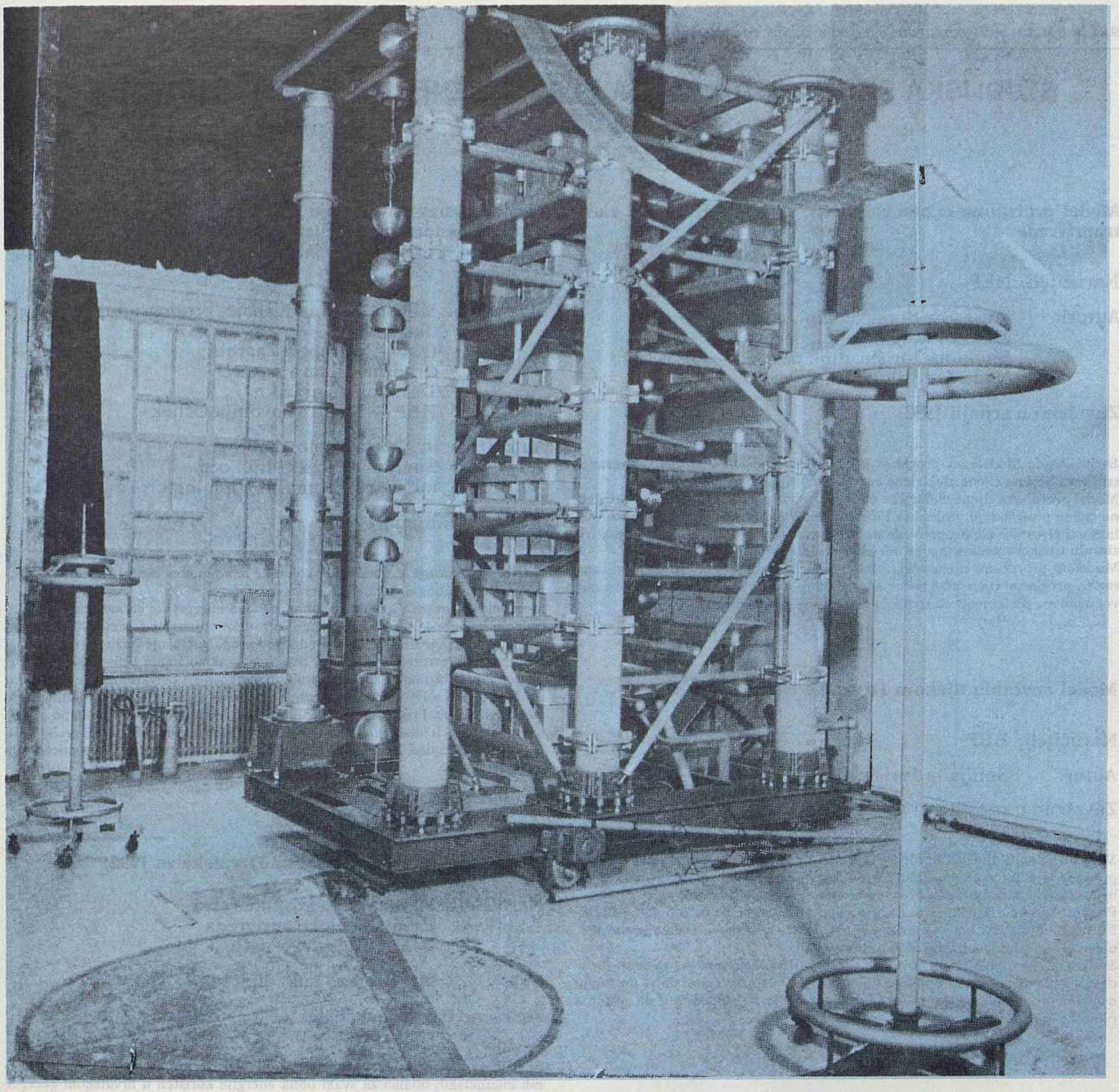
DIE LÖSUNG DES KOPPLUNGSFILTER-ÜBERHITZUNGSCHUTZES EINES TONFREQUENZ-NETZSTEUERUNGSYSTEMS ANGEWENDET IM UMSPANNWERK 110/(20)10 kV DER »ELEKTRA«, ZAGREB

In diesem Fachartikel ist sowohl ein in der »Elektra«, Zagreb instaliertes Tonfrequenz-Netzsteuerungsystem, als auch eine Methode der Fehlerortbestimmung im energetischen Teil dieses Systems beschrieben.
An einem reelen Fall der Überhitzung von Kopplungsfiltern im Umspannwerk »Stenjevec« ist die angewendete technische Lösung beschrieben und die Ergebnisse durchgeführter Messungen vor und nach dem Einbau des neuen Schutzgliedes (einer angepassten Standardfunkenstrecke) dagestellt.

Naslov pisca:

Šime Stopfer, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Distribucija Zagreb,
Kršnjavoga bb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-04-25.



RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU I ENERGETIKU U 1993. GODINI

Institut za elektroprivredu i energetiku u Zagrebu osnovan je da bi znanstveno obrađivao probleme razvoja elektroprivrede i ostale energetike, i u tom području djeluje već četrdeset godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nositeljem obrade važnih problema hrvatske elektroprivrede i energetike uopće. Posebno valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja energetskih sustava uspoređivanjem vrijednosti elektrana, stalan rad na studiji perspektivnog razvoja mreže visokog i najvišeg napona, te rad na analizi potrošnje i drugim problemima razvoja razdjelnih mreža.

Osim rada na užoj problematici razvoja elektroenergetskog sustava, razvio se rad na tehnološkim elementima termoenergetike i u tehnici visokog napona. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u Hrvatskoj. Posljednjih godina ubrzano se razvija i studij nuklearne energetike.

Suradnici Instituta također su i priznati stručnjaci izvan Instituta, među kojima je i nekoliko istaknutih sveučilišnih profesora.

Znanstvenoistraživački rad se obavlja, prema unutarnjoj organizaciji, u nekoliko posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokružen djelokrug rada:

Studijska radna jedinica za elektroenergetske i energetske sustave
Studijska radna jedinica za distribucijske mreže
Studijska radna jedinica za hidrotehničke sustave
Zavod za visoki napon i prijenosne mreže.

U daljem tekstu prikazani su važniji radovi iz djelovanja tih grupa u 1993. godini.

Energija, god. 43 (1994) 4, 245 – 253

STUDIJSKA RADNA JEDINICA ZA ELEKTROENERGETSKE I ENERGETSKE SUSTAVE

Model proračuna cijene električne energije Hrvatske elektroprivrede

Naručitelj: HEP

Autori: mr. Luka Staničić, dipl. oec.
Marijan Magdić, dipl. oec.
Smiljana Jurišić, dipl. oec.
Nada Jandrilović, dipl. oec.

Završeno u srpnju 1993.

Svrha izrade Modela za proračun cijene električne energije jest definiranje troškova kojima cijene električne energije moraju odgovarati.
Model proračuna cijene električne energije sadrži postupak proračuna prosječne cijene proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije osnovne djelatnosti Hrvatske elektroprivrede na načelima standardnih odnosno objektiviziranih troškova poslovanja za određeno razdoblje.
Modelom proračuna cijene električne energije utvrđuje se i proračunava ona razina prosječne cijene električne energije koja osigurava sredstva za rad i razvoj osnovne djelatnosti elektroenergetskog sustava Hrvatske.

Model novčanih tijekova Hrvatske elektroprivrede

Naručitelj: HEP

Autor: Smiljana Jurišić, dipl. oec.

Završeno u prosincu 1993.

Model novčanih tijekova ili MODEL preljeva i odljeva novca Hrvatske elektroprivrede izrađen je po **direktnoj metodi** koja omogućuje uvid u glavne skupine bruto novčanih primitaka i bruto novčanih izdataka elektroprivrede.
Prema MRS-ima (Međunarodni računovodstveni standardi), koji se u MODELU primjenjuju, svi novčani primici i izdaci klasificirani su prema **poslovnim, ulagateljskim i financijskim aktivnostima.**
Svrha i cilj izradbe Modela novčanih tijekova HEP-a jest brzo i cijelovito sagledavanje planova **priljeva i odljeva** novca u HEP-u, koje pomaže da se upoznaju osnovni problemi poslovanja i odrede mjere koje treba poduzeti da se održi platežna sposobnost sustava.

Prosječna proizvodna cijena električne energije elektrana Hrvatske elektroprivrede

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: mr. Luka Staničić, dipl. oec.

Završeno u prosincu 1993.

U studiji su za svaku elektranu Hrvatske elektroprivrede obrađeni stalni i promjenljivi troškovi, a svaka je od ovih kategorija troškova raščlanjena prema spomenutoj klasifikaciji troškova.
Budući da je pitanje načina utvrđivanja realne vrijednosti imovine Hrvatske elektroprivrede još uvijek otvoreno, kao osnovni ulazni parametar za proračun proizvodne cijene električne energije u elektranama korištena je:

- objektivizirana nabavna vrijednost stalnih sredstava postojećih proizvodnih elektroenergetskih objekata (objektivizirana nabavna vrijednost kapitalnih dobara u elektroprivredi određena je prema objektiviziranim investicijama za svaki tip elektrane) i
- knjigovodstvena nabavna vrijednost stalnih sredstava iskazana u bruto bilanci financijskog knjigovodstva Hrvatske elektroprivrede sa stanjem na dan 31. 12. 1993.

Opseg: 77 stranica, 55 tablica, 6 slika.

Tarifni sustav za prodaju prirodnog plina u distribuciji s principima formiranja cijena plina za direktne industrijske potrošače, proizvodnju električne energije i sirovinsku potrošnju

Naručitelji: Ministarstvo industrije, brodogradnje i energetike Zagreb
INA — Naftaplin Zagreb
Gradska plinara Zagreb
Termoplin Varaždin
HEP — Elektroslavonija Osijek

Autori: dr. Jakša Topić, dipl. oec.
Smiljana Jurišić, dipl. oec.
mr. Davor Tomašić, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1993.

U radu se prikazuje metodologija kojom je izrađen novi tarifni sustav za prodaju prirodnog plina u Republici Hrvatskoj.
Metodološke osnove izradbe tarifnog sustava energetske su karakteristike utvrđenih kategorija i grupa potrošnje (sezonske, mjesečne i dnevne oscilacije) i troškovi koje pojedine kategorije odnosno grupe potrošnje izazivaju u cjelokupnom procesu proizvodnje, uvoza, transporta, skladištenja i distribucije plina. Na temelju podataka o karakteristikama potrošnje i ostvarenim troškovima u razdoblju 1988 – 1990. god. utvrđeni su odnosi cijena među kategorijama i grupama potrošnje. Prikazane su i strukturirane cijene prirodnog plina po grupama potrošnje u distribucijskim poduzećima Gradska plinara Zagreb, HEP – Distribucija plina Osijek, Termoplin Varaždin, Komunalac Koprivnica i Komunal Čakovec.

Opseg: 123 stranice, 79 tablica, 44 slike.

Energetska bilanca Republike Hrvatske za 1992.

Naručitelji: Ministarstvo gospodarstva
Hrvatska elektroprivreda
INA — Industrija nafte

Autor: mr. Branko Vuk, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1993.

Analizira se energetski sustav Hrvatske u 1992. godini. Polazi se od pojedinačnih energetskih bilanci za svaki oblik energije korišten u hrvatskom energetskom sustavu. Nakon toga analizirana je ukupna potrošnja energije, proizvodnja transformiranih oblika energije, energija za energetske transformacije, energija za pogon energetskih postrojenja kao i neposredna potrošnja energije u industriji, prometu i općoj potrošnji. Osim stanja u 1992. godini, načinjena je povezanost s razvojem u prošlosti do 1988. godine.

Opseg: 96 stranica, 50 tablica, 43 slike.

Cijena električne energije u malim hidroelektranama

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. oec.

Završeno u srpnju 1993.

U studiji su, na temelju energetsko-ekonomskog doprinosa nekih odabranih malih elektrana, iz publikacije Male hidroelektrane (HEP 1993), proračunate cijene električne energije. Proračunate cijene električne energije odabranih malih hidroelektrana poslužile su za predlaganje veličine cijene električne energije kao otkupne cijene koju bi HEP plaćao svim malim hidroelektranama do 5 MW snage. S druge strane, proračunane su i cijene električne energije odabranih malih hidroelektrana sa stajališta vlasnika, računajući pri tome i profitabilnost na uložena sredstva (kapital).
U studiji je, kao inozemno iskustvo, naveden Zakon o određivanju otkupne cijene električne energije iz malih elektrana u Njemačkoj.

Opseg: 27 stranica, prilog 45 stranica, 3 slike, 19 tablica.

Energija, god. 43 (1994) 4, 245 – 253

Energetsko-ekonomska opravdanost revitalizacije TE Plomin 1

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. oec.
Neda Komerički, ek.

Završeno u svibnju 1993.

U studiji se analizira postojeće stanje i raspoloživost TE Plomin 1. Vezano za postojeće stanje analizira se potrebna revitalizacija TE Plomin 1, zatim se, nakon potrebne revitalizacije, analizira energetsko-ekonomski doprinos TE Plomin 1 elektroenergetskom sustavu Hrvatske, te zaključuje o opravdanosti, odnosno navode se okolnosti u kojima je revitalizacija TE Plomin 1 opravdana. Osim energetsko-ekonomskog doprinosa, revitalizacija TE Plomin 1 analizira se i s financijskog stajališta, gdje je na temelju vrijednosti revitalizacije, uvjeta financiranja revitalizacije proračunana cijena električne energije.

Opseg: 44 stranice, 17 tablica, 3 slike.

Energetsko-ekonomska analiza proizvodnog parka Plomin

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Damir Pešut, dipl. ing.
mr. Slavko Alerić, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. oec.

U studiji se analiziraju mogućnosti, odnosno varijante izgradnje proizvodnog parka Plomin: revitalizacija TE Plomin 1, završetak izgradnje TE Plomin 2 i izgradnja TE Plomin 3. Navode se potrebne investicije za realizaciju proizvodnog parka Plomin, zatim se energetsko-ekonomski analizira doprinos pojedine varijante (kombinacije) parka Plomin i predlaže, sa stajališta elektroenergetskog sustava Hrvatske, najpovoljnije rješenje.

Opseg: 11 stranica, 7 tablica.

STUDIJSKA RADNA JEDINICA ZA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Programski paket za tehnoekonomsku analizu konfiguracija srednjonaponskih distribucijskih mreža (PRM)

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Željko Rajić, dipl. ing.
Lahorko Wagmann, dipl. ing.

Inicijalni programski paket za tehnoekonomsku analizu konfiguracija srednjonaponskih razdjelnih mreža proširen je i poboljšan u metodološkom i korisničkom smislu te se može primjenjivati i za varijantno planiranje srednjonaponskih razdjelnih mreža. Obuhvaćeni su vodovi i na 35 kV razini te svi oblici konfiguracija mreže. Grafička podrška i baza podataka dopunjeni su nizom opcija realiziranih na način da budu korisnički ugodne. Osnovne upute za rad su dopunjene koliko je potrebno.

Opseg: 58 stranica, 25 slika, 10 tablica i softverski paket.

Uvođenje napona 20 kV u distribucijsku mrežu Hrvatske s posebnim osvrtom na sanaciju ratom oštećenih postrojenja

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr. Rihard Schenner, dipl. ing.

Suradnici: Krešimir Mehičić, ing.
Duda Meštrović, el. tehn.

U dosadašnjim studijama Instituta za elektroprivredu i energetiku utvrđena je potreba za usmjeravanjem budućeg razvoja mreže prema uvođenju naponskog nivoa 20 kV. Pri tome je osnovni problem način provedbe izloženog zadatka na gospodarski opravdan način. Zbog toga je potaknuta izradba ove studije, čiji je osnovni cilj bio da ponudi prihvatljivu zajedničku koncepciju daljnjeg razvoja srednjonaponske mreže u Hrvatskoj.
S obzirom na ratna razaranja u distribucijskim mrežama Hrvatske studija je trebala dati odgovor na pitanja kako uklopiti obnovu takvih mreža u dugoročna koncepcijska rješenja.
Studija je podijeljena na dva dijela:

— u prvom dijelu izložene su metodološke osnove s prijedlozima zajedničke koncepcije razvoja srednjonaponske mreže u Hrvatskoj
— u drugom dijelu dane su konkretne smjernice za razvoj srednjonaponskih mreža u Hrvatskoj u razdoblju 1992 – 2010. g.

Opseg: prvi dio — 78 stranica, drugi dio — 255 stranica.

Problematika kompenzacije jalove snage i regulacije napona u elektroenergetskom sustavu Hrvatske elektroprivrede

I. dio: *Kompenzacija jalove snage u mreži distribucije*

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Željko Rajić, dipl. ing.
Nikola Vagić, dipl. ing. (»Elektroprojekt«, Zagreb)

Koordinator: dr. Jakša Topić, dipl. ing.

Upozoreno je na značenje i opravdanost provođenja kompenzacije jalove snage u distributivnoj mreži. Ukratko su opisani osnovni uzroci i posljedice tokova jalove snage u mreži te tehničke mogućnosti i efekti njezine kompenzacije. Prikazana su iskustva nekih inozemnih elektroprivreda. Dan je pregled aktualnog stanja tokova jalove snage i kompenzacije u razdjelnoj mreži Hrvatske, prezentirane značajke dosadašnje prakse te istaknuta nužnost kontinuiranog rada na ovoj problematici.
Da bi se ostvarile pretpostavke za uklanjanje nedostataka u dosadašnjem radu i omogućilo daljnje uspješno provođenje kompenzacije jalove snage, treba unaprijediti sve aktivnosti vezane za nju. U tu je svrhu zamišljen makroprojekt kompenzacije jalove snage čija bi realizacija trebala pružiti cjelovitu podlogu za rješenje razmatranog problema, a ovom studijom je definiran njegov okvirni sadržaj.

Opseg: 74 stranice, 16 slika, 13 tablica.

Analiza rješenja napajanja gradova Osijeka, Rijeke, Splita i Pule električnom energijom

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Rihard Schenner, dipl. ing.

U studiji su prikazana, grubo provjerena i proanalizirana rješenja napajanja većih gradova Hrvatske električnom energijom. Cilj studije bio je definirati probleme i nastojati ih riješiti, jer je nakon takvih radova potrebno odrediti lokacije za transformatorske stanice 110/20 kV i trase za kabelske vodove i dalekovode 110 kV. »Elektra« Zagreb je to riješila i zato rješenje napajanja grada Zagreba nije analizirano u studiji. Međutim, korištena su iskustva tog rješenja.
Autor je stalno surađivao s razvojnim službama distributivnih poduzeća spomenutih gradova i studija je zapravo zajednički rad.

Energija, god. 43 (1994) 4, 245 – 253

Kao rješenje predlaže se za sve gradove transformacija 110/20 kV. Danas je najteža situacija u napajanju grada Splita, gdje se znatno kasni s izgradnjom. U Rijeci su opterećenja na gornjoj granici dopuštenog, pa je potrebno ubrzati aktivnosti. Osijek je pretrpio ratna razaranja, ali inače mreža zadovoljava. Na području Pule mreža zadovoljava.

Opseg: 82 stranice.

Tehničko-informacijski sustav (TIS) distribucijske djelatnosti Hrvatske

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
Rudolf Šimunec, el. tehn.

Nastavak radova na TIS-u označava više paralelnih aktivnosti, kao što su reorganizacije postojećih podataka prema novoj strukturi, obuka za rad s razvijenom programskom podrškom, instalacije BP i programske podrške na računalskim platformama u sjedištima distributivnih područja te radovi na idejnom rješenju organizacije podataka za elemente postrojenja koji nisu bili obuhvaćeni prvom fazom TIS-a.
Težište aktivnosti bilo je na izradi idejnog rješenja organizacije podataka za elemente postrojenja koji nisu bili obuhvaćeni prvom fazom TIS-a. To su regulacijske sklopke trafoa, mjerni transformatori, releji, postrojenja za uzemljenje, kompenzacija, MTK, uređaji prenaponske zaštite, aku-baterije, ispravljači, posebni uređaji, uzemljivači, gromobrani, izolatori i stupovi vodova.

Opseg: 90 stranica sa slikama i tablicama.

Alternativni način uzemljenja zvjezdišta u uvjetima visokog specifičnog otpora tla

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
dr. Ivo Hrs, dipl. ing.
Vesna Šimunović, dipl. ing.

U studiji je obavljena analiza postojeće koncepcije uzemljenja zvjezdišta mreža 10(20) kV. Potvrđena je spoznaja o ograničenim mogućnostima za provedbu uzemljenja zvjezdišta navedenih mreža u uvjetima visokog specifičnog otpora tla. Zbog toga su navedena poznata svjetska rješenja o ovoj problematici. U završnom dijelu studije predloženo je alternativno rješenje za provedbu uzemljenja zvjezdišta u teškim uvjetima, koje se temelji na uporabi kompenzacijske prigušnice i paralelno ugrađenog otpornika, male nazivne struje. Time se postiže sinteza dobrih značajki danas poznatih sustava za provedbu uzemljenja zvjezdišta.
Kao poseban dodatak izrađen je prijedlog odgovarajućih tipskih rješenja.

Opseg: 54 stranice.

Prenaponska zaštita niskonaponskih mreža

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: dr. M. Puharić, dipl. ing.
V. Šimunović, dipl. ing.

U studiji je sagledana postojeća situacija u Hrvatskoj u vezi s prenaponskom zaštitom niskonaponskih mreža. Analizirani su naši propisi, te su uspoređeni s regulativom i praksom u nekim razvijenim zemljama. Pomoću programa EMTP (Electromagnetic transients program) izvršene su simulacije za tipične konfiguracije niskonaponskih mreža. Na temelju tih rezultata te uzimanje u obzir svjetske prakse, dani su prijedlozi za izmjenu propisa u Hrvatskoj. U elaboratu je također dan osvrt na uvođenje novih metaloksidnih odvodnika prenapona. Uzimajući u obzir činjenicu da je cijena ovih odvodnika na tržištu sve niža, pokazuje se opravdanost njihova uvođenja u niskonaponske mreže i instalacije.

Opseg: 50 stranica, 15 tablica, 16 slika.

Izbor i tipizacija optimalnih parametara energetskih regulacijskih transformatora

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.

Ova studija nastavak je studije o izboru i tipizaciji energetskih distributivnih transformatora. Razlika u izboru i tipizaciji regulacijskih i distributivnih energetskih transformatora najvećim je dijelom u opremi. Osim toga, regulacijski se transformatori dobrim dijelom pojavljuju u tronamotnoj izvedbi, što daje dodatne zahtjeve na ekonomičnost.
U studiji su razmotrene cijene gubitaka energije i određene kapitalizirane cijene gubitaka u transformatoru. Optimiranjem po formuli kapitalizacije u suradnji s proizvođačem nađena su rješenja s minimalnim ukupnim troškovima.
Sveukupni troškovi optimiranih i kataloških izvedbi transformatora uspoređeni su pomoću dvije metode:

— metodom kapitaliziranih troškova i
— metodom kumulativnih godišnjih aktualiziranih troškova.

Rješenja su zatim podvrgnuta analizi osjetljivosti, kojom je provjeren utjecaj pojedinih energetskih i gospodarskih parametara.
U Prilogu je, kao posebna cjelina, priložena (tender dokumentacija) »Specifikacija zahtjeva za regulacijske uljne transformatore od 4 MVA do 16 MVA napona 110 kV«, kao i analogna »Specifikacija zahtjeva... od 20 do 63 MVA napona 110 kV«.

Opseg: 78 stranica s tablicama i dijagramima te 2 priloga (»Specifikacije zahtjeva...«).

Unaprijeđeni programski paket s grafičkom podrškom za projektiranje, proračun i vođenje pogona niskonaponskih mreža

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Ernest Mihalek, dipl. ing.
Lahorko Wagmann, dipl. ing.

Opisana je metodologija i razvijen programski paket IENNM za proračun i provjeru niskonaponskih mreža.
Programski paket obuhvaća primjerenu bazu podataka koja omogućuje arhiviranje analiziranih konfiguracija mreže te izradbu različitih pregleda i izvještaja o njima, a podržan je odgovarajućom grafikom realiziranom u AUTOCAD-u 11. Uz prikaz korištene metodologije na kojoj se zasniva, za programski paket IENNM napisane su i upute za rad, a njegova primjena ilustrirana na realnoj distributivnoj niskonaponskoj mreži.
Program je temeljen na uputama za projektiranje niskonaponskih mreža i u potpunosti obuhvaća preporuke koje su u toj studiji navedene.
Projektiranje niskonaponskih mreža vezano je s velikim brojem potrebnih ulaznih podataka o mreži, topologiji, kućanstvima i ostalim potrošačima. Za kvalitetno projektiranje potreban je niz točnih ulaznih podataka, kao i kvalitetna kontrola kriterija projektiranja niskonaponske mreže. Računalo nam nudi brzu kontrolu takvih kriterija te mogućnost ispravljanja unesenih podataka i ponovnu kontrolu kriterija.
Ovim programom nudi se alternativa pojednostavnjenim modelima proračuna niskonaponskih mreža u smislu da je moguće topologiju i podatke o mreži i potrošačima unijeti detaljno prema stvarnoj situaciji do krajnjeg potrošača. U isto vrijeme nije isključeno da se za brze analize koriste i pojednostavnjeni modeli proračuna.

Opseg: programski paket s uputama od 42 stranice.

Idejno rješenje optimalnog napajanja električnom energijom objekata autoceste Zagreb—Macelj na dionici Krapina—Macelj

Naručitelj: Hrvatske ceste, Zagreb
Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.
Krešimir Mehičić, inž.

Suradnici: dr. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
mr. Rihard Schenner, dipl. ing.
mr. Željko Rajić, dipl. ing.
Lahorko Wagmann, dipl. ing.

Specifičnost je dionice autoceste Krapina—Macelj u tome što cesta prolazi kroz masiv Macelja, i to nizom od 7 tunela i nekoliko vijadukata. Tuneli zahtijevaju adekvatnu rasvjetu prilagođenu uvjetima prometa, zatim ventilaciju, signalizaciju i sl., što se mora osigurati s velikom pouzdanošću napajanja, osobito kod duljih tunela.

Osim spomenutoga, osnovno je pitanje kako se napajanje tunela može najbolje uklopiti u distribucijsku mrežu a da budu zadovoljeni potrošači i s druge (distribucijske) strane. Razmotren je stoga i problem razvoja potrošnje na području Krapine, kako bi se dobila cjelovita slika.

Zbog toga se u studiji najprije razmatraju mogućnosti postojeće mreže, osobito u blizini trase autoceste, a zatim postavljaju varijante nastavka napajanja kombinirane distributivne mreže i mreže autoceste. Za planiranje buduće mreže korišten je program za proračun i planiranje distributivnih mreža PRM, koji omogućuje rad s grafičkim sučeljem.
Na kraju daju se analize i proračuni kojima se pokazuje način izbora najpovoljnije varijante te rezultati proračuna u obliku tablica i slika.

Opseg: 150 stranica sa tablicama i slikama te prilogom sa 11 situacija i shema.

STUDIJSKA RADNA JEDINICA ZA HIDROTEHNIČKE SUSTAVE

Studija utjecaja HE Drenje na TE-TO Zagreb

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: Ljiljana Aleksić, dipl. ing. građ. (IEE)
i suradnici: prof. dr. S. Tedeschi, dipl. ing. građ.
prof. dr. D. Mayer, dipl. ing. građ.

Završeno u studenom 1993.

Lokacija TE-TO Zagreb nalazi se na utjecajnom području bazena HE Drenje, neposredno uz rijeku Savu. Zbog očekivanih promjena režima površinskih i podzemnih voda koje će nastati izgradnjom bazena HE Drenje u Studiji su razmotreni svi aspekti mogućih utjecaja na sigurnost rada i objekata TE-TO Zagreb, te sagledane moguće promjene i predložene potrebne mjere zaštite od nepovoljnih utjecaja koji bi se eventualno mogli javiti zbog izgradnje HE Drenje. Osim analize utjecaja HE Drenje na postojeću TE-TO Zagreb, provedena je analiza utjecaja HE Drenje na planirano proširenje TE-TO Zagreb.

Opseg: 135 stranica teksta sa slikama i 6 grafičkih priloga.

Podloge za korištenje baze podzemnih voda na području dravskih hidroelektrana

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Izradili: Irena Pavić, dipl. ing.
Nikola Šimičić, dipl. ing.

Vanjski suradnik: Mladen Đokić, dipl. ing.

U radu je prikazan sadržaj i način rukovanja relacijskom bazom podataka podzemne vode na području dravskih hidroelektrana, realizirane programskim paketom Paradox for Windows.

Opseg: 10 stranica teksta i 20 stranica tablica.

Baza hidrometeoroloških podataka za porječje Cetine

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Split

Izradili: Irena Pavić, dipl. ing.
Nikola Šimičić, dipl. ing.

Vanjski suradnik: Mladen Đokić, dipl. ing.

U radu je prikazana programska podrška za provedbu dopunskih hidroloških obrada protoka, unesenih u razvijenu relacijsku bazu hidroloških podataka za porječje Cetine. Paket programa za statističke obrade realiziran je programskim paketom Paradox za DOS.
Korištena je metodologija primijenjena pri realizaciji HIS-a za VAX.

Opseg: 30 stranica teksta, 20 tablica.

Hidrološki informacijski sustav za korištenje na računalu VAX (korisnički priručnik)

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda
Hrvatska vodoprivreda
Državni hidrometeorološki zavod

Izradili: Irena Pavić, dipl. ing.
Krešimir Plantić, dipl. ing.

U radu je prikazan način formiranja i rukovanja, te izlazni izvještaji nove, dorađene i poboljšane verzije HIS-a za računalo VAX.

Opseg: 50 stranica teksta, 50 stranica priloga.

HE Varaždin — izvješće o tehničkom promatranju u 1992. godini

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: Marijan Zelić, dipl. ing.

Suradnici: Marija Martinović, ing.
Josip Kolar, tehn.

Završeno u studenom 1993.

U elaboratu su sadržane obrade podataka tehničkog promatranja prikupljenih 1992. god. Analizirano je stanje podzemnih voda na užem i širem utjecajnom području, vertikalno i horizontalno pomicanje brane, strojarnice i nasutih građevina, hidrološke pojave, morfološke promjene u akumulaciji, derivacijskom kanalu, slapištu i »starom« koritu Drave. Osim toga, obrađena su klinometarska mjerenja, promjene količine vučenog nanosa u akumulacijskom jezeru i kvaliteta voda na dionici korištenja.
Na temelju obrada i analiza iznesena su mišljenja, zaključci i prijedlozi vezani za sigurnost, trajnost i pouzdanost građevina te njihov utjecaj na okoliš.

Opseg: 139 stranica teksta, 16 tablica, 65 slika i dijagrama te 14 priloga i nacrta.

HE Dubrava — obrada i interpretacija rezultata tehničkih promatranja u 1992. godini

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autor: Marijan Zelić, dipl. ing.

Suradnik: Marija Martinović, ing.

Završeno u ožujku 1994.

Na temelju prikupljenih podataka i mjerenja tijekom 1992. god. provedena je obrada i analiza rezultata tehničkog promatranja HE Dubrava. Analizirano je stanje podzemnih i površinskih voda, pomaci i naginjanje građevina utvrđenih

geodetskim metodama, naprezanja u temeljnom dnu, meteorološke pojave, hidrografske promjene u akumulacijskom jezeru, slapištu brane i derivacijskom kanalu te kvaliteta voda na dionici korištenja.
Na kraju su izneseni zaključci i ocjene glede sigurnosti i stabilnosti građevina te utjecaja elektrane na okoliš.

Opseg: 86 stranica teksta i tablica, 212 slika i grafičkih prikaza.

HE Varaždin — izvješće o pregledu dovodnog grla spirale i usisne cijevi agregata A i B

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb
PP Dravski sliv

Autori: Marijan Zelić, dipl. ing. građ.
Krunoslav Klak, dipl. ing. građ.

Suradnici: Đurđica Cahun, tehn.
Marija Martinović, ing.

Završeno u svibnju 1993.

Remontom agregata omogućen je ulaz u protočni dio elektrane te je proveden stručni pregled dostupnih dijelova armiranobetonske konstrukcije. Pregledani su dovodni dio, spirala i usisna cijev (aspirator i difuzor). Na temelju pregleda izveden je pregledni prikaz registriranih oštećenja, izneseno je mišljenje o stanju pregledanoga dijela konstrukcije sa zaključkom.

Opseg: 7 stranica teksta i 3 grafička prikaza.

HE Gojak — izvješće o pregledu dovodnog tunela

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: Stjepan Hršak, ing. građ.
Marijan Zelić, dipl. ing. građ.

Završeno u kolovozu 1993.

Pregled stanja dovodnog betonskog tunela HE Gojak provodi se u sklopu svakoga rementnog razdoblja elektrane. U 1993. godini s obzirom na ograničene sigurnosne razloge obavljen je djelomičan opseg pregleda uz probnu primjenu georadarskog snimanja. Izvješće sadrži osvrt na dosadašnje stanje tunela te mišljenje i zaključak o potrebi dodatnih istražnih radova.

Opseg: 7 stranica teksta s fototekom.

HE Senj — ocjena stanja elektroenergetske opreme i čelične konstrukcije rasklopišta 110 kV i 220 kV (pregled i ocjena stanja konstrukcije i AKZ)

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb
PP Primorski sliv, pogon HE Senj, Sklope

Autori: Za energetsku opremu:
Miroslav Blažičko, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Za čeličnu konstrukciju:
Marijan Zelić, dipl. ing. građ.
Stjepan Hršak, ing. građ.

Završeno u svibnju 1993.

Elaborat sadrži dva dijela:

A — elektroenergetska oprema
B — čelična konstrukcija rasklopnog postrojenja.

Dio elaborata koji se odnosi na čeličnu konstrukciju rasklopnog postrojenja sadrži rezultate pregleda stanja nosive čelične konstrukcije i pregled i provjeru parametara kvalitete antikorozivne zaštite. Na temelju utvrđenog stanja iznesene su ocjene i zaključci s prijedlozima i smjernicama daljnjih aktivnosti.

Opseg: 73 stranice, od čega se na B — čelična konstrukcija odnosi 39 stranica, 4 pregledne slike, jedne tablice i fototeke s 37 fotografija.

Konzaltinške aktivnosti — nadzor nad izvođenjem antikorozivne zaštite (AKZ) na TE Plomin 2

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: Marijan Zelić, dipl. ing. građ.
Stjepan Hršak, ing. građ.

Na gradilištu TE Plomin 2 tijekom 1993. godine, kao i u prethodnom razdoblju, obavljene su konzaltinške aktivnosti i nadzor nad izvođenjem antikorozivne zaštite. Ti radovi uključuju utvrđivanje kompletnosti dokumentacije, pripreme potrebne dokumentacije za AKZ, definiranje zahtjeva i načina sanacije AKZ i neposredni nadzor nad izvođenjem radova uz ovjeru građevinskih dnevnika i građevinske knjige za obračun izvedenih radova.
Aktivnosti se nastavljaju i u idućem razdoblju izgradnje.

Opseg: kontinuirana prisutnost na gradilištu.

Analiza režima voda i proračun energetskog doprinosa izgradnje retencije Drežničko polje na slivu HE Gojak

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: Krešimir Plantić, dipl. ing.
Danko Biondić, dipl. ing.
Marija Martinović, ing.
mr. Slavko Alerić, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1993.

Studija predstavlja nastavak istraživanja na slivu Zagorske Mrežnice, odnosno hidrološke analize sliva Drežničkog polja. Cilj izradbe studije bila je analiza režima voda u Drežničkom polju, kako bi se mogao kvantificirati energetski doprinos izgradnje retencije Drežničko polje na proizvodnju HE Gojak. U tu svrhu je u već razvijen simulacijski model otjecanja ugrađena planirana retencija. Pomoću konceptualnog hidrološkog modela SSARR (model oborina/otjecanje) izvršena je simulacija otjecanja kroz retenciju, utvrđen kapacitet ponorskih zona i identificiran režim voda za prirodno stanje. Simulacija srednje dnevnih dotoka u akumulaciju Sabljaci izvršena je za 26-godišnje razdoblje (1963 – 1988) za prirodno stanje, te za isto razdoblje i simulacija za dvije varijante otješnjenja ponorskih zona. Rezultati simuliranih dotoka poslužili su za energetski proračun doprinosa izgradnje retencije Drežničko polje na proizvodnju HE Gojak i buduću HE Lešće.

Opseg: 175 stranica, 84 tablice, 40 slika.

Razvoj sustava za hidrološko prognoziranje i upravljanje vodama na slivu HE Senj

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

Autori: Krešimir Plantić, dipl. ing.
Nikola Šimičić, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1993.

U sklopu zadatka prema planu istraživanja, a u okviru makroprojekta »Razvoj hidrometeorološkog informacijskog sustava hidroenergetskih postrojenja«, ovim radom obavljena je I. faza — Razvoj sustava za hidrološko prognoziranje i upravljanje vodama na slivu HE Senj. U tu svrhu je na osobnom računalu razvijen i primijenjen hidrološki konceptualni model ISAR PC (model oborina/otjecanje), kojim je na osnovi postojećih podloga razvijen model otjecanja za porječja rijeka Like i Gacke. Uz simulaciju dotoka, hidrološkim modelom omogućena je i izradba kratkoročnih hidroloških prognoza dotoka u akumulacije sustava. Sastavni dio elaborata su i za osnovno računalo prilagođeni programi SISTEM-HES (program koji na osnovi zatečenog stanja u sustavu, hidroloških prognoza dotoka, te plana proizvodnje, izračunava stanja u akumulacijama sustava) i program DOTOK-HES (program za bilanciranje satnih dotoka i nivoa u akumulacijama sustava ovisno o proizvodnji energije).

Opseg: 95 stranica, 4 tablice, 8 slika.

Pregled i ocjena investicijskog programa mala HE Peruča — biološki minimum

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda, Split

Energija, god. 43 (1994) 4, 245 – 253

Autori: Krešimir Plantić, dipl. ing.
mr. Mladen Petričec, dipl. ing.
Miroslav Blažičko, dipl. ing.
Marijan Magdić, dipl. ing.

Završeno u prosincu 1993.

Osnovna namjena »MHE Peruča — biološki minimum« je energetsko korištenje hidropotencijala biološkog minimuma koji se ispušta kroz temeljni ispust za vrijeme dok agregati HE Peruča ne rade. Pregled i ocjena Investicijskog programa obavljene su na osnovi revidiranih studija i projekata, te u skladu sa zakonskim propisima, kriterijima i pravilima struke, te praksom u HEP-u. Stručnim pregledom ustanovljeno je da su osnovna koncepcija izabranih parametara, tehnička rješenja, plan organizacije građenja, kao i troškovi, financijska analiza i analiza osjetljivosti izrađeni stručno, korektno i u skladu s propisom, zahtjevima struke i elektroprivrednom praksom. Uz manje sugestije revidenti predlažu usvajanje Investicijskog programa »MHE Peruča — biološki minimum«.

Opseg: 36 stranica, 6 tablica.

Hidrološko-hidraulička istraživanja režima rijeke Save od ušća Save Dolinke i Save Bohinjke do ušća Kupe

II. faza: *Razvoj, kalibracija i verifikacija matematičkog simulacijskog modela za transformaciju velikih vodnih valova u postojećem stanju izgrađenosti planiranog hidrosustava na području Srednjeg Posavlja*

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: Danko Biondić, dipl. ing.

Završeno u siječnju 1993.

Izgradnja planiranih hidroenergetskih objekata na dionici rijeke Save u Sloveniji i sjeverozapadnom dijelu Hrvatske uzrokovat će znatnije promjene u vodnom režimu pri nailasku velikih voda. Izvedeni nasipi uz akumulacijske bazene sprečavat će razlijevanje vodne mase povodnja u zaobalje, te će stoga nizvodni hidrogrami biti znatno strmiji s povećanim maksimalnim protocima. Pri planiranju razvoja fizičkog i upravljačkoga dijela budućega hidroenergetskoga sustava na dionici rijeke Save od državne granice sa susjednom Slovenijom do grada Siska, spomenute promjene potrebno je sagledati za svaki stupanj izgrađenosti. Uspješno sagledavanje promjena moguće je jedino na osnovi rezultata simulacija transformacije zabilježenih i sintetičkih hidrograma na verificiranim matematičkim modelima nestacionarnog tečenja unutar planiranog hidrosustava za različite stupnjeve njegove izgrađenosti. Početni korak u takvim aktivnostima koji obuhvaća razvoj, kalibraciju i verifikaciju matematičkog modela postojećeg stanja proveden je u sklopu ove studije.

Modeliranje je obavljeno na osnovi općega matematičkoga simulacijskog modela nestacionarnog tečenja u otvorenim vodotocima MIKE-11. Riječ je o komercijalnom programskom paketu razvijenom u Danskom hidrauličkom institutu (DHI) i poslije vrlo uspješno primjenjivanom na velikom broju različitih studijskih i projektnih aktivnosti širom svijeta. Model je zasnovan na numeričkom rješavanju Saint-Venantovih diferencijalnih jednadžbi.

Područje modeliranja je obuhvatilo glavne otvorene vodotoke u porječju Save od državne granice do Siska zajedno sa svim najvažnijim postojećim hidrotehničkim objektima. Modelirane riječne dionice jesu: dionica rijeke Save od VP »Jesenice« do VP »Crnac« (129.29 km), dionica rijeke Krapine od VP »Kupljenovo I« do ušća u Savu (13.57 km), dionica rijeke Kupe od VP »Šišinec I« do ušća u Savu (64.90 km), izgrađena dionica odušnoga kanala »Odra« (30.00 km), te prirodna retencija »Odransko Polje« s rijekom Odrom do njezina ušća u Kupu (32.50 km). Od postojećih hidrotehničkih objekata modelirani su bočni preljev »Jankomir« i ustava »Prevlaka« na rijeci Savi.

Geometrijsku osnovu modela čine raspoloživi poprečni presjeci vodotoka preuzeti od Hrvatske vodoprivrede. Glavni hidrološki ulazi u model su satni hidrogrami na vodomjernim postajama »Jesenice« na Savi, »Kupljenovo I« na Krapini i »Šišinec I« na Kupi. Ostali hidrološki ulazi modelirani su kao točkasti doprinosi protocima u glavnim koritima na lokacijama ušća manjih pritoka (satni hidrogrami na VP »Bregana-Remont« — Bregana, VP »Samobor« — Gradna, VP »Ivanja Rijeka-Gamula« — GOK, VP »Glina« — Glina, te korelacija s VP »Glina« — Odra). Nizvodni rubni uvjet modela je odgovarajuća interpolirana i ekstrapolirana konsumpcijska krivulja na VP »Crnac«. Postojeći hidrotehnički objekti modelirani su projektnim krivuljama distribucije voda.

Zbog ograničenja uvjetovanog memorijom računala, cjeloviti model morao je biti podijeljen na dva podmodela, od kojih prvi obuhvaća dionicu Save od VP »Jesenice« do VP »Bundek« i Krapinu, a drugi obuhvaćaju dionicu Save od VP »Bundek« do VP »Crnac«, Kupu, odušni kanal »Odru«, te prirodnu retenciju »Odransko Polje« zajedno s rijekom Odrom. Kalibracija modela obuhvaćala je iznalaženje Stricklerovih koeficijenata glatkosti na modeliranim riječnim dionicama. Provedena je postupkom usporedbe izmjerenih i simuliranih hidrograma i nivograma povodnja zabilježenog u jesen 1984. godine na vodomjernim postajama koje su ujedno i kontrolne točke modela. Na rijeci Savi kontrolne točke su: VP »Jesenice«, VP »Ušće Bregane«, VP »Otok«, VP »Medsave«, VP »Podsused-Žičara«, VP »Zagreb«, VP »Bundek«, VP »Kosnica«, VP »Trnje«, VP »Okunščak«, VP »Rugvica«, VP »Dubrovčak Lijevi«, VP »Galdovo« i VP »Crnac«. Na rijeci Kupi kontrolne točke su: VP »Šišinec I«, VP »Farkašić« i VP »Sisak«, a na rijeci Krapini VP »Kupljenovo I«. Verifikacija modela također je provedena postupkom usporedbe simuliranih i izmjerenih hidrograma i nivograma na spomenutim kontrolnim točkama, ali za povodanj zabilježen potkraj siječnja 1985. godine. Rezultati kalibracije i verifikacije potanko su prikazani u elaboratu. Analize osjetljivosti modela su provedene na utjecaje nizvodnih rubnih uvjeta i na utjecaje veličina Stricklerovih koeficijenata glatkosti.
Nakon završetka postupaka kalibracije i verifikacije na ostvarenom modelu obavljena je simulacija sintetičkih visokovodnih hidroloških situacija. Analize dobivenih rezultata omogućile su sagledavanje učinkovitosti postojećeg sustava za obranu od poplava Srednjeg Posavlja.

Opseg: 43 stranice teksta, 18 slika, 3 tablice, 13 priloga.

Valorizacija energetskih pokazatelja planiranog hidroenergetskog sustava na dionici rijeke Save od slovenske granice do VP »Rugvica«

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: Danko Biondić, dipl. ing.

Završeno u rujnu 1993.

Najvažnije vodoprivredno ograničenje koje postojeća »Vodoprivredna osnova grada Zagreba« postavlja na pogon planiranoga hidroenergetskog sustava na dionici rijeke Save od slovenske granice do VP »Rugvica« (HE »Podsused«, HE »Prečko«, HE »Zagreb« i HE »Drenje«) jest protočni rad u svim njegovim razvojnim fazama. Time se želi postići očuvanje prirodnoga vodnog režima na riječnom potezu kroz grad Zagreb. Od slovenske strane se bez obzira na stupanj izgrađenosti njihova sustava također zahtijeva prirodni neporemećeni režim dotoka na granični presjek VP »Jesenice«.
Eventualna mogućnost varijabilnog rada planiranog sustava postoji jedino uz uvjet da se odgovarajućim istraživanjima dokaže da promjene prirodnoga vodnog režima ne bi negativno utjecale na vodoprivrednu problematiku grada Zagreba. Promjene u režimu dotoka na VP »Jesenice« mogu se dopustiti jedino u slučaju vodoprivredne suglasnosti na varijabilni rad hrvatskog sustava, i to tek nakon pozitivnih rezultata dogovora, te potpisivanja međudržavnih sporazuma između odgovarajućih institucija dviju zemalja. Jedna od podloga za takav dogovor trebaju biti rezultati zajedničkih istraživanja mogućnosti rada oba sustava u »taktu«.
Istraživanja mogućnosti varijabilnog rada za svaku od razvojnih faza planiranog sustava trebaju obuhvatiti gospodarsko-tehničke analize, kojima bi ulazni parametri s jedne strane bile štete zbog negativnih utjecaja varijabilnog rada na vodoprivrednu problematiku, a s druge strane dopunske koristi zbog kvalitetnije proizvodnje električne energije. Osnovni cilj provedenih istraživanja unutar ove studije bio je definiranje utjecaja mogućih vodoprivrednih ograničenja i uzvodnoga varijabilnog dotoka na proizvodnju električne energije planiranih hrvatskih postrojenja. Dobiveni rezultati nakon monetarne kvantifikacije trebaju biti jedna od podloga za daljnje gospodarsko-tehničke analize mogućnosti varijabilnog rada sustava.
Metodologija definicije spomenutih utjecaja zasniva se na izračunavanju i međusobnim usporedbama prosječnih godišnjih proizvodnji varijabilne i konstantne električne energije za pojedine karakteristične varijante rada sustava tijekom razdoblja od 1926. do 1989. godine. Za reprezentativnu vremensku seriju srednjih dnevnih protoka unutar predmetnog područja odabrana je VP »Zagreb« zbog dužine i pouzdanosti vremenske serije i zbog nepostojanja značajnijih međudotoka i zanemarivog utjecaja transformacije hidrograma srednjih dnevnih protoka unutar predmetnog područja.
Izračuni prosječnih godišnjih proizvodnji konstantne i varijabilne električne energije za pojedine karakteristične varijante rada sustava provedeni su primjenom matematičkog simulacijskog modela HEC-5 i postprocesorskog modula za točan izračun proizvedene električne energije. Hidrološke ulaze u model predstavljali su 24-satni hidrogrami, čije srednje vrijednosti reprezentiraju pojedine razrede na krivulji trajanja srednjih dnevnih protoka zabilježenih na VP »Zagreb« tijekom razdoblja od 1926. do 1989. godine.
Karakteristične varijante rada sustava u različitim stupnjevima njegove izgrađenosti definirane su uz uvjete maksimalnih dopuštenih dnevnih denivelacija vodostaja unutar planiranih akumulacijskih bazena i na neusporenim vodomjernim postajama predmetnog područja (protočni rad, $\Delta h = 0.5$ m, $\Delta h = 1.0$ m), te uz uvjet maksimalno dopuštenog gradijenta ispuštanja vode iz bazena $\Delta Q/\Delta t = 2.0$ m³/s/min.
Potrebno je istaknuti i ovo: ako se varijabilni pogon sustava u nekoj od njegovih razvojnih faza usvoji, tada je nužno vršiti stalne aktualizacije dopuštenih vodnih režima zbog promjenljivosti konsumpcijskih odnosa neusporenih vodomjernih postaja.

Opseg: 60 stranica teksta, 65 slika, 11 tablica, 14 priloga.

Energija, god. 43 (1994) 4, 245 – 253

ZAVOD ZA VISOKI NAPON I PRIJENOSNE MREŽE

Prilike u zagrebačkoj prijenosnoj mreži pri izgradnji kombi bloka snage 350 MWe na lokaciji Termoelektrana-Toplana Zagreb

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u travnju 1993.

U studiji je razmatrana mogućnost izgradnje na lokaciji TE-TO Zagreb jednog toplinarsko-elektroenergetskog proizvodnog bloka koji bi se sastojao od

— 2 plinske turbine sa generatorima naz. snaga 2 × 128,4 MW/156,5 MA
— 1 parne turbine sa generatorom naz. snage 1 × 111,5 MW/140 MVA

Studija je istražila mogućnosti priključka navedenog kombi bloka izravno na 110 kV mrežu Zagreba, uz osiguranje evakuacije proizvedene električne energije u TE-TO Zagreb pri raspoloživosti mreže od (N-1) kritičnih elemenata. Kratkospojne prilike su kontrolirane u odnosu na zadane parametre opreme (31,5 kA, odn. 6000 MVA). Čvorište TE-TO Zagreb je pri tome razdvojeno na dva, u pravilu stalno razdvojena čvorišta (TE-TO 1 i TE-TO 2), što je u skladu s dosadašnjom praksom podjele zagrebačke 110 kV mreže na dva podsistema, istočni sa izvorišnom točkom TS 220/110 kV Mraclin i zapadni sa izvorišnom točkom TS 400/110 kV Tumbri.
Iz provedenih ispitivanja pretpostavljenog rješenja priključka 505 MW na lokaciji TE-TO Zagreb: sekcioniranjem injekcije 32 + 120 MW na jedne sabirnice (TE-TO 1) i 353 MW na druge (TE-TO 2) — pokazuje se da je to granična snaga koja se još može sigurno evakuirati prema kriteriju ispada jedne grane.
U evakuaciji prema »zapadu« kritičan je ispad voda TE-TO 2 — Sopot, kojim se skoro do termičke granice iskorištava prijenosna moć voda TE-TO 2 ← Botinec (kraćeg: onog postojećeg), a na »istok« dovoljan bi bio i samo »teški« vod TE-TO 1 — Mraclin; zaključci su izvedeni za potrošnju nazivne 2000. godine, u provjeri evakuacije prema »zapadu« bez pojačanja u EL-TO Zagreb, a u provjeri evakuacije prema istoku bez TS 400/110 kV Žerjavinec.
Također je određivan cos fi novih generatora, sa prijedlogom da bude 0,85; dalje je zaključeno da generatorski bloktransformator ne treba biti regulacijski i da zadovoljava prijenosni omjer 15,75/115 kV; i konačno za uzbudu je predložena nezavisna uzbuda.
Rezultati proračuna ukupnih struja kratkog spoja

TE-TO 1: I_{k3}''/I_{k1}'' = 20615/20587 A
TE-TO 2: I_{k3}''/I_{k1}'' = 25786/29545 A

pokazuju, da niti u jednom slučaju nije prijeđen prag od 31,5 kA.
Na temelju navedenih podataka priloženi su osnovni parametri elektroenergetske opreme visokonaponskog rasklopnog postrojenja TE-TO 1 i 2.

Opseg: 29 stranica teksta, sa tablicama i slikama.

Istraživanje prilika u zagrebačkoj prijenosnoj mreži pri izgradnji kombi bloka snage 180 MWe na lokaciji Elektrane-Toplane Zagreb

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u srpnju 1993.

U studiji je razmatrana mogućnosti izgradnje na lokaciji EL-TO Zagreb jednog toplinarsko-elektroenergetskog proizvodnog bloka koji bi se sastojao od

— 2 plinske turbine sa generatorima naz. snaga 2 × 60 MW/80 MVA
— 1 parne turbine sa generatorom naz. snage 1 × 60 MW/80 MVA

Studija je istražila mogućnosti priključka navedenog kombi bloka izravno na 110 kV mrežu Zagreba, uz osiguranje evakuacije proizvedene električne energije u EL-TO Zagreb sa tri kabelska voda (postojeći + planirani + novo predlagani), pri raspoloživosti mreže od (N-1) kritičnih elemenata. Kratkospojne prilike su kontrolirane u odnosu na zadane parametre opreme (31,5 kA, odn. 6000 MVA). U skladu s dosadašnjom praksom podjele zagrebačke 110 kV mreže na dva podsistema, istočni sa izvorišnom točkom TS 220/110 kV Mraclin i zapadni sa izvorišnom točkom TS 400/110 kV Tumbri, razmatrano postrojenje bi bilo priključeno na zapadni podsistem.
Iz provedenih ispitivanja pretpostavljenog rješenja priključka 237 MW na lokaciji EL-TO Zagreb može se zaključiti da takvo rješenje priključka zadovoljava.
Također je određivan cos fi novih generatora, sa prijedlogom da bude 0,95; dalje je zaključeno da generatorski bloktransformator ne treba biti regulacijski i da zadovoljava prijenosni omjer 15,75/115 kV.
Rezultati proračuna ukupnih struja kratkog spoja u EL-TO Zagreb: I_{k3}''/I_{k1}'' = 32490/35574 A pokazuju, da je prijeđen prag od 31,5 kA. Daljnja ispitivanja su pokazala, da jedino sekcioniranjem postrojenja EL-TO Zagreb sa oba KV 110 kV EL-TO Zagreb TS Stenjevac i kombi blokom na posebnim sabirnicama (označenim ELTO110B) omogućuje smanjenje struja kratkog spoja ispod 31,5 kA; pri tome je veza TS Jarun i TS Pierrotijeva ostvarena preko drugih sabirnica (ELTO110A). Međutim, niti takav pogon nije moguć, jer nije zadovoljen kriterij neraspoloživosti vodova (N-1).
Provedeni proračuni kratkog spoja u predviđenom pogonu mreže 110 kV sa sekcioniranjem u postrojenju 110 kV TE-TO Zagreb pokazuju, da više nije moguće, uz predviđene kombi blokove u zagrebačkoj mreži, spustiti nivo struja sabirničkog kratkog spoja u postrojenju 110 kV EL-TO Zagreb ispod 31,5 kA.
Na temelju navedenih podataka priloženi su osnovni parametri elektroenergetske opreme visokonaponskog rasklopnog postrojenja EL-TO Zagreb.

Opseg: 41 stranica teksta, sa tablicama i slikama.

Proračun ukupnih i parcijalnih struja kratkog spoja u izvanrednim prilikama VN mreže na području PrP Elektroprijenos Osijek

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u ožujku 1993.

Tijekom ratnih razaranja, koja su zahvatila Slavoniju i Baranju, došlo je do znatnog odstupanja VN mreže PrP »Elektroprijenos« Osijek od predratne konfiguracije, a svakako i od planirane za razdoblje 1991 – 1995. (neraspoloživost dijela DV i TS, ograničena mogućnost dopreme energije, neuobičajena izvedba čvorišta i uglavnom radijalni pogon). Nakon smirivanja ratnih operacija, pored ratnog zahtjeva za ostvarivanje mogućnosti napajanja konzuma, pojavljuje se potreba dotjerivanja izgrađenog (definiranje naponskih prilika na u ratu izgrađenim uzemljivačima novih TS) i povećanja pouzdanosti pogona (definiranje najpovoljnijeg uklopnog stanja koje bi ostvarilo pretpostavke za eliminiranje prolaznih kvarova).
Stoga su provedeni opsežni proračuni ukupnih i parcijalnih struja kratkog spoja u izvanrednim prilikama VN mreže na području PrP Elektroprijenos Osijek, u tri dijela.
U prvom dijelu proveden je proračun naponskih prilika i raspodjele struja početnog jednopolnog kratkog spoja za zadane mreže A – F. Rezultati proračuna su zbog velikog obima izlaznog protokola prikazani na priloženoj disketi 1,2 MB.
U drugom dijelu proveden je proračun raspodjele struja jednopolnog kratkog spoja za kvarove duž zadanih vodova za sve mreže A – F. Rezultati su prikazani na priloženoj disketi 360 kB, koja pomoću priloženog programa LANCAN omogućuje lako pretraživanje, prikazivanje i tiskanje pojedinih krivulja odnosno tablica.
U trećem dijelu proveden je proračun mjerodavnih struja u uzemljivačima lokacija »505«, »1505/2« i »405«.

Opseg: 46 stranica, tablice, slike, diskete 1,2 MB i 360 kB sa rezultatima proračuna.

Proračun kratkog spoja u TS Našice, za mrežu 1993. godine

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u lipnju 1993.

Na temelju prethodne studije, naknadno je proveden proračun kratkog spoja u TS 110 kV Našice, ali sa spojenim sabirnicama 110 kV.

Opseg: 11 stranica teksta, tablice, slika.

Istraživanje i smanjenje iznošenja potencijala TS 110/10(20) kV Matulji

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Energija, god. 43 (1994) 4, 245 – 253

Autori: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.
mr. Dragutin Mihalic, dipl. ing.
Josip Mužny, dipl. ing.
Darko Nemec, dipl. ing.
Stjepan Zubić, el. tehn.
Srećko Juretić, el. tehn.

Završeno u lipnju 1993.

Osnovni cilj istraživanja je smanjenje potencijala HPT – RSS Matulji na veličinu ispod propisom dopuštenih 430 V. On se je postupno pokušao doseći kroz niz ispitivanja i radova prema programu petodnevnog istraživanja.
Na osnovu provedenih VN mjerenja preporučena je zaštita određenih HPT potrošača, nabrojanih u elaboratu. Očito bitan utjecaj na zaključivanje o zonama opasnosti od prevelike razlike potencijala ima u ovom slučaju željeznička pruga, koju možemo u zoni bližoj postrojenju TS Matulji smatrati ekvipotencijalnom linijom cca 50 % potencijala.
Po izvršenju preporučenih mjera zaštite HPT potrošača TS 110/10(20) kV Matulji može krenuti u pogon sa priključkom sva tri voda.

Opseg: 46 stranica teksta sa pripadnim tablicama i slikama.

Proračun kratkog spoja na području Kaštela — priključak interventne elektrane

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u svibnju 1993.

Proračun kratkog spoja u TS 110 kV Dugi Rat — priključak interventne elektrane

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u kolovozu 1993.

Proračun kratkog spoja u TS 110 kV Dujmovača — priključak interventne elektrane

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1993.

Proračun kratkog spoja u TS 110 kV Vrboran po priključku interventne elektrane Dujmovača

Naručitelj: Hrvatska elektroprivreda

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1993.

U sljedeća četiri elaborata istraživane su moguće lokacije interventne elektrane u Dalmaciji, planirane sa agregatima 2 × 28,1 MVA, cos fi = 0,85 i nazivnog napona 10,5 kV. Kontrolirane su kratkospojne prilike na svim naponskim nivoima od 110 kV do 10,5 kV, kao i moguće struje u uzemljivačima. Nakon što je konačno donesena odluka za lokaciju Dujmovača, kontrolirane su još i kratkospojne prilike, faktor uzemljenja i mjerodavna struja u uzemljivaču TS 110 kV Vrboran.

Opseg: 27/17/16/18 stranica teksta sa pripadnim tablicama i slikama za sva četiri elaborata.

Problematika iznošenja potencijala iz postrojenja HE Senj u razdoblju do 31. 12. 1994. godine

Naručitelj: HPT TKC Rijeka

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1993.

U elaboratu je uz korištenje složenijeg matematičkog modela izvršen proračun najvećih struja, koje podižu potencijal uzemljivača postrojenja HE Senj. Na temelju tako dobivenih rezultata prikazano je grafički iznošenje potencijala prema Jurjevu sa određivanjem granice opasnog sektora, temeljeno na ranije provedenim niskonaponskim mjerenjima (1990. god.).

Opseg: 21 stranica teksta, tablica, slika.

Istraživanje i analiza utjecaja nesimetričnog i nelinearnog opterećenja elektrovuče jednofaznog sistema 25 kV, 50 Hz na pruzi Zagreb – Rijeka

Naručitelji: Hrvatske željeznice
Hrvatska elektroprivreda

Autori: mr. Davor Nevečerel, dipl. ing.
mr. Muharem Mehmedović, dipl. ing.
mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
Lahorko Wagmann, dipl. ing.

Završeno u listopadu 1993.

U okvirima makroprojekta »Kvaliteta električne energije« (skraćeno: KVELENER) trebalo je, radi osiguranja dovoljne pouzdanosti pogona mreže 110 kV i kvalitete napona u mreži duž željezničke magistrale Zagreb – Rijeka, istražiti i analizirati utjecaj elektrovuče na rad mreže 110 kV uz izradu prijedloga rješenja za sanaciju navedenih problema. Pri tome je za verifikaciju rezultata teoretskih istraživanja provedeno izravno mjerenje u živoj mreži, u čvorištu Resnik & TE-TO Zagreb, čime su obuhvaćene karakteristike i utjecaji i ostalih »smetajućih« potrošača u prijenosnim i razdjelnim mrežama.
Budući da dozvoljeno odstupanje od simetričnog napona temeljne frekvencije nije utvrđeno našim propisima i standardima, na temelju IEC preporuka i propisa nekih stranih zemalja, preporučene su granične vrijednosti navedenog odstupanja, te na tako utvrđenih graničnih vrijednosti ukazano na nedozvoljena uklopna stanja.
Osobita pažnja posvećena je utjecaju nove lokomotive (tiristorska lokomotiva serije 442) koja je mjerenjima u TS Resnik u potpunosti identificirana kao potrošač od posebnog interesa.
Proračun raspodjele (nesimetričnih) faznih napona i struja u svim elementima mreže, do uključivo električki bliskih generatora, proveden je za nekoliko različitih stanja opterećenja posebnih potrošača (elektrovuča) te uz redovito i nekoliko iznimnih uklopnih stanja mreže. Primijenjeni su različiti matematički modeli, od jednostavnijih do najsloženijih, sa trofaznim modeliranjem elektroenergetskog sustava od interesa. Na temelju rezultata proračuna nesimetrija analiziran je dalje utjecaj nesimetrija struja i napona na rad pojedinih generatora u ispitanim uklopnim stanjima mreže. Pri tome su uzeti u obzir uvjeti proizvođača generatora, odnosno IEC preporuke i propisi pojedinih zemalja. Konačno je dan prijedlog za sanaciju nesimetrija struja i napona simetriranjem priključaka elektrovuče na prikladan način, uz uvažavanje posebnih uvjeta za paralelan rad EVP-a. On glasi:

- grupu postojećih elektrovučnih podstanica (zajedno sa EVP Delnice) nije potrebno premještati na novi priključak,
- grupu elektrovučnih podstanica od najvećeg značaja za paralelni rad (EVP Vrata, Plase Ivani) treba pripremiti za priključak između faza T i R EES HEP-a,
- preostalu grupu elektrovučnih podstanica (EVP Draga i Matulji) treba priključiti na alternativni priključak između faza R i S EES-a.

Na kraju je analizirana mogućnost ispada graničnih elektrovučnih podstanica između specificiranih grupa elektrovučnih podstanica.

Opseg: 192 stranice teksta sa tablicama, slikama, operativnim planom mjerenja.

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

UŠTEDA ENERGIJE U GRAĐEVINARSTVU

U Hrvatskoj se godišnje troši energije u ekvivalentu 11 milijuna tona nafte, a od toga trećinu na zagrijavanje zgrada. Toplinska je zaštita, naime, vrlo slaba, mnogo manja od europskog standarda. Potkraj travnja na to je upozorio Savez energetičara Hrvatske u povodu međunarodnog stručnoznanstvenog simpozija »Uvjeti kvalitetne izgradnje hrvatskih regija« koji je održan u Zagrebu 22. i 23. travnja ove godine. Na brojnim stručnim predavanjima tom je prilikom prezentiran dvogodišnji rad na projektu »Energetska kuća«, što će ga Savez energetičara uputiti Vladi.
Projekt »Energetska kuća« nije određen tip kuće kakvi se često spominju kad se govori o obnovi. To može biti bilo kakva kuća — obiteljska i višekatnica s mnogo stanova, ali tako građena da racionalno troši energiju. Gradnja je skuplja, ali štedi i do 50 posto energije. Zato je projekt »Energetske kuće«, istaknuto je, važan i za obnovu i za sveukupno hrvatsko gospodarstvo.

I. R.

ELEKTROENERGETSKI SUSTAV BIT ĆE OVE GODINE JEDINSTVEN

Najveća ovogodišnja investicija elektroprivrede u Hrvatskoj projekt je »Otočne veze« a bit će pušten u rad prije najavljenog roka — 15. srpnja ove godine. Time će i posljednji u nizu od ukupno 14 projekata hrvatske Vlade iz interventnog programa za Dalmaciju završiti akciju spašavanja tog dijela Hrvatske od redukcije i nestašice električne energije. Zbog velikih poteškoća, naročito oko nabave podmorskog i podzemnog kabela 110 kV Hrvatska je elektroprivreda bila prisiljena pomaknuti »nulte etape« s 15. travnja na 15. srpnja ove godine.
Nulta etapa završenja »Otočne veze« podrazumijeva spajanje dva u ovom trenutku elektroenergetska sustava Hrvatske na naponskoj razini od 110 kV. Riječ je o sjevernom dijelu, koji je spojen na mrežu UCPTE, i južnom, koji napaja praktično četiri županije južne Hrvatske, te otok Pag i radi u otočnom pogonu. Riječ je o izgradnji odnosno dogradnji desetak elektroenergetskih objekata: zračnih dalekovoda napona 110 kV na otocima Pag, Rab i na dijelu kopna od Nina do Zadra; zatim podmorskim kabelom između Raba i Paga te Paga i kopna i transformatorskih stanica u Novalji, Ninu i Zadru.

I. R.

OBNOVA HIDROELEKTRANE PERUČA

Početkom svibnja ove godine otpočeli su radovi na obnovi HE Peruča. Utvrđeno je da je današnji vodni potencijal na ovom području dovoljan za proizvodnju električne energije cijelog ljeta.
U sanaciju peručke brane uključena je i zagrebačka Geotehnika koja će injektirati branu radi stabilizacije jezgre. Izvršit će se i revitalizacija rasklopnih uređaja. Najavljena je i mogućnost zamjene sadašnjih generatora novima, čime bi se svakome povećala snaga za po 6,5 megavata. Tako bi se povećala i proizvodnja za oko 20 milijuna kilovatsati električne energije godišnje. U obnovi brane bez rasklopnog sustava uložit će se približno 23 milijuna DEM.

I. R.

MEĐUNARODNI SKUP STRUČNJAKA ZA PLIN

U organizaciji novoosnovanog Hrvatskog stručnog udruženja za plin od 4. do 6. svibnja održan je skup kojem je bilo nazočno približno tristo stručnjaka iz zemlje i inozemstva. S obzirom na iznimnu važnost i ulogu plina kao energenta budućnosti, ovogodišnji se susret održao pod pokroviteljstvom Ministarstva gospodarstva Republike Hrvatske. Zapaženo je bilo sudjelovanje INA-Naftaplina, koji je osim pokroviteljstva u nizu stručnih izlaganja iz područja plina predstavio svoja razmišljanja glede razvoja ovog za hrvatsko gospodarstvo vrlo važnog energetskog sektora. Uz domaće stručnjake bili su i stručnjaci iz Njemačke, Nizozemske, Francuske, Italije, Slovenije i dr.
Kao istraživač, proizvođač, dobavljač i isporučilac prirodnog plina u nas, INA-Naftaplin je na održanom susretu imao svoj poseban dan. Bila je to prigoda da se s mnogim stručnim temama predstavi domaćim i međunarodnim plinskim stručnjacima.
Treba istaknuti da je tijekom susreta održana izložba plinske opreme dvadesetak proizvođača iz zemlje i svijeta.

I. R.

ANALIZA SIGURNOSTI NE KRŠKO

Rad nuklearke Krško i njezino djelovanje na okoliš u prvom tromjesečju ove godine bila je glavnom temom održane konferencije sredinom travnja. Javnost je upoznata o radu NE Krško, koja ove godine, iz mjeseca u mjesec, proizvodi sve više električne energije.
Prema dogovoru predsjednika vlade Slovenije i Hrvatske s početka ove godine Hrvatska elektroprivreda uredno podmiruje svoje obveze prema nuklearki. Na njezin račun HEP mjesečno uplaćuje oko osam milijuna DEM za tekuće troškove, ali i oko 3,5 milijuna za prethodno isporučenu struju, kako bi se do kolovoza ove godine računi poravnali. Što se tiče radiološkog utjecaja NE Krško na okoliš, on je i dalje praktički zanemariv.

I. R.

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U KUĆANSTVIMA NJEMAČKE

Prema podacima Saveza njemačkih elektrana (VDEW), tijekom godine 1992. porastao je broj priključenih kućanstava na javnu električnu mrežu (u zapadnom dijelu) za 700 000 i time se popeo na 29,8 milijuna priključaka. Tome je razlog tendencija sve većeg usitnjavanja njemačkih kućanstava. Ukupni je potrošak porastao za 0,2 % i iznosio 104,8 milijardi kWh, što čini 28,4 % ukupnog konzuma iz javne mreže. Iz istog se izvora saznaje da je za javnu i privatnu rasvjetu utrošeno u 1992. oko 41 milijarda kWh, prema 40 milijardi prethodne godine. To je oko 10 % ukupno isporučene neto električne energije. Samo na rasvjetu ulica potrošeno je 2,9 milijardi kWh. Prema procjeni, u istočnom dijelu Njemačke potrošnja kućanstava povećala se u 1992. za 2,1 %, a to je 32,2 % ukupne javne potrošnje električne energije.

ETZ, god. 115 (1994), br. 1

Mrk.

SILIKONSKO KUĆIŠTE ODVODNIKA PRENAPONA

Metaloksidni odvodnici prenapona tvrtke ABB, Švicarska, poboljšani su primjenom kućišta od umjetne mase sastavljene od silikona i kaučuka, pod imenom »Siloprem LSR«. Takvi se odvodnici izrađuju za napone 4 kV do 36 kV, a mnogo su sigurniji od porculanskih. Pri preopterećenju, tj. pri preskoku ili proboju nastaju visoke temperature, koje mogu izazvati eksploziju porculana. Elastični silikonski materijal sprečava takve pojave. Osim toga, zbog hidrofobije jamči dodatnu sigurnost prilikom ekstremnog opterećenja vodom i slanom maglom. Materijal je postojan prema starenju i atmosferskim utjecajima.

ETZ, god. 115 (1994), br. 1

Mrk.

REKORD PRUŽNIH VOZILA

Poboljšana verzija japanskoga superbrzog vlaka Shinkansen postigla je brzinu 425 km/sat. No to ipak nije najveća brzina postignuta u svijetu za pružna vozila. Rekord od 1990. drži francuski TGV-vlak sa 515,3 km/sat.

ETZ, god. 115 (1994), br. 2

Mrk.

PERSONALNI KOMPJUTORI U SVIJETU 1993.

U svijetu je tijekom 1993. godine ukupno prodano 36,1 milijun personalnih računala. Prema predviđanju američke tvrtke International Data Corp. (IDC), uslijedit će daljnje povećanje od 12,4 %, pa bi prema tome bilo prodano 40,6 milijuna komada. Udio tvrtke IBM u ukupnoj svjetskoj prodaji iznosi 12,2 % (4,4 milijuna komada u 1993. prema 3,2 milijuna u 1992), pa je ona na prvome mjestu. Udio tvrtke Apple je 10 % kao druge u svijetu, a treće mjesto u prodaji pripada tvrtki Compaq. Prema podacima iz IDC studije, marže u prodaji su malene, a smanjio se i tempo sniženja cijena.

ETZ, god. 115 (1994), br. 2

Mrk.

AUTOMATIZIRANO GRADILIŠTE U JAPANU

Neke velike japanske građevinske tvrtke počele su uvoditi robote na gradilišta. Time je povećana učinkovitost i sigurnost u radu, a osim toga je nadomještena stručna radna snaga koja nedostaje. Tvornički izrađeni elementi dopremaju se na gradilište, gdje ih ugrađuju automatizirani strojevi. Takvim se postupkom može jedan kat izgraditi za tri dana, umjesto 5 do 6, koliko je inače potrebno. No navedeni način gradnje pokazao se kao ekonomičan tek ako se gradi 20 ili više identičnih etaža.

ETZ, god. 115 (1994), br. 2

Mrk.

SUPER-JUMBO ZA 800 PUTNIKA

Međunarodni konzorcij izrađuje studiju, koja je već pri kraju, o gradnji zrakoplova super-jumbo za 800 putnika. Konzorcij čine američka tvrtka Boeing i četiri tvrtke europskog Air bus-konzorcija, i to njemački Aerospace, britanski Aerospace, francuski Aerospatiale i španjolski Construcciones Aeronauticas. Već se sad vidi da će predviđenih 10 milijardi dolara za razvojne radove biti premalo. Trebat će barem 15 do 20 milijardi. Proizvodnja bi počela 2000. godine.

ETZ, god. 115 (1994), br. 2

Mrk.

VISOKOTEMPERATURNI SUPRAVODLJIVI KABEL

Američka tvrtka American Superconductor Corporation (ASC) prvi je put uspjela prenijeti 2 300 A istosmjerne struje visokotemperaturnim supravodičem, hlađenim na 77 K. Duljina kabela iznosila je 1 metar. Smatra se da prijenos ovakvim kabelom može biti ekonomičan ako se prenosi struja veća od 2 000 A. Navedeni uspješni prijenos obećava mogućnost praktične primjene. ASC smatra da će već 1997. moći izvesti 1 km takvoga supravodljivoga kabela. Tim se uspjehom tvrtka ASC, zajedno s japanskom tvrtkom Sumitomo, svrstala među vodeće u svijetu na polju prijenosa električne energije visokotemperaturnim supravodičima.

ETZ, god. 115 (1994), br. 2

Mrk.

VELIKE INVESTICIJE ZA ENERGETIKU ISTOČNOGA DIJELA NJEMAČKE

Prema mišljenju njemačkih stručnjaka, energetska situacija u pripojenom istočnom dijelu Njemačke okarakterizira-

na je dominacijom smeđeg ugljena, neučinkovitom potrošnjom energije i rasipnim odnosom prema okolišu. Prema izrađenom investicijskom programu u sljedećih 20 godina trebalo bi za sanaciju energetskih prilika uložiti 20 milijardi DEM.

ETZ, god. 115 (1994), br. 2

Mrk.

NAPREDAK U NUKLEARNOJ FUZIJI

Potkraj 1993. uspjelo je u fuzionom reaktoru Tokamak Fusion Test Reactor (TFTR), u Princetonu — SAD, proizvesti snagu veću od 3 MW. Time je drugi puta proizvedena energija nuklearnom fuzijom. Godine 1991. u eksperimentalnom reaktoru Joint European Torus (JET) proizvedena je snaga 1,8 MW u vremenu od 2 sekunde.
U TFTR je prvi put eksperimentirano mješavinom deuterija i tricija u jednakom omjeru. Reakcija spajanja jezgara uslijedila je pri temperaturi od blizu 300 milijuna K i snage grijanja od 30 MW. Predviđa se da će u 1994. snaga fuzije biti povećana na 10 MW. Nakon 12-godišnjih eksperimenata reaktor će biti demontiran.
Za razliku prema TFTR, pokus u reaktoru JET proveden je sa smjesom od 14 % tricija i 86 % deuterija. Tek nakon 1996. upotrijebit će se jednaki omjeri obaju izotopa. Prije toga treba riješiti najveći problem pri paljenju plazme, a to je nepovoljno djelovanje između plazme i stijena komore. Planira se da će se gorenje plazme moći proizvesti tek u planiranom reaktoru ITER (Internacionalnom TErmonuklearnom Reaktoru).
(Vidi Energija, god. 41 (1992), br. 3 i 6.)

ETZ, god. 115 (1994), br. 2

Mrk.

EUROPA OVISI O UVOZU ENERGIJE

Prema podacima statističkog ureda EZ u Bruxellesu, više od 50 % energije trebalo je 1992. uvesti u zemlje Zajednice. U godini 2005. predviđa se da bi uvoz mogao iznositi oko 60 % od potrebne energije. Nafte bi trebalo uvesti čak 87 %, prema 85 % u 1992. Najviše nafte dobavljaju zemlje OPEC-a i bivši Sovjetski Savez. Uvoz zemnog plina povećat će se od 36 % (1992) na 53 % (2005). Sada tri četvrtine uvezenog plina dobavljaju bivši Sovjetski Savez i Alžir. Uvoz ugljena trebao bi u istom razdoblju porasti od 34 % na 58 %.

ETZ, god. 115 (1994), br. 3

Mrk.

ČOVJEK U NISKOFREKVENTNOM ELEKTRIČNOM I MAGNETSKOM POLJU

Problem djelovanja magnetskih i električnih polja na žive organizme već je dugo predmet istraživanja. Ona su bila naročito intenzivirana u tijeku minulih dvaju desetljeća. Kako bi se problem razjasnio, barem u području industrijske frekvencije od 50 Hz, na današnjem stupnju istraživanja, njemačka je skupina stručnjaka donijela unatoč kontraverznim diskusijama, sljedeće zaključke:

a) Ne postoje spoznaje o akutnoj opasnosti od električnih i magnetskih polja 50 Hz obične jakosti.
b) Ništa ne upućuje da takva polja djeluju na pojavu raka.
c) Naslućeno je neko upućivanje na moguće slabo djelovanje na pojavu raka, doduše vrlo proturječno, no svakako je to poziv znanosti da se stručno angažira na rješenju tog pitanja.

Do sličnih je zaključaka 1992. došao i jedan od vladinih komiteta u SAD. U objavljenoj literaturi nema ništa što bi uvjerljivo upozoravalo na tvrdnju da ekstremno niska električna i magnetska polja koja nastaju od kućanskih aparata, ekrana ili mjesnih električnih vodova mogu, koliko se može dokazati, ugroziti zdravlje.

ETZ, god. 115 (1994), br. 3

Mrk.

RECESIJA U NJEMAČKOJ

Jaka privredna recesija i velika nezaposlenost pogodile su i Njemačku. Nezaposlenost nije samo zahvatila radništvo, već i visokokvalificirane kadrove s mjesečnom plaćom od 5 000 DEM i više. Prema podacima njemačkog Saveznog zavoda za rad tu se mogu ubrojiti menađeri, kemičari i inženjeri, osobito oni koji rade u strojogradnji i automobilskoj industriji. Od polovice 1993. radno je mjesto izgubilo 43 000 inženjera, kemičara i fizičara. Još uvijek su dobre šanse na tržištu radne snage za inženjere ekonomije sa znanjem tehnike i ekonomije. Za njih se radna mjesta nalaze ponajprije u prodaji, marketingu, računalstvu i logistici. Traži se znanje jezika i elektroničke obrade podataka. Početna je plaća takvih stručnjaka oko 67 000 DEM godišnje, a za inženjere visokih strukovnih škola nekih 5 000 DEM manje. Oko 60 % njih ima plaće i do 100 000 DEM. Oni koji su negdje na polovici svog radnog vijeka zarađuju više od 200 000 DEM godišnje. Granicu od 500 000 DEM prekoračuje oko 8 % stručnjaka, i to onih s 10-godišnjim do 20-godišnjim radnim iskustvom. Općenito gledajući, u vremenskom rasponu od sredine 1992. do sredine 1993. broj radnih mjesta smanjen je za 739 000. U zapadnom dijelu Njemačke 534 000, a u istočnom 205 000. Najviše je radnih mjesta ukinuto u strojogradnji, zatim u elektrotehnici, pa u autoindustriji itd., kako to prikazuje sljedeći pregled.
Broj ukinutih radnih mjesta u pojedinim industrijskim granama 1992 – 1993. godine:

Strojogradnja	138 000	Tekstilna industrija	30 000
Elektrotehnika	89 000	Prehrambena ind.	29 000
Autoindusrija	84 000	Odijevanje	28 000
Kemijska industrija	44 000	Metalni proizvodi	27 000
Rudarstvo	39 000	Željezo i čelik	24 000

ETZ, god. 115 (1994), br. 3

Mrk.

OLOVNI AKUMULATORI POVEĆANE MOGUĆNOSTI AKUMULIRANJA

Američka tvrtka Electrosource (Austin — Texas) razvila je novu vrstu olovnih akumulatora, koji za jednaku masu prema današnjim imaju kudikamo veću sposobnost akumuliranja električne energije. Umjesto masivnih ili poroznih elektroda primjenjuje se tkanje od staklenih niti s olovnim slojem. Upotrebljavaju se niti debljine 0,5 mm sa slojem olova 0,5 mm, ekstrudirane pod vrlo velikim tlakom. Nakon tkanja nanese se sloj paste od olovnog oksida. Kako je i elektrolit sličan pasti, nisu potrebne veće količine kiseline. Pokusni uzorak imao je 12 V i davao struju od 112 A. Raspoloživa je energija iznosila 51 Ah/kg. Pri potpunom punjenju dobiva se snaga 500 W/kg. Unutarnji je otpor vrlo nizak jer nema veza između ćelija. To omogućuje brže punjenje, uz veće struje nego što je to slučaj kod sadašnjih olovnih aku-

mulatora. Od polovice 1994. trebalo bi se proizvesti 5 000 takvih akumulatora mjesečno. Cijena do sada još nije utvrđena.

ETZ, god. 115 (1994), br. 4

Mrk.

ZASTOJ U PROIZVODNJI ELEKTRIČNIH STROJEVA U ZEMLJAMA EU

Poslovni izgledi proizvođača električnih strojeva u zemljama Europske zajednice prilično su prigušeni. Stanje se može procijeniti bilo po iskorištenju tehničkih kapaciteta, bilo prema stanju narudžbi. Prema podacima iz Bruxellesa u 1993. godini bilo je prema prethodnoj godini neznatno povećanje iskorištenja tehničkih kapaciteta, i to od 78,1 % na 79 %. Tom su porastu ponajviše pridonijeli proizvođači u Velikoj Britaniji, gdje je iskorištenje poraslo od 70 % na 83,1 %. Nešto je iskorištenje u industriji električnih strojeva također poraslo u Italiji. Od 72,3 % na 77,2 %. U ostalim zemljama EU zabilježen je pad.
Što se pak narudžbi tiče, 42 % poduzeća javilo je da je njihov tijek nepromijenjen. Kod ostalih je nastalo smanjenje. Veće je npr. smanjenje u Njemačkoj nego u Francuskoj. Narudžbe slabe i u Velikoj Britaniji, pa od tamo više ne dolaze pozitivni impulsi. Prema tim podacima proizvodnja električnih strojeva stoji lošije nego što pokazuje prosjek zapadnoeuropske elektroindustrije. Iskorištenje tehničkih kapaciteta iznosi u prosjeku 78 %, ali je proizvodnja osigurana za 4,3 mjeseca.

ETZ, god. 115 (1994), br. 4

Mrk.

REGENERATIVNA ENERGIJA ZA PLANINARSKE KUĆE

Kako većina planinarskih kuća u Alpama nije priključena na javnu mrežu, njemačka elektroprivreda, u suradnji s alpinističkim društvom, namjerava uz ovakve kuće izgraditi izvore regenerativne energije. Time bi se izbjegli dizelski motori, koji danas daju potrebnu električnu energiju. Uklonilo bi se zagađivanje okoliša i neugodna buka. U jesen 1993. izabrana su dva mjesta gdje će se mjeriti potencijalne energije vjetra za predviđene vjetroelektrane.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 4

Mrk.

KONKURENCIJA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Uz proizvodnju električne energije u javnim elektranama u zemljama Europske zajednice (EZ) znatan se dio proizvede i u industrijskim, rudarskim i privatnim elektranama (vidjeti Energija, god. 42 (1993), br. 6). U 1992. godini od ukupne njemačke proizvodnje električne energije 14,2 % proizvedeno je izvan elektroprivrede. Mnogo veći postotak, ali ne i apsolutni iznos je u sljedeće tri zemlje EZ: Luksemburg 45,5 %, Nizozemska 17,4 % i Italija 14,3 %.
Ukupna pak proizvodnja zemalja EZ u 1992. iznosila je 1858 TWh, od čega je izvan javnih elektrana proizvedeno 8,8 %.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 7

Mrk.

SMANJENJE BROJA ELEKTRIČNIH TERMOPUMPI U NJEMAČKOJ

Broj električnih termopumpi za grijanje prostorija lagano pada. U 1991. smanjio se za 3,3 %, a u 1992. za 1,6 %, tj. od 52 000 na 51 150. Taj je podatak objavio Njemački savez elektrana (VDEW) u Frankfurtu. Zbog niskih cijena nafte ovakvo grijanje, inače vrlo povoljno za okoliš, teško se može opravdati.

Većina električnih termopumpi služi za grijanje stanova (93 %). Ostale služe za grijanje u obrtu, javnim zgradama i poljoprivredi. U usporedbi s centralnim grijanjem, gdje se kao gorivo upotrebljava nafta ili plin, termopumpe troše samo 50% primarne energije, a emisija ugljik-dioksida iznosi samo 1/3.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 7

Mrk.

SMANJENJE EMISIJE UGLJIK-DIOKSIDA U AUSTRIJI

Prema podacima koje je objavio Savez austrijskih elektrana (VEO), emisija ugljik-dioksida u Austriji, pala je u 1992. prema prethodnoj godini, za 8 % i postigla razinu iz 1990. Najveći je pad bio u elektroprivredi i iznosio 23 %. U proizvodnji električne energije najveći su udio imale hidroelektrane (77 %). Razlog je tome smanjena potrošnja zbog blage zime, privredne recesije i zatvaranje elektrolize aluminija u Ranshofenu. Ubuduće treba računati s povećanim udjelom termoelektrana, jer će se potrošnja električne energije sigurno povećati (predvidivo 2,3 % godišnje), a izgradnja hidroelektrana je blokirana.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 7

Mrk.

ELEKTROPRIVREDNA ISTRAŽIVANJA U NJEMAČKOJ

Elektroprivredna poduzeća imaju zadaću da potrošačima dobavljaju električnu energiju u dovoljnim količinama, sigurno uz povoljnu cijenu, vodeći brigu o zaštiti okoliša. Da može te zadatke optimalno ispuniti, elektroprivreda mora poticati razvojna istraživanja i demonstracijsku primjenu proizvoda. Briga o fundamentalnim istraživanjima briga jest države. Elektroprivreda kao korisnik treba usko surađivati s industrijom, čime se ujedno unapređuje konkurentnost u izvozu i općenito državno gospodarstvo. Njemačka elektroprivreda npr. uviđa važnost razvojnih istraživanja, pa u njih ulaže znatne novce u sklopu projekata FE u D (Forshung, Entwicklung und Demonstration). Kakav je sadržaj i opseg ovih projekata pokazala je anketa upravljanja na 95 elektroprivrednih poduzeća. Ukupna suma za nenuklearne elektroprivredne objekte, koji su se obrađivali u 1992. godini, iznosi 2,5 milijarde DEM. Od toga 2 milijarde otpada na elektroprivredu, a ostalo je doprinos industrije, EZ i države. U 1992. utrošeno je oko 200 milijuna DEM.
Broj projekata vrijednih više od 100 000 DEM utrošeno u 1992. te ukupni troškovi tih projekata navedeni su, po grupama tema, u tablici.

Područje	Broj projekata	U 1992. 10^6 DEM	Ukupno 10^6 DEM
Fosilne TE	125	127	1 954
Novi energetski sustavi i hidroenergija	62	31	352
Prijenos i razdioba električne energije	24	6	17
Primjena električne energije i elektrogospodarske studije	25	6	23
Ostale razvojne studije	4	29	105
Ukupno	240	199	2 451

Najveći broj projekata obrađuje probleme termoelektrana. Dok su prošlih godina prevladavali projekti pročišćavanja dimnih plinova od sumpornog i dušik dioksida, sada je težište položeno na direktne i indirektne mjere za smanjenje emisije ugljik-dioksida i optimiranje uređaja za pročišćavanje plinova. Proučava se korisnost pri izgaranju smeđeg ugljena i usporedbe konvencionalnog izgaranja s tehnikom kombi procesa u plinskoj i parnoj turbini. Demonstracijska kombi elektrana nove tehnike trebala bi ući u pogon 1997.
U području tehnike izgaranja mnogo se istražuje izgaranje ugljene prašine pod tlakom, uz temperaturu od 1 300 °C. Teorijski, taj proces obećava najvišu potencijalnu iskoristivost.
Od novih energetskih sustava najviše se istražuje fotovoltaika i pomoću mnogih demonstracijskih postrojenja ispituje njezina efikasnost. Obuhvaćena je elektroliza vode i stvaranje vodika i kisika strujom iz sunčevih ćelija, hibridne elektrane sunce — vjetar, samostalno djelovanje i uklapanje solarnih elektrana u elektroenergetski sustav. Mnoge vjetroelektrane rade već dulje vrijeme na obali Sjevernog mora, pa o njima ima dosta iskustva. Elektroprivreda podupire sada gradnju većih postrojenja u gorskim predjelima. Nisu zanemarene ni studije o uporabi otpadnih materijala (slama, otpaci drva itd.) i gradnja demonstracijskih uređaja.
Gorive ćelije na osnovi fosforne kiseline obećavaju visoku korisnost. Premda su manje blizu praktičnoj upotrebi, neka elektroprivredna poduzeća istražuju i druge tehnologije. U području prijenosa i razdiobe električne energije osnovni je predmet istraživanja problem smanjivanja gubitaka prijenosa i povećanje pogonske sigurnosti. Neki se projekti bave mogućnošću upotrebe visokotemperaturnih supravodiča u prijenosu električne energije. Znatan dio istraživanja vezan je na istraživačke ustanove koje se bave visokonaponskom i visokostrujnom tehnikom.
Studije iz područja potrošnje električne energije vezane su za konkretne demonstracijske projekte. Studirane su mogućnosti smanjenja emisije ugljik-dioksida i integracije obnovljivih energenata u pojedina opskrbna područja. Uz potporu elektroprivrede nekoliko se programa bavilo uvođenjem elektrovozila u praktičnu upotrebu.
U okviru projekata FE u D izrađivani su i neki radovi koji nemaju direktne veze ni s jednom od navedenih grupa, a tiču se zaštite okoliša i izobrazbe stručnih kadrova.
Na kraju treba upozoriti da i elektroprivreda, koja je na vrlo visokom tehničko tehnološkom nivou, ulaže vrlo velika sredstva u svoj razvoj i unapređenje, a koliko bi tek trebale o tome brinuti one zaostalije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 7

Mrk.

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

OKRUGLI STOL O TARIFNOM SUSTAVU ZA PRODAJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

U organizaciji **Hrvatskog komiteta Međunarodne konferencije za velike elektroenergetske sustave (HK CIGRE),** njezinih studijskih komiteta **31** i **37, te Hrvatskoga energetskoga društva,** a pod pokroviteljstvom **Ministarstva gospodarstva** Republike Hrvatske, održan je u Zagrebu 20. travnja 1994. Okrugli stol o Tarifnom sustavu za prodaju električne energije. O toj posebice važnoj temi govorili su poznati stručnjaci iz institucija koje se bave predlaganjem, primjenom i praćenjem primjene Tarifnog sustava, te predstavnici potrošača električne energije.
Svrha rasprave bila je ispitati iskustva trogodišnje provedbe postojećeg Tarifnog sustava, a osobito ocijeniti utjecaj ratnih okolnosti, društveno-gospodarskih i drugih promjena s kojima se nije moglo računati u vrijeme njegova donošenja. Shodno tome trebalo je ocijeniti koliko te okolnosti upućuju na potrebu dopuna i eventualnih izmjena Tarifnog sustava u smislu njegova poboljšanja, čime bi se izravno otklonile djelomične poteškoće do kojih je došlo tijekom njegove primjene, te posredno stvorili preduvjeti za njegovu daljnju dogradnju prema tarifnim sustavima razvijenih europskih elektroprivreda.
Ujedno je upozoreno na potrebu usklađivanja pariteta cijena svih energenata kod krajnjih potrošača kao temeljne sastavnice energetske politike.

Z. C.

OKRUGLI STOL O UTJECAJU ELEKTRIČNOG I MAGNETSKOG POLJA NA ŽIVA BIĆA

U organizaciji Hrvatskog komiteta Međunarodne konferencije za velike elektroenergetske sustave (HK CIGRE), njezina studijskog komiteta 36 Elektroenergetske smetnje, održan je u Zagrebu 31. svibnja 1994. Okrugli stol o utjecaju električnog, magnetskog i elektromagnetskog polja na živa bića. Prikazana su istraživanja provedena u sklopu raznih međunarodnih organizacija, moguća štetna djelovanja, granične vrijednosti jakosti polja usvojene u nekim zemljama na bazi ispitivanja i dane su sugestije za budući rad na nacionalnoj razini.
Također su razmatrane numeričke metode za analizu utjecaja polja na živa bića i način mjerenja tih polja.

Z. C.

TEHNOMEHANIKA
MARIJA BISTRICA - CROATIA

PROIZVODNJA SPECIJALNIH KONSTRUKCIJA I HIDRAULIČNIH NADGRADNJI

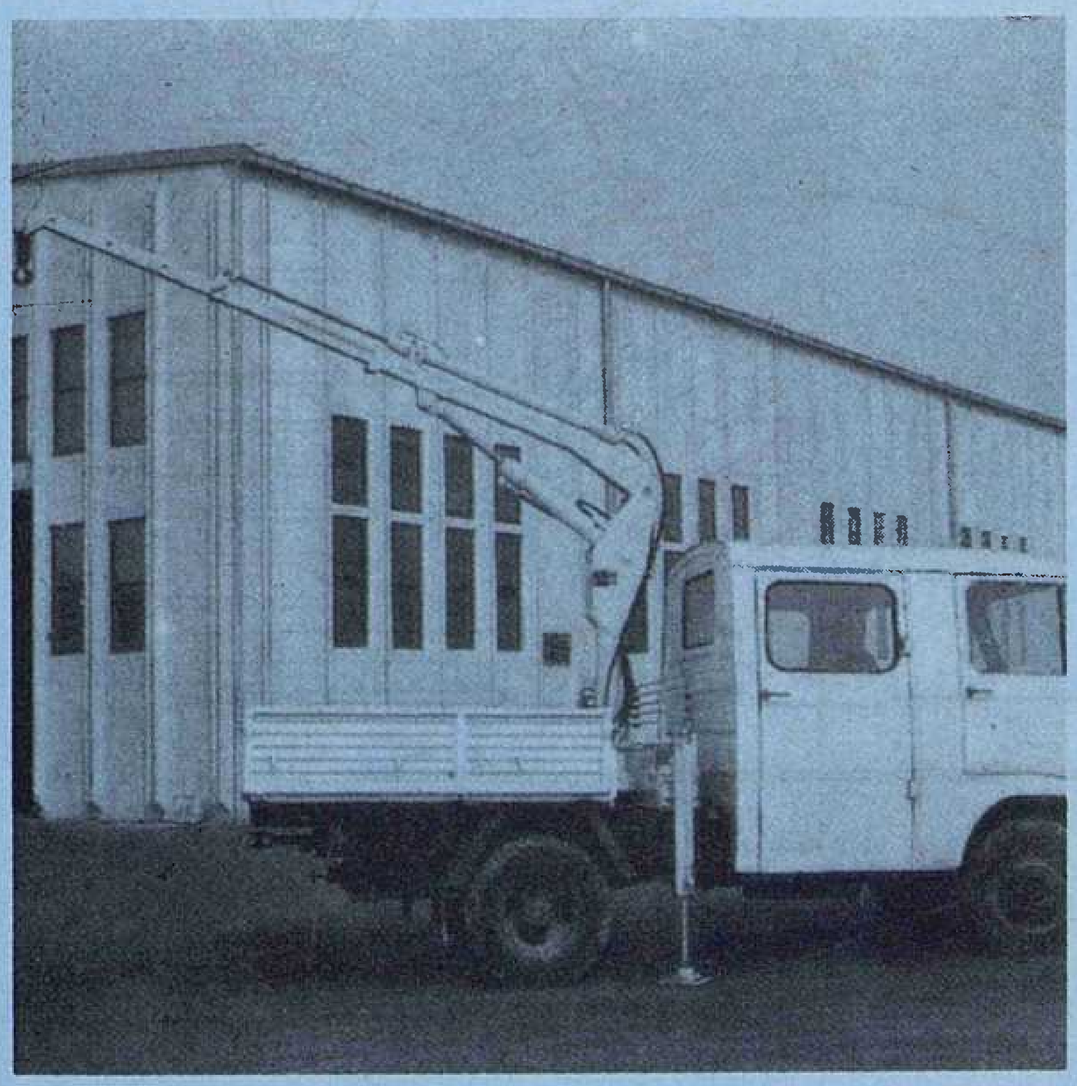
Novosti iz »Tehnomehanike«

Dugogodišnji partner HEP-a u proizvodnji dizalica i platformi, »TEHNOMEHANIKA« iz MARIJE BISTRICE, je u cjelini modernizirala svoj proizvodni program.

Usvajanjem tehnologije varenja i obrade mikrolegiranih čelika, konstrukcija dizalica i platformi postaje bitno laganija. Takvi proizvodi su podesniji za ugradnju na manja vozila, pa im se područje upotrebe bitno povećava.

Dosad su po toj tehnologiji proizvedene, ispitane i stavljene u serijsku proizvodnju dizalice HAK-2S i HAK-11Š.

Pozitivan odgovor domaćeg i stranih tržišta nalaže da se i ostali proizvodi izrade tom tehnologijom. Tako će odsad dizalice »TEHNOMEHANIKA« po svojoj masi konkurirati uvoznima.





Usporedna tablica tehničkih karakteristika dizalica izrađenih novom i starom tehnologijom govori samo za sebe!

	PRIJE HAK-2	NOVO HAK-2S
1. Moment podizanja	2000 dNm	2000 dNm
2. Maksimalna visina podizanja	5,8 m	6 m
3. Maksimalni krak (od simetrale stupa)	3,6 m	3,8 m
4. Kut zakretanja	270°	270°
5. Moment okretanja	490 dNm	490 dNm
6. Vlastita težina mase standardne izvedbe	685 kg	380 kg
7. Primjena na vozila vlastite mase preko	1700 kg	1400 kg

41246 Marija Bistrica, Stubička 4, Hrvatska

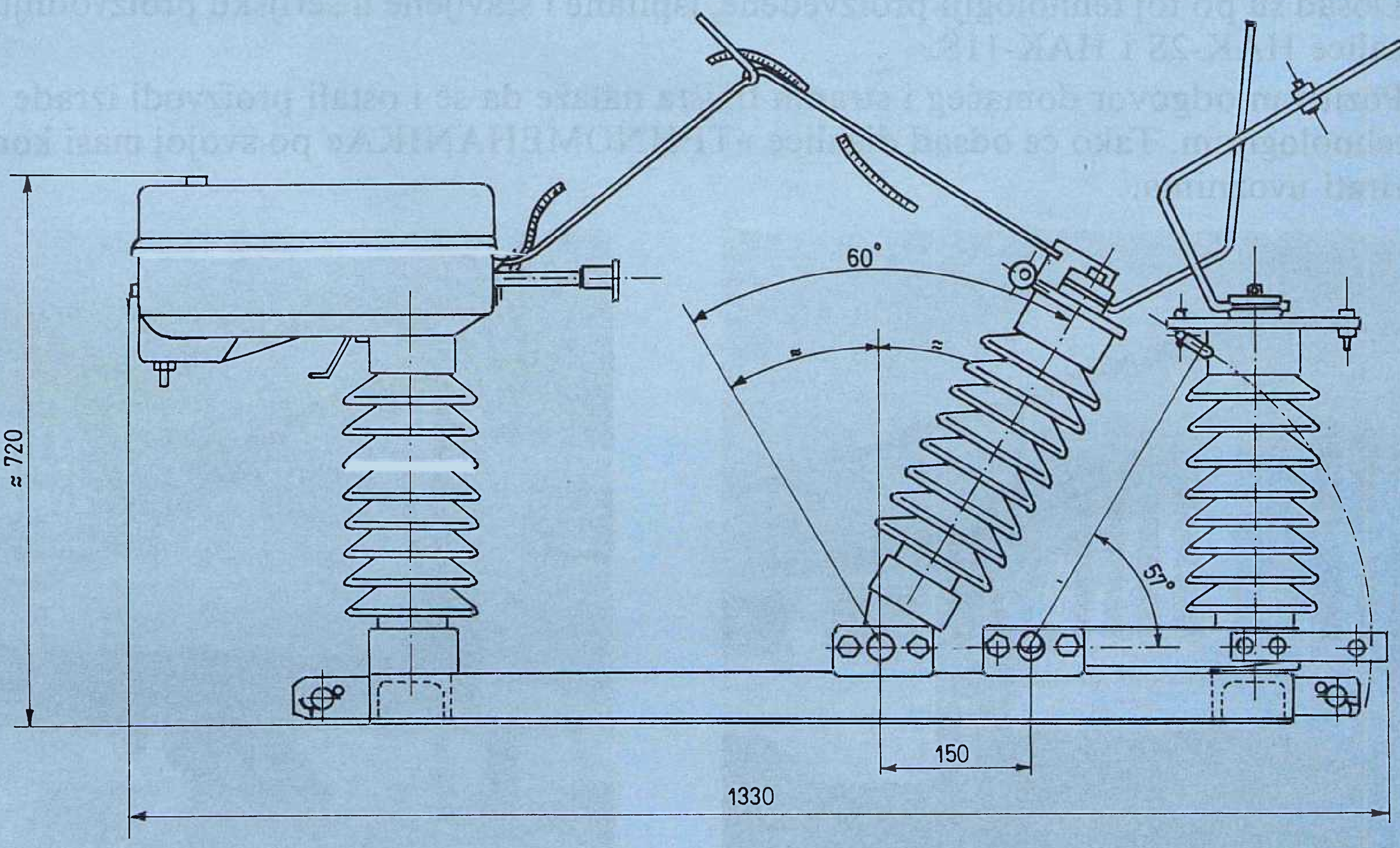
☎ 049/69-106, 69-126, 69-506, 69-516, 69-159 Fax: 69-087 Telex: 29227 TEHMAB

Predstavništvo: Zagreb, Vukovićeva 3, 041/174-284, Tel/fax: 041/174-264

Žiro račun: 35210-601-495 D. Stubica

RASTAVLJAČ SA UREĐAJEM ZA AUTOMATSKO ODVAJANJE VODA U KVARU

5 LRS-RU



ELEKTROPROIZVOD

41 000 ZAGREB, Savski Gaj XIII put br. 20
Tel./Fax.: (041) 521-804

TEHNIČKI OPIS:

PRIMJENA: Vanjska montaža u normalnim pogonskim uvjetima prema IEC stand.

MONTAŽA: Na drveni, betonski ili metalni stup

POLOŽAJ: Horizontalni

MATERIJALI: Fe/Zn profili, niklani bakar porculanski izolatori, PVC kućište.

ISPITIVANJE: Prema IEC stand.

POLNI RAZMAK: Min. 500 do max. 1200 kontinuirano

POGON: Polužni sa zabravljivanjem dužine do 15 m (jednostruki, dvostruki ili trostruki)

TEHNIČKI PODACI:

NAZIVNI NAPON ..... 24 kV

NAZIVNA STRUJA ..... 200 A

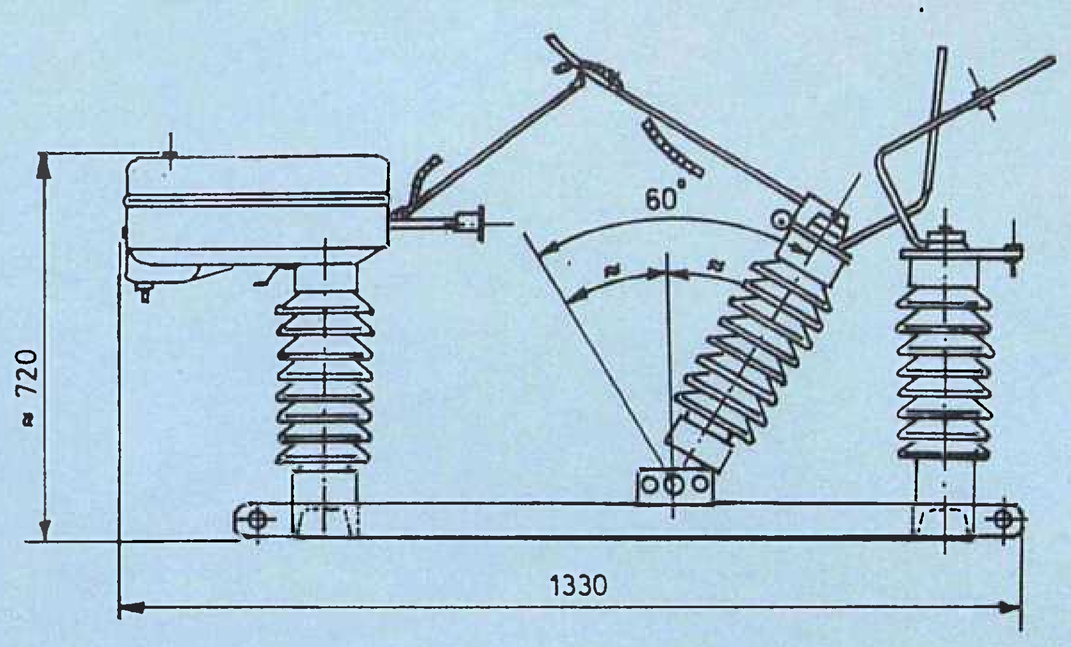
NAZIVNA kratkotrajna podnosiva struja
1 sek ..... 8 kA

NAZIVNA podnosiva tjem. vrijed. str. ..... 20 kA

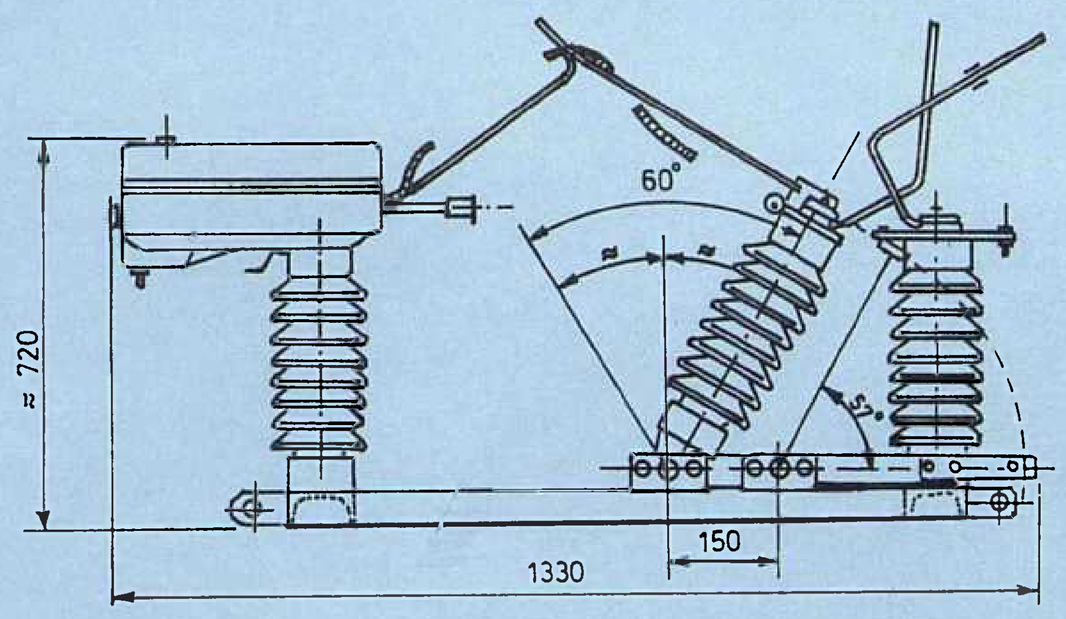
NAZIVNI podnosivi atmosferski udarni napon 12/50
- prema zemlji i između polova .. 125 kV
- na rastavnom razmaku ..... 145 kV

NAZIVNI podnosivi napon 50 Hz, 1 min
- prema zemlji i između polova ... 50 kV
- na rastavnom razmaku ..... 60 kV

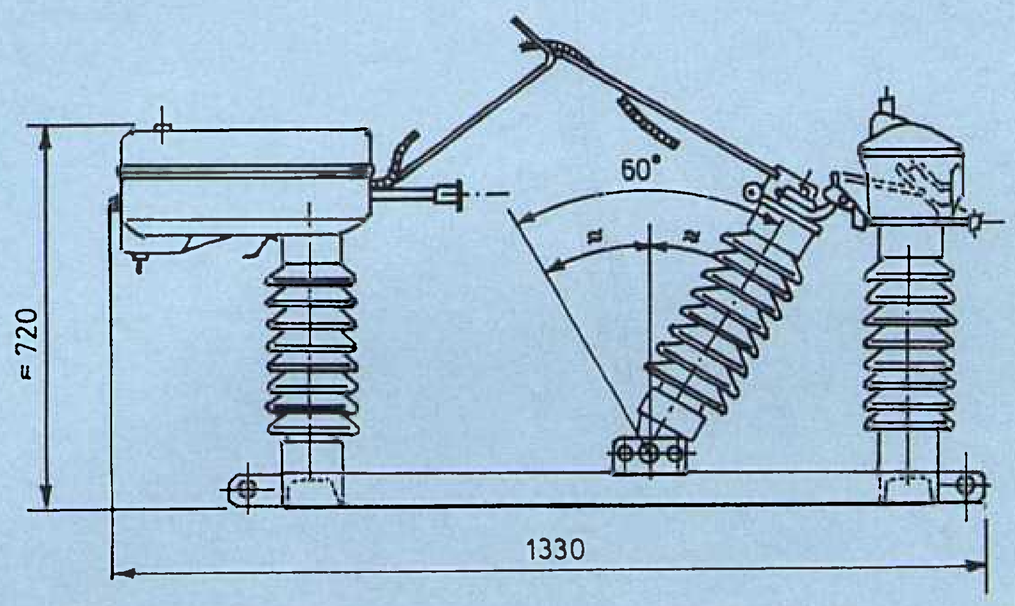
IZVEDBA



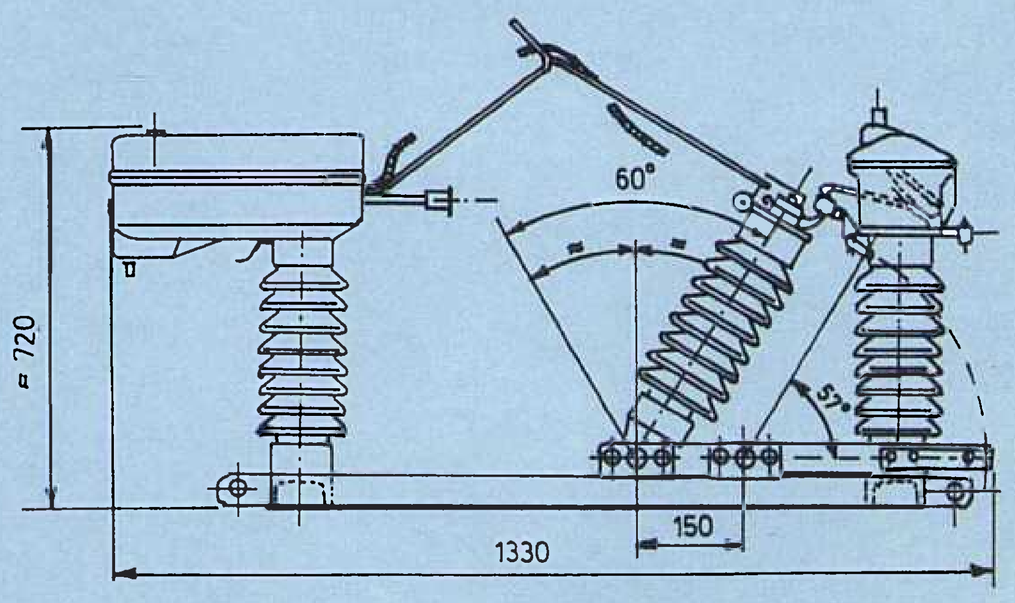
5 LRS RU 24-200-III-700



5 LRSZ RU 24-200-III-700



5 ZRS RU 24-200-III-700



5 ZRSZ RU 24-200-700

ELEKTROPROIZVOD

Služi za informaciju

Pridržava se pravo izmjene podataka

UDK 621.31

ENJAAC 43 (5) — (1994) 263 – 322

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 43 (1994) Zagreb 1994 Br. 5

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu i energetiku d. d., Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro *Stanković,* dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zdenka *Jelić,* prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Slavica *Barta,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb — Anđelko *Dujmović,* dipl. inž., Direkcija za distribuciju, Osijek — Bruno *Šaina,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Prijenosno područje Opatija — Marijan *Kovač,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, PP Primorskog sliva, Tribalj — mr. Damir *Subašić,* dipl. inž., Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko *Cvetković,* dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić,* prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. Goran *Granić,* dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl,* dipl. inž. — »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić,* dipl. inž. — »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković,* dipl. inž. — »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić,* dipl. inž. i Dasenko *Baldasari,* dipl. inž. — »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović,* dipl. ecc., Mladen *Mandić,* dipl. ecc. i Marijan *Magdić,* dipl. ecc. — »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša,* dipl. inž. — »Informatika«, Nikola *Lastrić,* dipl. inž. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko *Mališ* — Lektor — Lingvistic Adviser: Vladimir *Strojny,* prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko,* dipl. inž.

Redakcija završena 1994 — 09 — 22

SADRŽAJ

Blecha K. — Votlucka I. — Svarc L. — Konecny G. — Grieger V. — Csehek M. — Kapas M. — Dobroczek A. — Zieliński Z. — Kranhold M. — Gudat R.: Ispitivanja sposobnosti regulacijskog odgovora u izoliranom sistemu CENTREL-a i VEAG-a u dinamičkim i statičkim pogonskim uvjetima (Pregledni članak) . 265

Nevečerel D.: Rješavanje problematike nesimetričnog opterećenja EES-a planiranom izmjeničnom elektrovučom na potezu Zagreb — Moravice — Rijeka (Prethodno priopćenje) 271

Plačko I.: Istraživanja utjecaja električnog i magnetskog polja na žive organizme (Prethodno priopćenje) 283

Cvetković Z.: Istočno-zapadna europska interkonekcija (Pregledni rad) 291

Krulc Z.: Mogu li se izbjeći katastrofalne posljedice udara munje (Pregledni članak) 299

Protić R.: Tendencije potrošnje prirodnog plina kao goriva u termoelektranama (Pregledni članak) . . . 303

Vijesti iz elektroprivrede 315

In memoriam Ivanu Radmanu 316

Iz strane stručne literature 317

Savjetovanja i konferencije 321

Slika na omotnoj strani
SLAPOVI KRKE

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Avenija Vukovar 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 625-328 i 625-111/328, telefax: 041/530-604

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 40 DEM, a za poduzeća i ustanove 80 DEM (za studente 20 DEM). Cijena pojedinog broja u prodaji 8 DEM.

Pretplata je iskazana u DEM, a uplaćuje se u dinarskoj protuvrijednosti na dan uplate.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:
— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

ISPITIVANJA SPOSOBNOSTI REGULACIJSKOG ODGOVORA U IZOLIRANOM SISTEMU *CENTREL*-a I *VEAG*-a U DINAMIČKIM I STATIČKIM POGONSKIM UVJETIMA

CONTROL RESPONSE CAPABILITY TESTS FOR ISOLATED *CENTREL* AND *VEAG* POWER SYSTEM IN DYNAMIC AND STATIC OPERATIONAL CONDITIONS

Blecha K. — Votlucka I. — Svarc L. (voditelj), Češka, Konecny G. — Grieger V., Slovačka, Csehek M. — Kapas M., Madžarska, Dobroczek A. — Zieliński Z. (autor Izvještaja), Poljska, Kranhold M. — Gudat R. VEAG

UDK 621.31.621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

Članak je nastavak izvješća o pokusnom pogonu EES-a VEAG-a i UCPTE-a objavljenog u Energiji 4/94, s posebnim osvrtom na primarnu i sekundarnu regulaciju.

Ključne riječi: CENTREL, UCPTE, EES.

1. UVOD

Glavni direktori ČEZ-a (Češka Republika), SEP-a (Slovačka), MVMRt-a (Mađarska) i PSE-a (Poljska) potpisali su 11. listopada 1992. osnivačku povelju regionalne grupacije CENTREL. Dogovoren je također usaglašen proces uvođenja nužnih mjera za zadovoljavanje standarda, preporuka i pravila koja su na snazi u UCPTE-u. Cilj je postupna integracija, kooperacija i aktivna interkonekcija sa sistemom UCPTE. Interkonekcija uključuje opasnost od prisilnog odvajanja CENTREL-a od ostaloga dijela prije integriranoga *Udruženoga energetskoga sistema* s centralnim dispečingom, što bi uzrokovalo otočni pogon. Istodobno moraju biti zadovoljeni svi zahtjevi za dovoljnim dinamičkim svojstvima koja osiguravaju zadovoljavajuću sigurnost i pouzdanost pogona.

2. PRIPREMA POKUSA U *CENTREL-u* I *VEAG-u*

Nakon završetka relevantnih studija i analiza ispitivanih sistema pokazalo se da će potreba osiguravanja dovoljne rezerve za primarnu i sekundarnu regulaciju — uključujući odgovarajuće povezanog cijeloga interkonektivnog sistema, jednako tako kao i u svakom pojedinačnom sistemu — biti jedan od najvažnijih zahtjeva za osiguravanje dinamičkih svojstava CENTREL-a. Ti su zahtjevi također sadržani u »Katalogu mjera za interkonekciju sa UCPTE-om« s kojima su se suglasile prije navedaena elektroprivredne organizacije i predstavnik UCPTE-a na sastanku 12. listopada 1992. u Pragu.

INTRODUCTION

On October 11, 1992 the general managers of ČEZ (the Czech Republic), SEP (the Slovak Republic), MVMRt (Hungary) and PSE (Poland) power companies signed the Foundation Charter of the CENTREL regional group. The coordinated process for introducing the necessary measures in order to fulfill the standards, recommendations and rules effective in the UCPTE, has been also agreed. It is aimed at the gradual integration, cooperation and active interconnection with the UCPTE power system. The integration involves a risk of forced disconnection of CENTREL from the rest of the former interconnected power system joint under the Central Dispatching Organization of the Interconnected Power System, causing an island operation of the system. At the same time all requirements on sufficient dynamic properties ensuring satisfactory safety and reliability of the operation must be met.

PREPARATION OF CENTREL AND VEAG TESTS

After performing the relevant studies and analyses in the investigated power systems, the need of securing sufficient reserves of the primary and secondary control, including corresponding linkages in the whole interconneced system, as well as in each particular system in terms of the source, seems to be one of the most important requirements for securing the dynamic properties of CENTREL. These requirements are also included in »The Catalogue of Measures

Pojedinačne elektroprivredne organizacije udružene u CENTREL poduzimaju sada mjere za uvođenje primarne regulacije proizvodnih jedinica što će pomoći osiguravanju dovoljne rezerve primarne snage, poboljšavajući dinamiku sekundarne regulacije uz održavanje rezerve sekundarne snage i poboljšavajući dispečarsku disciplinu na svakoj razini upravljanja. Navedene mjere traže provjeravanje ispravnoga djelovanja postrojenja u realnim pogonskim uvjetima CENTREL-ova interkonektivnog sistema, jednako tako kao i uzastopnu ocjenu rezultata i određivanje zajedničke procedure za iduće razdoblje. Zbog toga su se navedene elektroprivredne organizacije dogovorile da provedu sustavno testiranje dinamičkih svojstava u drugoj polovici 1993, kada će već uvedene mjere na području primarne i sekundarne regulacije dopustiti njegovo provođenje bez rizika i pokazati konkretne rezultate.

Glavni ciljevi pokusa bili su (u suglasju sa UCPTE--ovim preporukama i zahtjevima):

— ispitati sposobnost interkonektivnog sistema i svakog sistema pojedinačno da zadovolje (zahvaljujući vlastitim dinamičkim sposobnostima) ispade većih generatora i tereta i da budu minimalne varijacije frekvencije u normalnom i poremećenom pogonu
— ispitati statička i dinamička svojstva pojedinačnih sistema
— ispitati primarnu regulaciju proizvodnih jedinica različitih snaga koje rade u realnim pogonskim uvjetima (dakle ne simulacije), uključujući veze s postrojenjem i upravljanjem te regulacijskim sistemima
— ispitati ispravnost djelovanja primarne i sekundarne regulacije ispitivanog sistema pri iznenadnim ispadima u pogonu
— ispitati funkcijske veze primarne regulacije proizvodnih jedinica i sekundarnu regulaciju pojedinačnih sistema
— ispitati tokove snaga interkonektivnim vodovima pri ispadima proizvodnih jedinica i/ili tereta u ispitivanim sistemima u odnosu na primarnu i sekundarnu regulaciju
— ispitati odvojeni pogon ispitivanih sistema od bivše interkonekcije »PES-MIR« (i/ili uvjete pri iznenadnom razdvajanju)
— promatranje ponašanja pogonskog osoblja pri primarnoj i sekundarnoj regulaciji i tijekom iznenadnih promjena snage
— dokazati ispravnu proceduru za ispunjavanje preporuka i zahtjeva UCPTE-a u području primarne i sekundarne regulacije; određivanje realnog krajnjeg roka adaptacije sistema CENTREL-a za kooperaciju sa sistemom UCPTE-a sa stajališta sposobnosti regulacijskog odgovora sistema.

Formirana je jedna međunarodna »ad hoc« grupa specijalista da pripremi pokuse u sistemu u svim poduzećima CENTREL-a. Ta je grupa kasnije dopunjenja predstavnicima VEAG-a zbog njihova izraženog interesa da sudjeluju u pokusima zajedno sa CENTREL-om.

for the Interconnection to UCPTE« which was agreed by the above given power companies and UCPTE member at the meeting in Prague on October 12, 1992.

At present, the individual power companies of CENTREL are taking measures for introducing the primary control of power reserve, improving the dynamics of the secondary control while maintaing the secondary power reserve and improving the dispatcher's discipline at each level of the management. The above mentined measures call for checking the proper equipment function in real operating conditions of the CENTREL interconnected system, as well as for the subsequent evaluation of the results and determination of a joint procedure to be followed in the period to come. This is why the above mentioned companies have agreed to carry out the system tests of the dynamic properties in the second half of 1993 when the already introduced measures in the field of the primary and secondary control allowed for their risk-free implementation and showed concrete results.

The main aims of the tests (in accordance with the UCPTE recommendations and requirements) were as follows:

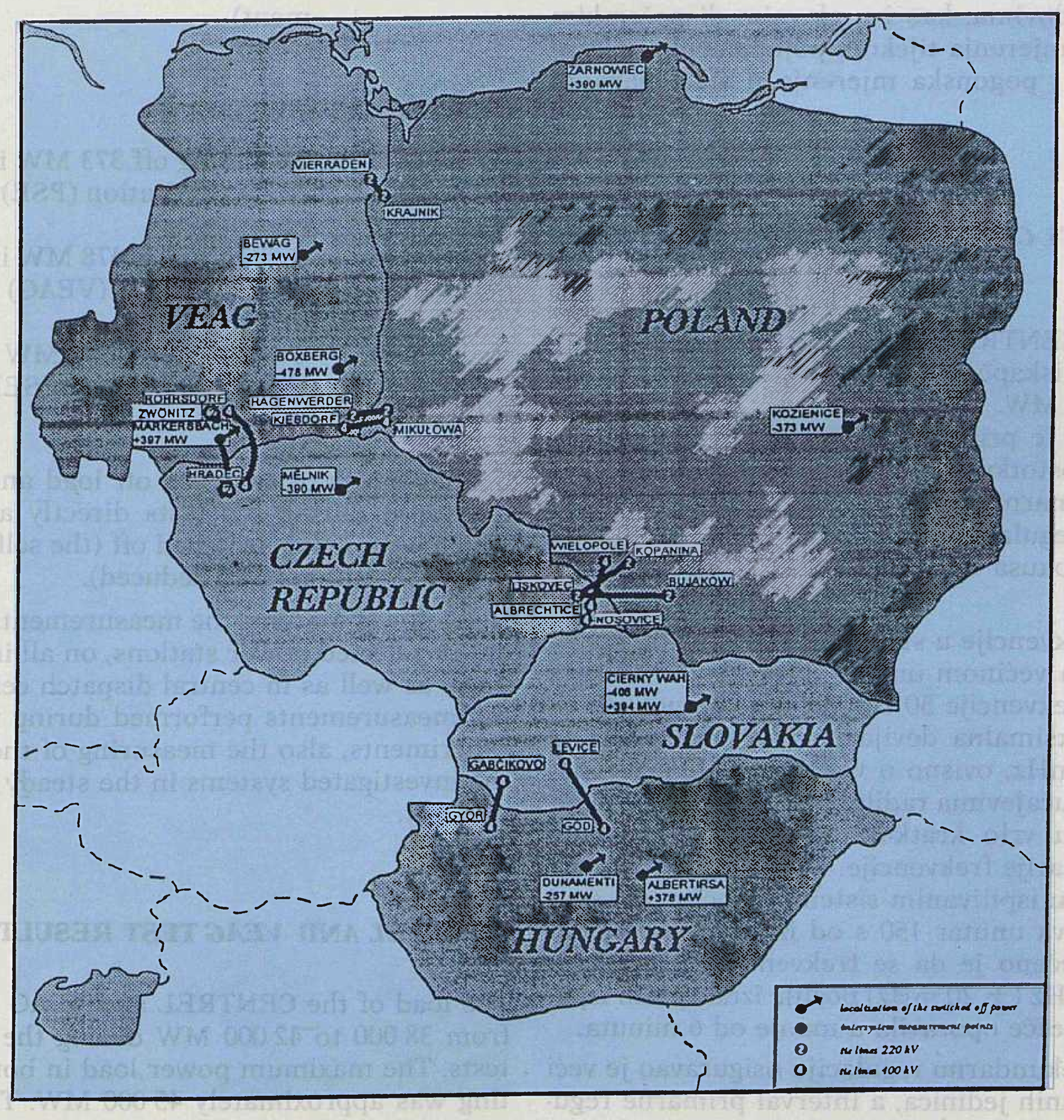
— checking the capabilities of the interconnected system and each power system to cope (thanks to its dynamic capabilities) with the outages of bigger power units and with load and to maintain the minimum frequency variation at a failure-free, and/or emergency operation.
— checking the static and dynamic characteristics of individual power systems.
— checking the primary control of the power units of different outputs; functioning in real operational conditions (not a simulation), including links to the equipment and control and regulation systems.
— checking the proper function of primary and secondary control of the investigated power system operation with sudden outages.
— checking the function links of the primary control of the power units and the secondary control of individual power systems,
— checking — in relation to the primary and secondary control — the power flows at the tie-lines during the power units' outages, and/or the load in the investigated power systems,
— checking the separated operation of the power systems under investigation from the former »PES — MIR« interconnection (and/or conditions at a sudden disconnecting),
— observation of operating personnel behaviour during primary and secondary control operation and during sudden power changes,
— proving the correct procedure for fulfilling the UCPTE recommendations and requirements in the field of primary and secondary control; determining a realistic deadline of the CENTREL system adaptation for cooperation with UCPTE system from the point of view of system control response capability.

Ta je grupa izradila program pokusa u sistemu, njihovu koordinaciju i organizaciju. Program je uključivao opseg mjerenja i metodologiju ocjene rezultata, jednako kao i pripremu sistema za pokuse.
Testovi sposobnosti regulacijskog odgovora izoliranog CENTREL-ova i VEAG-a sistema provedeni su 29. i 30. rujna 1993 (sl. 1).
Poslije preliminarnih priprema i isključivanja svih poveznih vodova izolirali su 29. rujna 1993. CENTREL i VEAG ispitivane sisteme, iskapčanjem u 8:30 dalekovoda 750 kV Albertirsa-Zapadnoukrainskaya (MVMRt) opterećenog s oko 300 MW u smjeru Ukrajine. U iduća dva dana izvedeno je osam sklopnih operacija sa 300 – 500 MW (bez vlastite potrošnje). Raspored sklopnih operacija bio je sljedeći:

29. rujna 1993.

8:30 — iskapčanje DV 750 kV Albertirsa-Zapadnoukrainskya opterećenog sa 378 MW (MVMRt); prvo mjerenje.
11:30 — iskapčanje 257 MW u elektrani Dunamenti; drugo mjerenje.

An international »ad hoc group« of specialists have been established to prepare the system tests in all power utilities of CENTREL. Afterwards this group was complemented by the VEAG representatives, as this company expressed its interest to participate in the tests together with CENTREL. The group has worked out a program of system tests, their coordination and organization. The program included the extent of measurements and methodology of results evaluation, as well as the preparation of the systems to the tests.
On September 29 and 30, 1993 the tests of control response capabilities of isolated CENTREL and VEAG system were carried out (see Fig. 1).
After the preliminary preparations and switching off all the tie lines, CENTREL and VEAG islanded the investigated systems by switching off the 750 kV Albertisa — Zapadoukrainskaya line (MVMRt) with the load of approx. 300 MW in the direction to Ukraina at 8 : 30 a.m. on September 29, 1993. In the following two days eight switching operations totaling 300 — 500 MW power loads (without self consumption) we-



Slika 1. Karta ispitivanog CENTREL-ovog i VEAG-ovog sustava

Fig. 1 A map of the tested CENTREL and VEAG system
*** Localisation of the switched off power**
*** Intersystem measurement points**
*** 220 kV lines**
*** 400 kV lines**

12:30 — iskapčanje 390 MW u pumpnoj elektrani Zarnowiec (PSE), treće mjerenje.
14:30 — iskapčanje 397 MW u pumpnoj elektrani Markersbach (VEAG); četvrto mjerenje.
15:30 — iskapčanje 406 MW u pumpnoj elektrani Čierny Váh (SEP); peto mjerenje.
16:30 — iskapčanje 390 MW u elektrani Melnik (ČEZ); šesto mjerenje.

30. rujna 1993.

8:30 — iskapčanje 373 MW u elektrani Kozienice (PSE); sedmo mjerenje.
9:30 — iskapčanje 478 MW u elektrani Boxberg (VEAG); osmo mjerenje.
10:30 — iskapčanje 394 MW u elektrani Čierny Váh (SEP); deveto mjerenje.

Sve vrijednosti iskapčanih tereta i snaga mjerene su tijekom pokusa direktno na mjestu iskapčanja (vlastita potrošnja elektrana je izvedena).

U svim sistemima mjerenja su provedena u odabranim elektranama, na svim međusistemskim interkonektivnim vodovima, kao i u glavnim dispečerskim centrima. Uz mjerenja tijekom pojedinačnih pokusa obavljana su i pogonska mjerenja u stacionarnom stanju.

3. REZULTATI *CENTREL*-ovih I *VEAG*-ovih POKUSA

Opterećenje CENTREL-ova i VEAG-ova sistema tijekom pokusa iskapčanja variralo je između 30 000 MW i 42 000 MW. Maksimalna snaga u oba dana mjerenja bila je približno 45 000 MW. Regulacijska rezerva (u postotku ukupnog opterećenja sistema) bila je za primarnu regulaciju od ± 3.0 do 3.2%, za sekundarnu regulaciju od ± 5.2 do 6.2%. Za vrijeme dinamičkih pokusa bila je rotirajuća rezerva od 7.4 do 12.4%.

Devijacija frekvencije u statičkim stanjima bila je tijekom pokusa većinom unutar intervala ± 20 mHz od nazivne frekvencije 50 Hz. Za vrijeme pokusa iskapčanja maksimalna devijacija frekvencije bila je od 50 do 80 mHz, ovisno o veličini ispale proizvodnje. U svim slučajevima radila je primarna regulacija dinamički i u vrlo kratkom vremenu izravnavala izabrane varijacije frekvencije. Djelovanje sekundarne regulacije u ispitivanim sistemima očitovalo se u većini slučajeva unutar 150 s od iznenadnog ispada snage. Primjećeno je da se frekvencije na nazivnu vrijednost 50 Hz (± 20 mHz) poslije iznenadnih ispada snage najčešće oporavila u manje od 6 minuta.

Primarnu i sekundarnu regulaciju osiguravao je veći broj proizvodnih jedinica, a interval primarne regulacije bio je za većinu jedinica ± 5%. Neosjetljivost primarne regulacije za većinu jedinica koje su bile u pogonu postavljena je na 0 Hz, a statizam 4–5%. U svim je slučajevima bila očita dobra suradnja primarne i sekundarne regulacije.

re carried out. The schedule of switching operation was as follows:

September 29, 1993

8 : 30 a.m. — Switching off the 750 kV Albertisa — Zapadoukrainskaya line with the load of 378 MW (MVMRt) (1st measurement)
11 : 30 a.m. — Switching off 257 MW in the Dunamenti Power Station (2nd measurement)
12 : 30 p.m. — Switching off 390 MW in the Zarnowiec Pumped-Storage Power Station (PSE) (3rd measurement)
2 : 30 p.m. — Switching off 397 MW in the Markersbach Pumped-Storage Power Station (VEAG) (4th measurement)
3 : 30 p.m. — Switching off 406 MW in the Čierny Váh Pumped-Storage Power Station (SEP) (5th measurement)
4 : 30 p.m. — Switching off 390 MW in the Melník Power Station (ČEZ) (6th measurement)

September 30, 1993

8 : 30 a.m. — Switching off 373 MW in the Kozienice Power Station (PSE) (7th measurement)
9 : 30 a.m. — Switching off 478 MW in the Boxberg Power Station (VEAG) (8th measurement)
10 : 30 a.m. — Switching off 394 MW in the Čierny Váh Power Station (SEP) (9th measurement).

All the values of switched off load and power were measured during the tests directly at the sources which were being switched off (the self-consumption of power stations was deduced).

In all power systems the measurements were carried out in selected power stations, on all intersystem tie lines, as well as in central dispatch centers. Besides the measurements performed during the individual experiments, also the measuring of the operation of the investigated systems in the steady state was carried out.

CENTREL AND *VEAG* TEST RESULTS

The load of the CENTREL and VEAG system varied from 38 000 to 42 000 MW during the switching off tests. The maximum power load in both days of testing was approximately 45 000 MW. The control reserve (in per cent of the total system power load) for primary control was maintained at the value of ±3.0 to 3.2%, for secondary control at the value of ±5.2 to 6.2%. During the dynamic tests the spinning reserve was of 7.4 to 12.4%.

Energija, god. 43 (1994) 5, 265 – 270

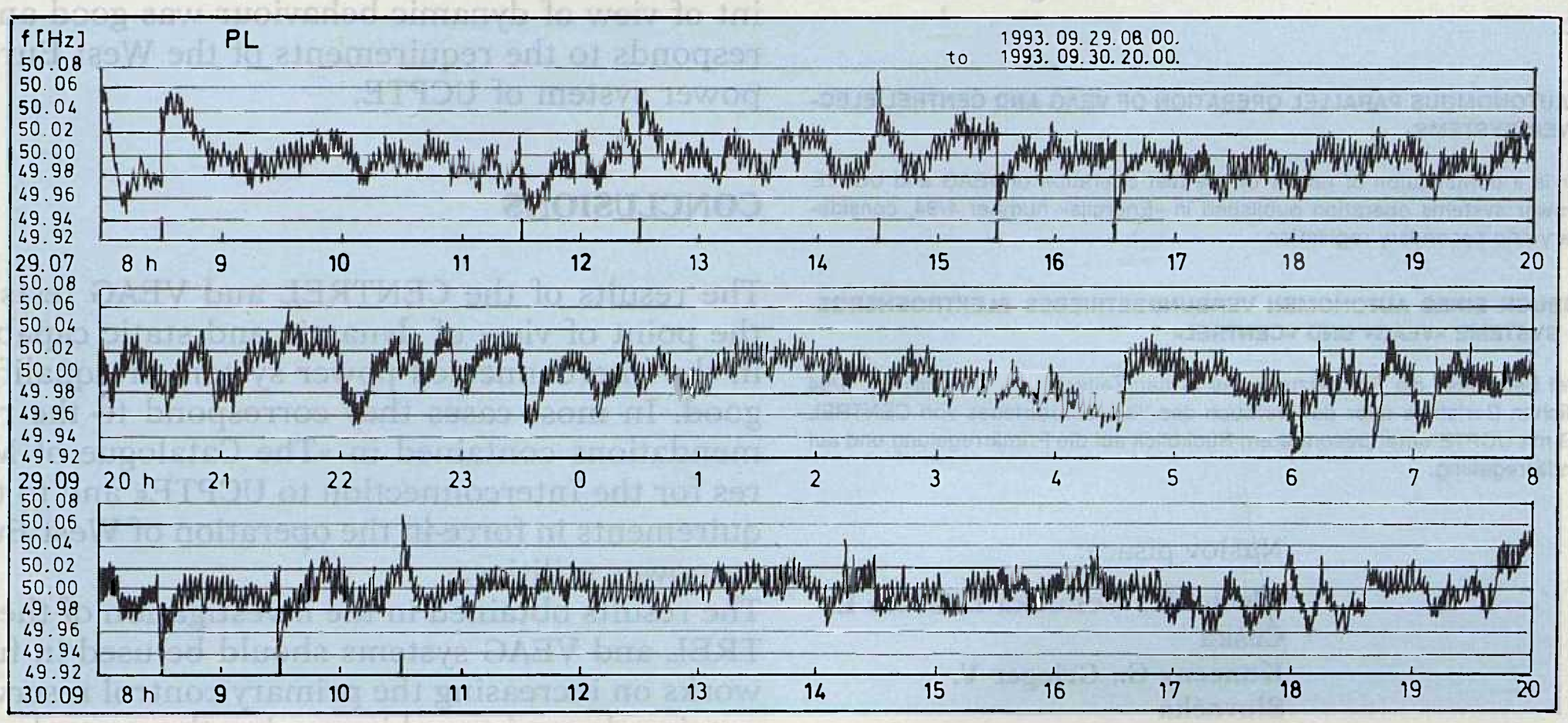
Koeficijent regulacijske snage k (MW/Hz) CENTREL-ova i VEAG-ova sistema bio je u većini pokusa približno 9 000 MW/Hz, tj. više od 20% opterećenja sistema.

I ta činjenica dokazuje dobru suradnju primarne i sekundarne regulacije. Treba istaknuti da su pokusi izvođeni s relativno malim djelatnim snagama (opterećenje oko 40 000 MW) u usporedbi s većim sistemima od nekoliko stotina tisuća MW djelatne snage. Usprkos tome, frekvencija se održavala u opsegu ± 20 MHz nazivne vrijednosti tijekom više od 80% ukupnog vremena pokusa (uključivo one iskapčanja) (sl. 2. i 3).

Može se reći da je s dinamičkog stajališta ponašanje sistema CENTREL-a i VEAG-a tijekom testova bilo dobro i u skladu sa zahtjevima zapadnoeuropskog sistema UCPTE.

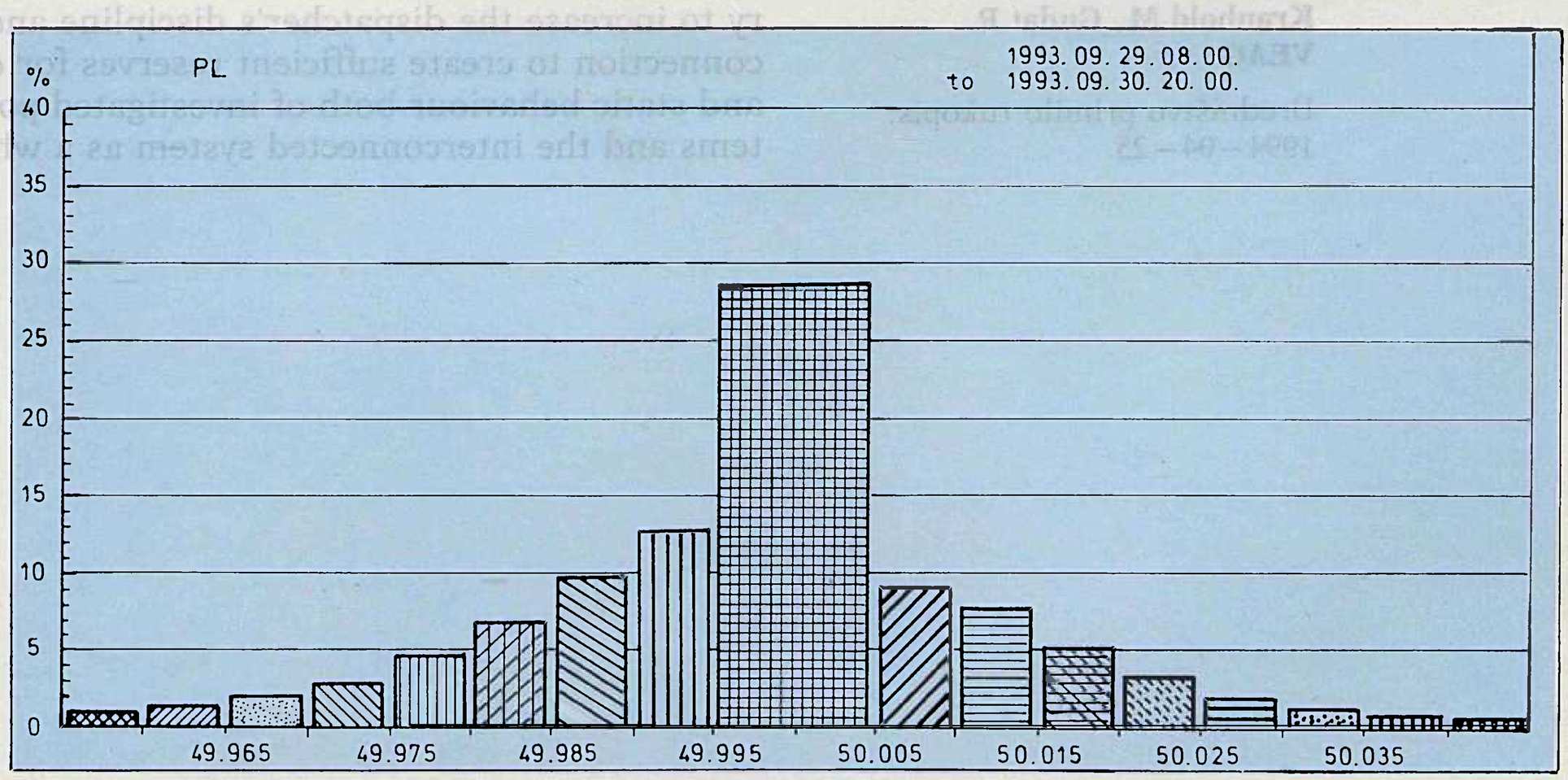
Most of the time during the tests, the frequency deviations in static states were within the band of ±20 mHz from the nominal frequency of 50 Hz. During the switching off test, the maximum frequency deviation was 50 – 80 mHz depending on the value of switched off output. In all cases the primary control operated dynamically and in a very short time covered the chosen frequency variations. The operation of the secondary control in investigated systems was evident in most cases within 150 sec. since the sudden power outage. After sudden active power outages the recovery of frequency to nominal value of 50 Hz (±20 mHz) in majority of cases have been observed in less than 6 minutes.

The primary and secondary control covered a bigger number of power units and the primary control margin in most units was ±5%. The non-sensitivity of primary control in most operated units was set to 0



Slika 2. Vremenski tijek frekvencije tijekom svih 36 sati trajanja testa

Fig. 2 Frequency vs. time diagram for 36 hour tests



Slika 3. Histogram frekvencije za cijelo razdoblje trajanja testa (36 sati)

Fig. 3 Histogram for 36 hour tests of frequency

4. ZAKLJUČAK

Rezultati testova CENTREL-a i VEAG-a sa stajališta dinamičkih i statičkih sposobnosti interkonektivnog sistema ocjenjuju se dobrima. Oni najčešće odgovaraju preporukama sadržanim u »Katalogu mjera za interkonekciju sa UCPTE-om« i zahtjevima koji vrijede u pogonu u zapadnoeuropskim poduzećima.

Rezultatima koji su postignuti u ispitivanjima CENTREL-ova i VEAG-ova sistema treba se koristiti u daljnjim nastojanjima na povećanju rezerve primarne regulacije, poboljšavanju dinamike i povećanju regulacijske margine u sekundarnoj regulaciji, jednako kao i poboljšavanju koordinacije s centralnim Paf regulatorom i postavljanju njegovih optimalnih parametara. Istovremeno je nužno povećati dispečersku disciplinu i u tom smislu stvoriti dovoljnu rezervu za dinamičko i statičko ponašanje i pojedinačnih ispitivanih sistema i interkonektivnog sistema kao cjeline.

TEST OF AUTONOMOUS PARALLEL OPERATION OF VEAG AND CENTREL ELECTRIC POWER SYSTEMS

The paper is a continuation of review of the test operation of VEAG and UCPTE electric power systems operation published in »Energija« number 4/94, considering primary and secondary regulation.

DER VERSUCH EINES AUTONOMEN VERBUNDBETRIEBES ELEKTROENERGETISCHER SYSTEME »VEAG« UND »CENTREL«

Der Artikel beinhaltet die Fortsetzung des in der Zeitschrift »Energija« Nr. 4/94 veröffentlichen Berichtes über den Versuch des Verbundbetriebes von CENTREL und VEAG mit UCPTE unter besonderem Rückblick auf die Primärregelung und auf die Sekundärregelung.

Naslov pisaca:

Blecha K., Votlucka I., Svarc L.
Češka
Konecny G., Grieger V.
Slovačka
Csehek M., Kapas M.
Mađarska
Dobroczek A., Zieliński Z.
Poljska
Kranhold M., Gudat R.
VEAG

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 04 – 25.

mHz, the statism to 4 – 5%. In all cases the good cooperation between primary and secondary control was evident.

The coefficient of power system regulating energy k (MW/Hz) of CENTREL and VEAG system for majority of tests was approx. 9000 MW/Hz, i.e. over 20% of system power load.

Also this fact proves a good cooperation between the primary and secondary control. It is to be pointed out that the tests were carried out in a relatively small active power capacity (load of about 40 000 MW) as compared with large systems of several hundred thousands MW of active power capacity. In spite of this, during the tests (including switch off tests) the frequency was maintained in the range ±20 mHz of the nominal value for more than 80% of total time (Fig. 2,3).

It is possible to say that the CENTREL and VEAG power system function during the tests from the point of view of dynamic behaviour was good and corresponds to the requirements of the West European power system of UCPTE.

CONCLUSIONS

The results of the CENTREL and VEAG tests from the point of view of dynamic and static capabilities in the interconnected power system are qualified as good. In most cases they correspond to the recommendations contained in »The Catalogue of Measures for the Interconnection to UCPTE« and to the requirements in force in the operation of West European power utilities.

The results obtained in the investigation of the CENTREL and VEAG systems should be used in further works on increasing the primary control reserve, improving dynamics and increasing the control margin in the secondary control, as well as on improving coordination of central Paf regulator and setting their optimum parameters. At the same time it is necessary to increase the dispatcher's discipline and in this connection to create sufficient reserves for dynamic and static behaviour both of investigated power systems and the interconnected system as a whole.

RJEŠAVANJE PROBLEMATIKE NESIMETRIČNOG OPTEREĆENJA EES-a PLANIRANOM IZMJENIČNOM ELEKTROVUČOM NA POTEZU ZAGREB – MORAVICE – RIJEKA

Mr. Davor Nevečerel, Zagreb

UDK 621.3.016.3
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U časopisu »Energije«, br. 1/92 u članku [11] upozoreno je na nedopušteno veliko nesimetrično opterećenje EES-a, koja nastaju kao rezultat supstitucije istosmjerne elektrovuče izmjeničnom na potezu Moravice – Rijeka. U ovom se članku daje jedno jednostavno i efikasno rješenje navedenog problema, nakon kojeg će se razmatrani EES naći u znatno boljim okolnostima s obzirom na simetriranje potrošnje.

Ključne riječi: nesimetrije, elektrovuča, elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede.

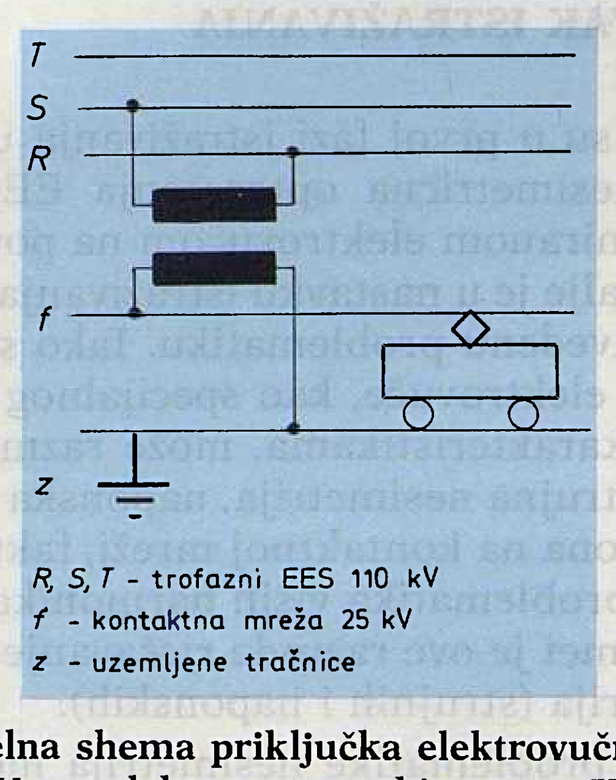
1. UVOD

Elektroenergetski sustav HEP-a može se pojednostavnjeno sagledati u djelatnostima proizvodnje, prijenosa i distribucije. U sferi distribucije predaje se energija potrošačima, koji mogu biti različitoga karaktera. U idealnom slučaju govorimo o simetričnom trofaznom potrošaču, koji je najpovoljniji sa stajališta eksploatacije EES-a. Međutim, općenito potrošači nesimetrično opterećuju mrežu, pa se konstantno simetrira potrošnja. U tom slučaju nesimetrično opterećenje može se prikazati rastavljanjem na simetrične komponente, tj. riječ je o transformaciji nesimetričnog sustava u tri simetrična, poznata kao direktni, inverzni i nulti sustav simetričnih komponenata.

U grupi nesimetričnih potrošača posebno mjesto ima elektrovuča ostvarena jednofaznim naponom 25 kV, 50 Hz. Riječ je o značajnom nesimetričnom potrošaču, s mogućim reperkusijama na pogon elektroenergetskog sustava. U nastavku će se analizirati navedeni specijalni potrošač, radi osiguranja dovoljne pouzadnosti pogona mreže 110 kV i kvalitete napona duž željezničke magistrale Zagreb – Rijeka.

Elektrifikacija željezničke vuče jednofaznim naponom 25 kV, 50 HZ, ostvarena je priključkom jednofaznih željezničkih transformatora 110/25 kV između istih faza 4 i 8 (faze S i T, odnosno B i C) trofaznog elektroenergetskog sustava HEP-a. Ti transformatori su smješteni ili u elektroprivrednim transformatorskim stanicama, odnosno rasklopnim postrojenjima ili u željezničkim elektrovučnim podstanicama, pri čemu se napajaju preko željezničkih vodova (dvofaznih ili trofaznih) iz elektroprivrednih čvorišta. Radi sigurnosti pogona željezničke vuče prevladala je tendencija da se pruga elektrificira između istih faza. S elektroprivrednog stajališta to nije idealno rješenje, jer onemogućuje balansiranje opterećenja između pojedinih faza gledano sa stajališta sustava kao cjeline.

Takav priključak je, prema tome, za trofazni simetrični elektroenergetski sustav nesimetrično opterećenje, koje rastavom u sustav simetričnih komponenti pokazuje zamjetnu inverznu komponentu uz izostanak nulte komponente, jer je i dalje suma komponenata trofaznog sustava jednaka nuli. Načelna shema priključka elektrovučne podstanice (EVP-a) na trofaznu elektroenergetsku mrežu pokazuje slika 1.



Slika 1. Načelna shema priključka elektrovučne podstanice TS 110/25 kV na elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede

Elektrifikacija željezničke vuče na potezu radnog naslova Zagreb – Rijeka – Šapjane (u daljnjem tekstu: Zagreb – Rijeka) provedena je do EVP Moravica s četiri elektrovučne podstanice 2 × 7,5 MVA (EVP Mrzlo Polje, Moravice, Zdenčina i Oštarije). Budući da se u drugoj fazi planira nastavak elektrifikacije željezničke vuče do Rijeke odnosno Šapjane (supstitucija postojećega istosmjernog sustava 3 kV s izmjeničnim 25 kV, 50 Hz, [1]) sa šest novih elektrovučnih podstanica pojedinačnih snaga 2 × 7,5 MVA (EVP Delnice)

odnosno 2 × 15 MVA (EVP Vrata, Plase, Ivani, Draga i Matulji) blizu relativno malih hidrogeneratora u postrojenjima HE Gojak, HE Vinodol i HE Rijeka, pojavila se potreba za analizom nesimetričnog opterećenja uzrokovanog planiranom električnom vučom.

2. POČETNA ISTRAŽIVANJA

U prvoj fazi istraživanja [11] koja su provedena pomoću jednostavnoga matematičkog modela ustanovljen je znatan porast nesimetričnih opterećenja ulaskom u pogon svih 10 elektrovučnih podstanica (4 postojeće: EVP Mrzlo Polje, Moravice, Zdenčina i Oštarije +6 novih: EVP Delnice, Vrata, Plase, Ivani, Draga i Matulji) za napajanje električne vuče na potezu Zagreb – Rijeka. Istaknuta je važnost interkonektivnih točaka prijenosne mreže TS 400/110 kV Tumbri, TS 400/220/110 kV Melina odnosno TS 220/110 kV Pehlin i Senj. Posebno je apostrofirana opasnost izoliranog pogona pojedinih EVP-a na određeno proizvodno postrojenje (EVP Oštarije na HE Gojak, EVP Draga na HE Rijeka) što je već konstatirano mjerenjima [2], a koja može nastupiti ispadom odn. neraspoloživošću oba voda 110 kV za napajanje navedenih EVP-a (dvostrano napajanje EVP-a!). Upozoreno je na potrebu redovite kontrole ispravnosti rada zaštite od nesimetričnih opterećenja, a u slučaju postrojenja HE Rijeka premještanja priključka EVP Draga na alternativnu trojku dvosistemskog voda 110 kV Melina – Pehlin, kako je to predloženo i prihvaćeno u prijašnjoj razradi mreže »Elektroprimorja« [13].

3. NASTAVAK ISTRAŽIVANJA

Nakon što su u prvoj fazi istraživanja ustanovljena značajna nesimetrična opterećenja EES-a postojećom + planiranom elektrovučom na potezu Zagreb – Rijeka, dalje je u nastavku istraživanja traženo rješenje za navedenu problematiku. Iako se priključak izmjenične elektrovuče, kao specijalnog potrošača s posebnim karakteristikama, može razmatrati s više aspekata (strujna nesimetrija, naponska nesimetrija, padovi napona na kontaktnoj mreži, faktor snage lokomotive, problematika viših harmonika, relejna zaštita), predmet je ove razrade rješavanje problematike nesimetrija (strujnih i naponskih).

Rješavanje problematike nesimetrija možemo podijeliti na rješavanje uzroka ili posljedica. Rješavanje uzroka je npr. simetriranje nesimetričnog opterećenja, dok se rješavanje posljedica može sagledati u dodatnim zahvatima na ugroženim generatorima u blizini napajanja elektrovuče; međutim, takva rješenja su općenito nepraktična i ne rješavaju sustavno problematiku nesimetrija.

Nastavak istraživanja bio je zato dalje usmjeren u razmatranju mogućnosti permutiranja priključaka pojedinih EVP-a između različitih faza, tj. napuštanja dosadašnje prakse priključaka elektrovuče uvijek između dvije iste faze elektroenergetskog sustava, konkretno priključka primara željezničkog transformatora između faza S i T (4 i 8). U tom je smislu već pokrenuta inicijativa [14], a sada smo u prilici i kvantifikacijama poduprijeti taj prijedlog.

Opterećenja pojedinih elektrovučnih podstanica uzeta su prema [1], tablica 3.1, gdje električna vuča preko pojedinih elektrovučnih podstanica prema predviđenom voznom redu u režimu APB-a u konačnosti izgradnje opterećuje elektroenergetski sustav HEP-a sljedećim dvofaznim snagama:

EVP Mrzlo Polje	S2 = 8,66 MW-j 6,35 Mvar
EVP Moravice	S2 = 5,48 MW-j 4,11 Mvar
EVP Zdenčina	S2 = 9,24 MW-j 6,93 Mvar
EVP Oštarije	S2 = 8,08 MW-j 4,62 Mvar
EVP Delnice	S2 = 4.61 MW-j 3.46 Mvar
EVP Vrata	S2 = 9.24 MW-j 6.92 Mvar
EVP Plase	S2 = 8.59 MW-j 6.44 Mvar
EVP Ivani	S2 = 12.62 MW-j 9.46 Mvar
EVP Draga	S2 = 17.87 MW-j 13.4 Mvar
EVP Matulji	S2 = 8.7 MW-j 6.52 Mvar

Za provedbu navedenih istraživanja potrebno je bilo koristiti se programom za proračun trofaznih tokova snaga u elektroenergetskim mrežama. Temeljne osnove navedenog programa već su publicirane (radovi inicirani na ETF-u, [9]), što je bilo velika pomoć za daljnja istraživanja u domeni problematike kvalitete električne energije. Budući da se u analizi elektroenergetskog sustava uobičajeno susreću programi s matematičkim modelom osnivanim na jednopolnom prikazu EES-a, korištenje i razvoj takvog (vlastitog) programa bio je od opće važnosti.

U tijeku razvoja programa promijenili su se sljedeći početni uvjeti važni za daljnja istraživanja:

1. Postavljen je nov zahtjev za usklađenje daljnjih istraživanja s rezultatima studije paralelnog rada EVP-a [5].
2. Donesena je prognoza razvoja prometa pruge Zagreb – Rijeka u korelaciji sa prijevoznim sposobnostima istosmjerne i izmjenične vuče. Upozoreno je na činjenicu da prijevozna sposobnost 3 kV istosmjerne vuče opada sa 6 230 000 neto tona do 2001. godine, na 5 941 000 neto tona u razdoblju 2001. do 2010. godine i konačno 5 651 000 neto tona nakon 2010. godine. Prijenosna sposobnost izmjenične vuče je veća, s 8 712 000 neto tona do 2010. godine, kada ulaskom predviđenih 6-osovinskih lokomotiva raste na 9 895 000 neto tona.
3. Na osnovi navedene prognoze razvoja prometa precizirana je (planirana) dinamika ulaska pojedinih elektrovučnih podstanica u pogon, pa je trebalo daljnja istraživanja prilagoditi toj dinamici. Tako je predviđen ulazak pojedinih elektrovučnih podstanica kako slijedi:
   - EVP Delnice — 1. 1. 1997.
   - EVP Vrata i Plase — 1. 10. 1997.
   - EVP Ivani — 1. 1. 1998.
   - EVP Draga — 1. 7. 1998.
   - EVP Matulji — 1. 1. 1999.

U skladu s iznesenim, u našim daljnjim istraživanjima najvažnija je upravo dinamika ulaska u pogon pojedinih elektrovučnih podstanica, uz odgovarajući

angažman pojedinih EVP-a u 2010. godini prema predviđenom voznom redu u režimu APB-a (automatski pružni blok).

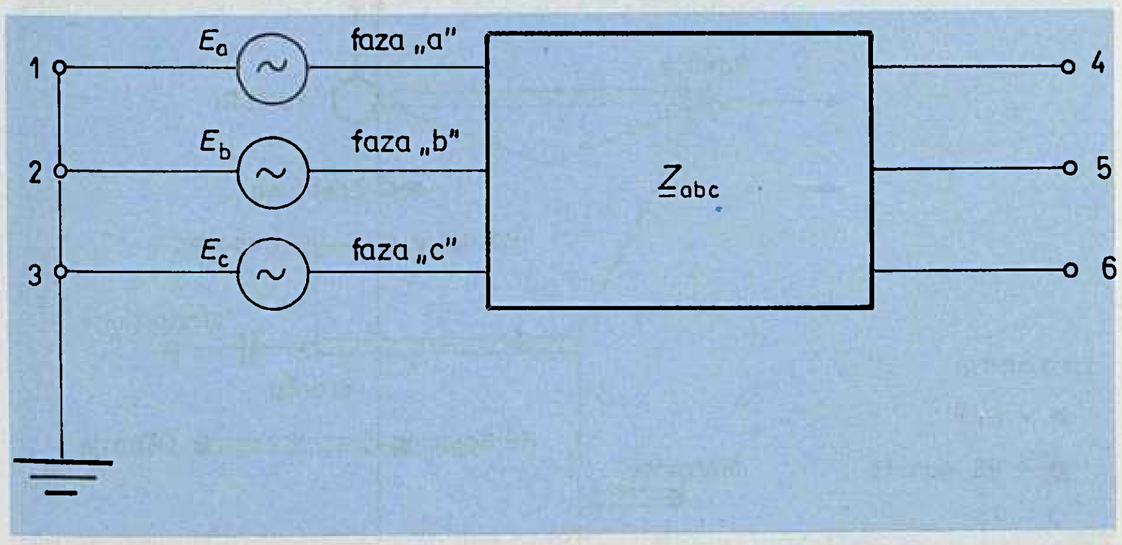
Do ulaska EVP Draga predviđen je rad izmjenične elektrovuče u režimu »staničnog razmaka«, što je, prema iskustvenim podacima, oko 70 % opterećenja u režimu rada APB-a.

4. MATEMATIČKI MODEL PROGRAMA *PHHT* ZA PRORAČUN TROFAZNIH TOKOVA SNAGA U ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA

Matematički model programa PHHT za općeniti proračun nesimetrija osniva se na radovima [6], [7], [8]. Elementi elektroenergetskog sustava modeliraju se u faznim komponentama, izbjegavajući time transformaciju varijabli (teorija simetričnih komponenata) i odvajanje od fizikalne slike konfiguracije mreže. Zbog aktualnosti problematike nesimetričnih opterećenja već su publicirani inicijalni materijali [10], pa će se u nastavku dati najkraći pregled osnovnih načela modeliranja pojedinih elemenata elektroenergetskog sustava.

4.1. Model generatora

Model generatora odgovara općenitom modelu trofaznog elementa (1-E_a, 2-E_b, 3-E_c) — (Z_{abc}) — (4-5-6), s kratko spojenim čvorištima 1, 2 i 3 (slika 2). U simetričnom sustavu su naponski izvori E_a, E_b, E_c pomaknuti za 120° i međusobno jednaki po amplitudi.



Slika 2. Nadomjesna shema generatora

U matematičkom modeliranju EES-a već je uvriježeno da se faze R, S i T trofaznog sustava prikazuju prvim slovima abecede, A, B i C, kao i pripadni čvorovi općenitog modela trofaznog elementa brojevima od 1 do 6, pa je to i ovdje u 4. poglavlju primijenjeno.

Fazne impedancije jednostavno se dobiju iz simetričnih komponenata ekvivalentnom transformacijom, uz $\underline{A}^* = \underline{A}^{-1}$:

$$\underline{Z}_{abc} = (\underline{A} \cdot \underline{Z}_{120} \cdot \underline{A}^{-1}), \qquad (1)$$

gdje je A poznata matrica transformacije između faznih i simetričnih komponenti:

4.2. Model voda

U trofaznom prikazu vod je modeliran kombinacijom matrica uzdužnih impedancija Y_{abc} i matrica poprečnih admitancija Y_{sh}, prema izrazu:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_3 \\ \underline{I}_4 \\ \underline{I}_5 \\ \underline{I}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{abc} + \underline{Y}_{sh}/2 & -\underline{Y}_{abc} \\ -\underline{Y}_{abc} & \underline{Y}_{abc} + \underline{Y}_{sh}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \\ \underline{V}_4 \\ \underline{V}_5 \\ \underline{V}_6 \end{bmatrix} \qquad (2)$$

4.3. Model transformatora

Transformator se modelira prema grupi spoja. Tako se npr. dvonamotni transformator zvijezda-trokut modelira prema izrazu (3):

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_A \\ \underline{I}_B \\ \underline{I}_C \\ \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{y}_{AA} & 0 & 0 & 0 & \underline{y}_{aB} & \underline{y}_{Ac} \\ 0 & \underline{y}_{BB} & 0 & \underline{y}_{Ba} & 0 & \underline{y}_{Bc} \\ 0 & 0 & \underline{y}_{CC} & \underline{y}_{Ca} & \underline{y}_{Cb} & 0 \\ 0 & \underline{y}_{aB} & \underline{y}_{aC} & 0 & \underline{y}_{ab} & \underline{y}_{ac} \\ \underline{y} & 0 & \underline{y}_{bC} & \underline{y}_{ba} & 0 & \underline{y}_{bc} \\ \underline{y}_{cA} & \underline{y}_{cB} & 0 & \underline{y}_{ca} & \underline{y}_{cb} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \\ \underline{V}_C \\ \underline{V}_a \\ \underline{V}_b \\ \underline{V}_c \end{bmatrix} \qquad (3)$$

U sažetom obliku matrica admitancija transformatora može se prikazati odgovarajućom spojnom tablicom:

Tablica 1. Spojna tablica za transformator u spoju zvijezda — trokut; $\alpha = 1 - t_\alpha$, $\beta = \sqrt{3}(1 + t_\beta)$

Admitancija	Između čvorova
$\underline{y}/\alpha^2$	A – N, B – N, C – N
$\underline{y}/\beta^2$	a – b, b – c, a – c
$\underline{y}/\alpha\beta$	A – c, B – a, C – b
$-\underline{y}/\alpha\beta$	A – b, B – c, C – a

Pri tome je matrica impedancija simetrična, tj.

$$x - y \equiv y - x, \quad x = \text{A, B, C, N, a, b, c, n},$$
$$y = \text{A, B, C, N, a, b, c, n}.$$

Analogno se prikazuju i svi ostali dvonamotni i tronamotni transformatori za različite grupe spoja.

4.4. Modeliranje dvofaznog opterećenja

Dvovazno opterećenje od elektrovuče priključene primarno između faza »b« i »c« može se jednostavno prikazati izrazom:

$$\underline{S}_2 = (\underline{V}_b - \underline{V}_c)\,\underline{I}_b^*. \qquad (4)$$

Za modeliranje u trofaznom modelu proračuna potrebno je transformirati navedeno dvofazno opterećenje u opterećenja po pojedinim fazama:

$$\underline{S}_a = 0,\ \underline{S}_b = \underline{S}_2\,\underline{V}_b(\underline{V}_b - \underline{V}_c)^{-1},\ \underline{S}_c = -\underline{S}_2\,\underline{V}_c(\underline{V}_b - \underline{V}_c)^{-1}. \qquad (5)$$

Analogno vrijedi i za preostale priključke opterećenja između pojedinih faza.

4.5. Dogradnja i proširenje osnovnog programa za specifične potrebe proračuna

Osnovni program trofaznih tokova snaga prikazuje strujne i naponske prilike u trofaznoj elektroenergetskoj mjreži za svaku fazu posebno, omogućujući modeliranje raznih nesimetričnih opterećenja važnih za

daljnja istraživanja. Osnovna relacija koja povezuje snage sa strujama i naponima dobro je poznata:

$$S = V I^* . \qquad (6)$$

Za specifične potrebe proračuna osnovni program je dograđen pretvorbom faznih struja i napona u simetrične komponente, koje su mnogo prikladnije za ocjenu nesimetričnosti razmatranoga elektroenergetskog sustava. Također je proširen za dva potprograma, od kojih prvi omogućuje serijsko računanje 9 uzastopnih proračuna s modifikacijama u modeliranju nesimetričnih opterećenja; drugi potprogram omogućuje paralelno tabeliranje izabranih rezultata inverznih komponenti struja i napona modificiranih proračuna da bi se jednostavno moglo zaključivati o dobroti pojedinih permutacija priključaka razmatranih elektrovučnih podstanica u odnosu prema simetriranju opterećenja.

5. MOGUĆNOSTI SMANJENJA NESIMETRIČNOG OPTEREĆENJA ELEKTROVUČE

Mogućnosti smanjenja nesimetričnog opterećenja izmjenične elektrovuče analizirana je prema tome razmatrajući mogućnosti permutacija priključaka pojedinih EVP-a između različitih faza, pomoću navedenog programa PHHT za proračun trofaznih tokova snaga u elektroenergetskom sustavu HEP-a. Time je napuštena dosadašnja praksa priključaka elektrovuče uvijek između dvije iste faze elektroenergetskog sustava, konkretno priključka primara željezničkog transformatora između faza S i T (4 i 8).

Pri tome su kao mjerilo korisnosti pojedinog zahvata na mreži prikazani relativni iznosi (u %) inverzne komponente struje u generatorskim sabirnicama, odnosno napona na svim sabirnicama 400, 220 i 110 kV razmatranoga elektroenergetskog sustava Hrvatske.

Načelna shema navedene metode simetriranja izmjenične elektrovuče permutacijom priključaka na EES prikazana je na slici 3. Ona očito pretpostavlja intenzivnu eksploataciju razmatranoga prometnoga koridora istovremeno u svim sekcijama.

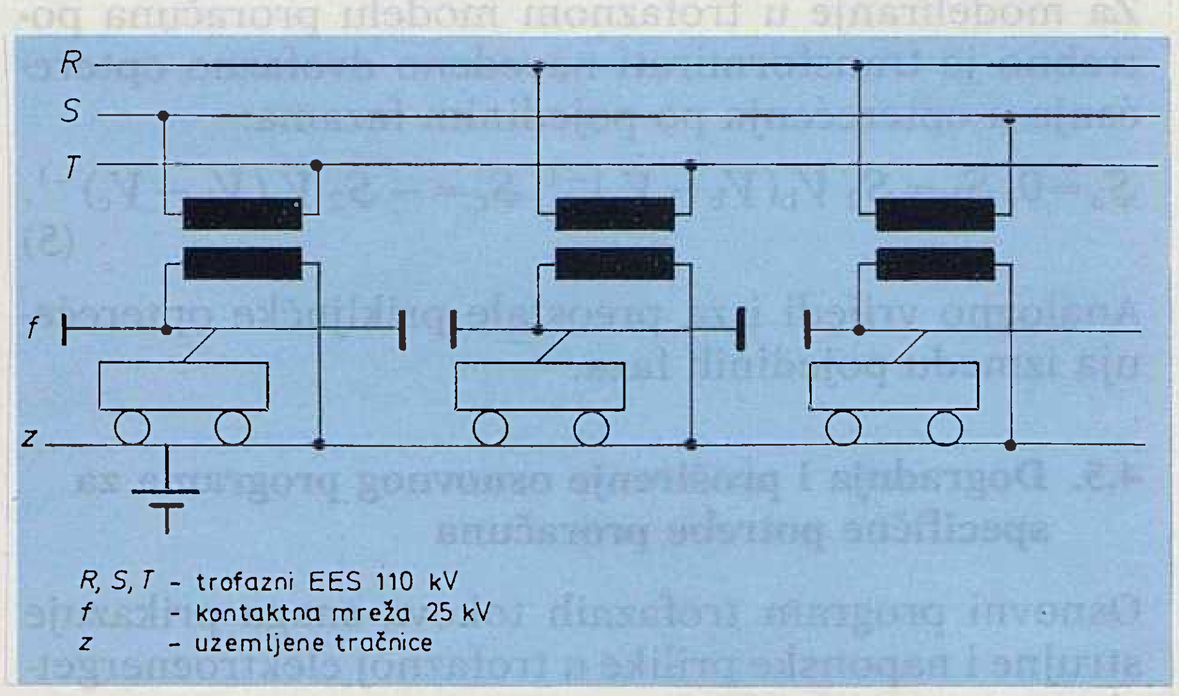
Rezultati proračuna inverznih komponenata struja i napona svrstani su zbog preglednosti u devetostupčanim tablicama (stupci A – I). Svaka tablica završava podacima algebarske sume svih navedenih relativnih iznosa inverznih komponenti. Iako takva suma nema neko kvalificirano fizikalno značenje, ona je ipak stanovit pokazatelj globalnih odnosa ustanovljenih nesimetrija u razmatranom elektroenergetskom sustavu.

U tablicama (ima ih ukupno 12!) temeljne studije [12] prikazani su rezultati proračuna nesimetrija u postupnom prijelazu do pune elektrifikacije poteza Zagreb – Rijeka. One obuhvaćaju sljedeće, već navedene faze:

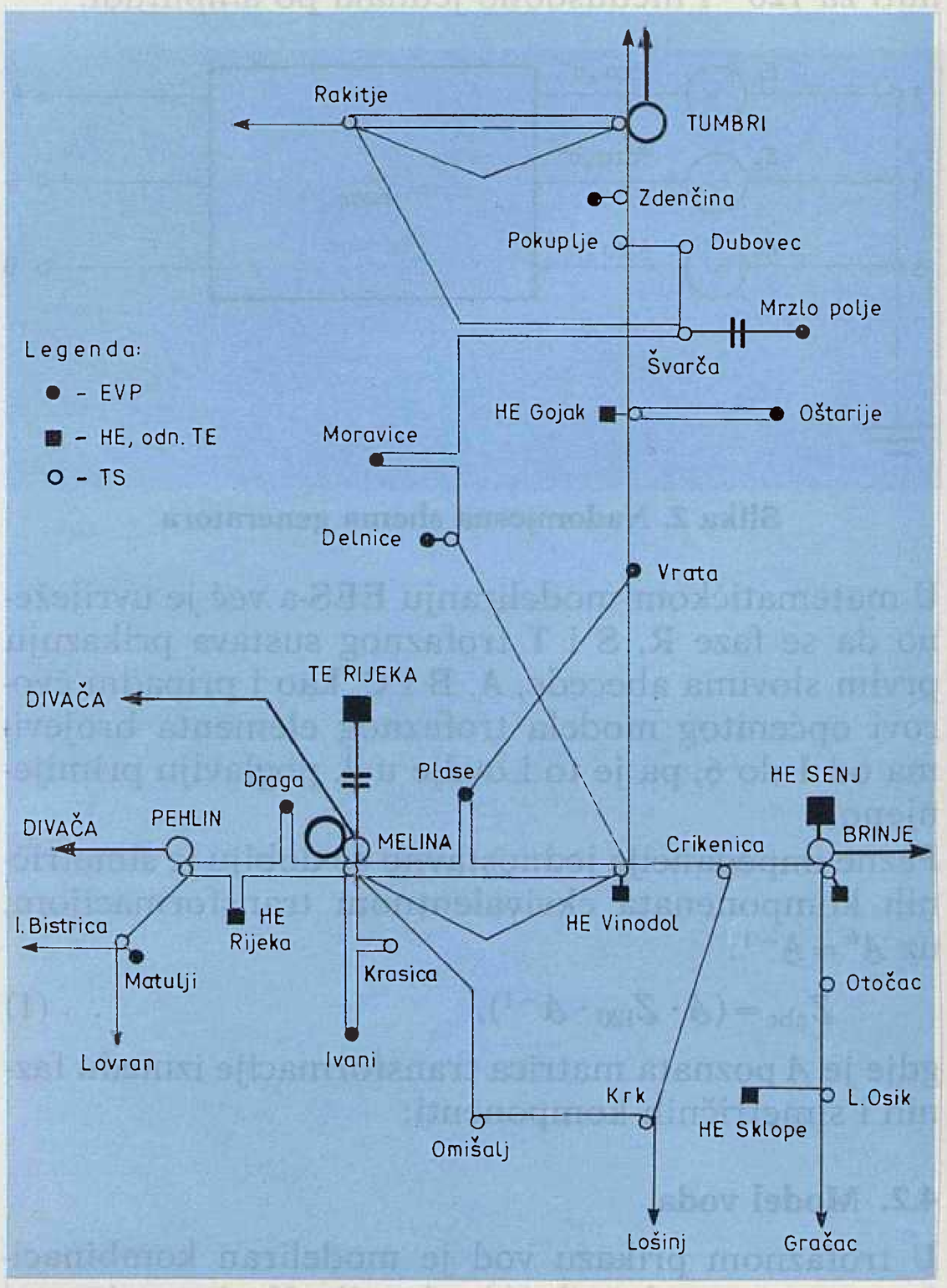
faza 1 — ulazak EVP Delnice u pogon početkom 1997. godine,
faza 2 — ulazak EVP Vrata i Plase u pogon krajem 1997. godine,
faza 3 — ulazak EVP Ivani u pogon početkom 1998. godine.
faza 4 — ulazak EVP Draga u pogon polovicom 1998. godine.
faza 5 — ulazak EVP Matulji u pogon početkom 1999. godine

Ulaskom u pogon EVP Matulji 1. 1. 1999. godine provela bi se kompletna elektrifikacija razmatranog poteza, s maksimalnim nesimetričnim opterećenjem elektroenergetskog sustava HEP-a.

Navedene faze imaju nazivno značenje koje pokazuje slijed ulaska pojedinih elektrovučnih podstanica u pogon, u korelaciji s prognozom porasta prometa HŽ-a na pruzi Zagreb – Rijeka.



Slika 3. Simetriranje izmjenične elektrovuče permutacijom priključaka na EES



Slika 4. Projekcija kompletne elektrifikacije pruge Zagreb – Rijeka (faza 5 – 01. 01. 1999. god.)

Ulaskom EVP Draga u pogon, (faza 4) rezultati proračuna nesimetrija prikazani su za režim tzv. staničnog razmaka, kao i režim vožnje u razmaku »automatskog pružnog bloka« (APB), koji omogućuje intenzivniju eksploataciju pruge Zagreb — Rijeka; dalje se rezultati odnose samo na režim vožnje APB-a, kada je u maksimalnoj eksploataciji pruge predviđena vožnja u željezničkim konvojima.

U funkciji konačnog rješenja razmatranja se odnose na grupe EVP-a. Tako se prva grupa sastoji od EVP-a Mrzlo Polje, Moravice, Oštarije i Delnice, dok je EVP Zdenčina izuzeta iz razmatranja zbog funkcionalne povezanosti sa zagrebačkom mrežom. Daljnje grupe složene su u funkciji zahtjeva za paralelni rad pojedinih EVP-a [5], s osnovnom grupom EVP Vrata, Plase i Ivani.

U ovom članku prikazat ćemo samo tri karakteristične tablice mjerodavne za određivanje konačnog stava o problematici priključka planirane elektrovuče Zagreb – Rijeka. U tablicama 2 – 4. prikazani su konačni rezultati proračuna nesimetrija u postupnom prijelazu do pune elektrifikacije poteza Zagreb – Rijeka, ulaskom EVP Matulji u pogon, faza 5 (slika 4), uz konačno oblikovanje grupa prema zaključcima studije o paralelnom radu elektrovučnih podstanica [5].

Tablica 2. odnosi se na kombinacije osnovne grupe (4+1)EVP ≡ Mrzlo Polje, Moravice, Delnice, Oštarije + Zdenčina, spojene između faza (S-T), dok se tablice 3 i 4 odnose na kombinacije 4 × EVP spojene između faza (T-R) odn. (R-S). Sve tablice obuhvaćaju još i sve međusobne kombinacije grupe apostrofirane za paralelni rad (EVP Vrata, EVP Plase, EVP Ivani) s trećom (preostalom) grupom (EVP Draga, EVP Matulji).

S tim su iscrpljene sve moguće kombinacije koje nas zanimaju, što daje dovoljno podataka za izvođenje meritornih zaključaka.

Tablica 2. Proračun nesimetričnih opterećenja elektrovuče

— Inverzne struje na generatorskim sabirnicama
— Inverzni naponi na sabirnicama postrojenja 400, 220 i 110 kV

A — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (S-T) + D,M = (S-T)
B — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (S-T) + D,M = (T-R)
C — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (S-T) + D,M = (R-S)
D — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (T-R) + D,M = (S-T)
E — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (T-R) + D,M = (T-R)
F — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (T-R) + D,M = (R-S)
G — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (R-S) + D,M = (S-T)
H — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (R-S) + D,M = (T-R)
I — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (S-T) + V,P,I = (R-S) + D,M = (R-S)

faza 5 — 1. 1. 1999. — ulazak EVP Matulji
*** osnovno stanje = svi EVP-i su spojeni između faza (S-T) ***

struje	A	B	C	D	E	F	G	H	I
H-CAKO	0.56	0.48	0.5	0.45	0.38	0.39	0.48	0.4	0.44
H-CAKO	0.56	0.48	0.5	0.45	0.38	0.39	0.48	0.4	0.44
H-DUBR	0.74	0.64	0.67	0.6	0.51	0.53	0.65	0.55	0.59
H-DUBR	0.74	0.64	0.67	0.6	0.51	0.53	0.65	0.55	0.59
NEDELJ	0.72	0.61	0.64	0.57	0.47	0.48	0.61	0.5	0.54
NEDELJ	0.72	0.61	0.64	0.57	0.47	0.48	0.61	0.5	0.54
JARUN	3.13	2.61	2.71	2.4	1.92	1.93	2.54	1.98	2.22
TE-TO	1.36	1.14	1.18	1.05	0.85	0.86	1.12	0.88	0.98
TE-TO	2.15	1.8	1.87	1.66	1.34	1.36	1.77	1.4	1.56
GOJAK	2.08	1.68	1.78	1.32	1	0.94	1.45	1.02	1.31
GOJAK	2.08	1.68	1.78	1.32	1	0.94	1.45	1.02	1.31
GOJAK	2.08	1.68	1.78	1.32	1	0.94	1.45	1.02	1.31
TESI11	1.28	1.16	1.2	1.11	0.99	1.03	1.17	1.05	1.1
TESI11	0.54	0.49	0.51	0.47	0.42	0.44	0.5	0.45	0.47
TESI22	1.26	1.14	1.18	1.09	0.97	1.01	1.15	1.03	1.09
MELI22	4.62	2.58	2.65	2.45	2.86	0.43	2.58	0.46	3.03
PLOM22	3.23	1.74	1.75	1.75	2.06	0.41	1.85	0.35	2.17
TEPLOM	4.09	2.1	2.15	2.29	2.72	0.73	2.4	0.63	2.86
KATARI	3.69	2.01	1.98	1.94	2.47	0.58	2.05	0.51	2.54
KATARI	3.69	2.01	1.98	1.94	2.47	0.58	2.05	0.51	2.54
VINODO	1.77	1.15	1.24	0.9	0.96	0.23	0.93	0.36	1.09
VINODO	1.77	1.15	1.24	0.9	0.96	0.23	0.93	0.36	1.09
VINODO	1.77	1.15	1.24	0.9	0.96	0.23	0.93	0.36	1.09
SENJ11	2.15	1.31	1.38	1.12	1.26	0.2	1.14	0.31	1.37
SENJ11	2.15	1.31	1.38	1.12	1.26	0.2	1.14	0.31	1.37
SENJ11	0.67	0.41	0.43	0.35	0.39	0.06	0.36	0.1	0.43
SENJ22	3.88	2.22	2.35	2.04	2.32	0.29	2.12	0.45	2.53
KRSKO	1.43	1.05	1.11	0.97	0.68	0.61	1.06	0.64	0.88
Ukupno	54.91	37.03	38.49	33.65	33.58	17.03	35.62	18.1	37.48

naponi	A	B	C	D	E	F	G	H	I
TUMB40	0.68	0.51	0.52	0.47	0.34	0.29	0.49	0.3	0.39
TUMB11	0.96	0.79	0.81	0.73	0.58	0.56	0.76	0.58	0.65
ZERJ40	0.7	0.54	0.55	0.5	0.37	0.33	0.52	0.34	0.42
ZERJ11	0.77	0.64	0.66	0.6	0.48	0.47	0.62	0.48	0.53
MRAC22	0.31	0.28	0.28	0.26	0.23	0.23	0.27	0.23	0.24
MEDU22	0.57	0.52	0.54	0.51	0.46	0.48	0.53	0.48	0.51
RAKITJ	1.02	0.85	0.87	0.77	0.62	0.61	0.81	0.62	0.7
KOPRIV	0.65	0.57	0.59	0.53	0.46	0.47	0.57	0.48	0.51
H-CAKO	0.51	0.44	0.46	0.42	0.35	0.36	0.44	0.37	0.39
H-DUBR	0.55	0.48	0.5	0.45	0.38	0.39	0.48	0.4	0.43
NEDELJ	0.47	0.4	0.41	0.38	0.32	0.32	0.39	0.32	0.35
ZABOK	0.89	0.75	0.77	0.69	0.56	0.55	0.72	0.56	0.62
T-JERT	0.76	0.64	0.66	0.59	0.48	0.48	0.62	0.49	0.54
KRIZEV	0.8	0.69	0.72	0.65	0.55	0.57	0.69	0.58	0.62
JARUN	0.91	0.76	0.78	0.69	0.56	0.55	0.72	0.56	0.62
BOTINE	0.88	0.73	0.75	0.67	0.54	0.53	0.7	0.55	0.61
SOPOT	0.84	0.7	0.72	0.65	0.53	0.52	0.68	0.53	0.58
TE-TO	0.79	0.66	0.68	0.61	0.5	0.49	0.64	0.5	0.55
RESNIK	0.8	0.67	0.69	0.63	0.51	0.51	0.65	0.52	0.57
DUBEC	0.79	0.67	0.68	0.62	0.51	0.5	0.65	0.51	0.56
DUSELO	0.79	0.67	0.68	0.62	0.51	0.51	0.65	0.52	0.56
MRAC11	0.76	0.66	0.68	0.62	0.52	0.52	0.65	0.53	0.57
GOJAK	3.29	2.65	2.8	2.09	1.59	1.48	2.28	1.59	2.05
OSTARI	3.41	2.77	2.93	2.2	1.68	1.6	2.4	1.71	2.16
ZDENCI	1.85	1.59	1.65	1.43	1.18	1.21	1.52	1.25	1.37
POKUPL	2.69	2.26	2.37	1.93	1.54	1.57	2.09	1.63	1.88
SVARCA	2.94	2.5	2.62	2.17	1.76	1.8	2.34	1.87	2.12
DUBOVE	2.86	2.42	2.53	2.09	1.68	1.72	2.25	1.79	2.04
MORAVI	3.78	2.99	3.18	2.45	1.81	1.72	2.71	1.85	2.41
TESI11	0.63	0.57	0.59	0.55	0.49	0.51	0.57	0.51	0.54
TESI22	0.43	0.39	0.4	0.37	0.34	0.34	0.39	0.35	0.37
PRACNO	0.7	0.63	0.65	0.6	0.54	0.55	0.63	0.56	0.59
MEDU11	0.83	0.78	0.8	0.76	0.71	0.73	0.79	0.74	0.76
KUTINA	0.9	0.82	0.85	0.79	0.71	0.74	0.83	0.75	0.78
LUDINA	1.08	0.99	1.02	0.95	0.86	0.89	1	0.9	0.95
MELI40	0.71	0.44	0.44	0.42	0.38	0.07	0.42	0.07	0.37
MELI22	1.26	0.72	0.7	0.69	0.82	0.14	0.68	0.13	0.8
PEHL22	1.27	0.72	0.69	0.7	0.85	0.15	0.7	0.13	0.82
MELI11	2.48	1.48	1.51	1.29	1.62	0.39	1.25	0.42	1.63
PEHL11	2.11	1.15	1.02	1.17	1.51	0.45	1.23	0.38	1.47
MATULJ	2.18	1.2	0.99	1.27	1.63	0.62	1.36	0.55	1.56
PLOM22	1.14	0.63	0.59	0.63	0.77	0.15	0.63	0.14	0.74
TEPLOM	1.16	0.62	0.58	0.67	0.81	0.2	0.66	0.2	0.78
POREC	1.02	0.55	0.53	0.58	0.69	0.14	0.58	0.14	0.67
BUJE	0.92	0.51	0.48	0.52	0.61	0.1	0.52	0.1	0.59
KATARI	2.2	1.22	1.16	1.18	1.52	0.36	1.2	0.31	1.49
CRIKVE	2.49	1.59	1.68	1.29	1.44	0.34	1.28	0.45	1.54
KRK	2.49	1.55	1.61	1.29	1.52	0.35	1.27	0.42	1.57
VINODO	2.74	1.79	1.91	1.41	1.53	0.39	1.41	0.53	1.67
DELNIC	3.48	2.58	2.76	2.01	1.48	1.07	2.23	1.23	2.04
SENJ11	1.28	0.78	0.8	0.68	0.78	0.15	0.66	0.17	0.79
SENJ22	1.18	0.69	0.7	0.64	0.75	0.12	0.62	0.13	0.74
VRATA	3.04	2.08	2.22	1.57	1.74	0.61	1.5	0.74	1.85
PLASE	2.83	1.83	1.94	1.47	1.74	0.54	1.39	0.63	1.79
DRAGA	2.62	1.44	1.21	1.46	1.92	0.66	1.57	0.55	1.86
KRASIC	2.51	1.51	1.54	1.31	1.66	0.42	1.26	0.45	1.65
IVANI	2.62	1.6	1.65	1.37	1.77	0.53	1.27	0.56	1.75
KRSKO	0.58	0.43	0.44	0.4	0.29	0.24	0.41	0.24	0.33
Ukupno	85.9	62.09	63.54	55.06	53.08	33.29	57.15	34.62	58.04

Tablica 3. Proračun nesimetričnih opterećenja elektrovuče

— Inverzne struje na generatorskim sabirnicama
— Inverzni naponi na sabirnicama postrojenja 400, 220 i 110 kV

A — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (S-T) + D,M = (S-T)
B — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (S-T) + D,M = (T-R)
C — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (S-T) + D,M = (R-S)
D — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (T-R) + D,M = (S-T)
E — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (T-R) + D,M = (T-R)
F — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (T-R) + D,M = (R-S)
G — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (R-S) + D,M = (S-T)
H — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (R-S) + D,M = (T-R)
I — nesim.EVP-a (ETF) — faza 5/1999 — 4 × EVP = (T-R) + V,P,I = (R-S) + D,M = (R-S)

faza 5 — 1. 1. 1999. — ulazak EVP Matulji
*** osnovno stanje = svi EVP-i su spojeni između faza (T-R) ***

struje	A	B	C	D	E	F	G	H	I
H-CAKO	0.37	0.3	0.3	0.28	0.22	0.2	0.28	0.2	0.22
H-CAKO	0.37	0.3	0.3	0.28	0.22	0.2	0.28	0.2	0.22
H-DUBR	0.5	0.41	0.41	0.38	0.3	0.28	0.38	0.29	0.32
H-DUBR	0.5	0.41	0.41	0.38	0.3	0.28	0.38	0.29	0.32
NEDELJ	0.47	0.38	0.36	0.35	0.3	0.24	0.33	0.23	0.24
NEDELJ	0.47	0.38	0.36	0.35	0.3	0.24	0.33	0.23	0.24
JARUN	1.88	1.6	1.32	1.53	1.5	0.99	1.07	0.79	0.53
TE-TO	0.83	0.69	0.6	0.64	0.59	0.4	0.51	0.34	0.31
TE-TO	1.32	1.09	0.95	1.02	0.94	0.64	0.81	0.54	0.48
GOJAK	1.2	1.24	0.82	1.5	1.76	1.34	0.61	0.95	0.62
GOJAK	1.2	1.24	0.82	1.5	1.76	1.34	0.61	0.95	0.62
GOJAK	1.2	1.24	0.82	1.5	1.76	1.34	0.61	0.95	0.62
TESI11	0.96	0.85	0.87	0.8	0.69	0.7	0.84	0.72	0.76
TESI11	0.41	0.36	0.37	0.34	0.29	0.3	0.36	0.3	0.32
TESI22	0.94	0.83	0.85	0.78	0.68	0.69	0.82	0.7	0.75
MELI22	3.32	2.36	0.99	2.39	4.13	2.06	0.94	1.94	2.79
PLOM22	2.36	1.69	0.68	1.61	2.91	1.41	0.76	1.41	2.03
TEPLOM	3.06	2.19	0.94	2.02	3.75	1.78	1.09	1.93	2.7
KATARI	2.7	1.94	0.77	1.87	3.44	1.75	0.84	1.68	2.44
KATARI	2.7	1.94	0.77	1.87	3.44	1.75	0.84	1.68	2.44
VINODO	1.16	0.89	0.45	1.14	1.63	1	0.2	0.76	0.91
VINODO	1.16	0.89	0.45	1.14	1.63	1	0.2	0.76	0.91
VINODO	1.16	0.89	0.45	1.14	1.63	1	0.2	0.76	0.91
SENJ11	1.48	1.1	0.49	1.27	1.98	1.1	0.28	0.92	1.2
SENJ11	1.48	1.1	0.49	1.27	1.98	1.1	0.28	0.92	1.2
SENJ11	0.46	0.34	0.15	0.4	0.62	0.34	0.09	0.29	0.37
SENJ22	2.74	1.96	0.85	2.12	3.49	1.79	0.65	1.64	2.26
KRSKO	0.9	0.69	0.49	0.67	0.75	0.33	0.4	0.23	0.2
Ukupno	37.3	29.3	17.53	30.54	42.99	25.59	14.99	22.6	26.93

naponi	A	B	C	D	E	F	G	H	I
TUMB40	0.44	0.36	0.24	0.35	0.4	0.2	0.19	0.15	0.05
TUMB11	0.59	0.51	0.4	0.49	0.5	0.32	0.32	0.25	0.13
ZERJ40	0.45	0.37	0.27	0.36	0.38	0.2	0.22	0.15	0.07
ZERJ11	0.5	0.42	0.36	0.39	0.37	0.25	0.31	0.21	0.17
MRAC22	0.22	0.19	0.19	0.18	0.16	0.14	0.17	0.14	0.13
MEDU22	0.45	0.41	0.42	0.39	0.35	0.36	0.41	0.36	0.38
RAKITJ	0.61	0.55	0.42	0.54	0.56	0.38	0.33	0.29	0.14
KOPRIV	0.45	0.38	0.37	0.35	0.29	0.27	0.35	0.27	0.28
H-CAKO	0.35	0.29	0.28	0.27	0.23	0.2	0.26	0.19	0.2
H-DUBR	0.38	0.32	0.31	0.3	0.25	0.22	0.29	0.22	0.23
NEDELJ	0.32	0.27	0.25	0.25	0.22	0.18	0.22	0.17	0.16
ZABOK	0.55	0.48	0.39	0.46	0.46	0.31	0.31	0.25	0.15
T-JERT	0.49	0.41	0.36	0.39	0.36	0.25	0.31	0.22	0.18
KRIZEV	0.55	0.46	0.45	0.43	0.35	0.32	0.42	0.32	0.33
JARUN	0.56	0.48	0.39	0.47	0.47	0.32	0.31	0.25	0.15
BOTINE	0.54	0.47	0.38	0.45	0.45	0.3	0.31	0.24	0.15
SOPOT	0.52	0.45	0.37	0.43	0.42	0.29	0.31	0.23	0.16
TE-TO	0.5	0.42	0.36	0.4	0.38	0.26	0.3	0.22	0.17
RESNIK	0.52	0.43	0.38	0.41	0.37	0.27	0.33	0.24	0.21
DUBEC	0.51	0.43	0.38	0.4	0.37	0.26	0.33	0.23	0.2
DUSELO	0.51	0.43	0.38	0.4	0.36	0.26	0.33	0.24	0.21
MRAC11	0.51	0.43	0.4	0.4	0.34	0.28	0.36	0.26	0.26
GOJAK	1.94	2	1.34	2.42	2.83	2.17	1.01	1.55	1.02
OSTARI	2.03	2.11	1.44	2.54	2.96	2.29	1.13	1.67	1.12
ZDENCI	1.07	0.94	0.79	0.91	0.91	0.66	0.61	0.5	0.33
POKUPL	1.58	1.59	1.17	1.76	1.97	1.52	0.9	1.14	0.7
SVARCA	1.81	1.88	1.42	2.08	2.32	1.85	1.21	1.48	1.02
DUBOVE	1.73	1.78	1.33	1.96	2.2	1.74	1.1	1.36	0.91
MORAVI	2.31	2.47	1.63	2.88	3.42	2.61	1.36	2.03	1.35
TESI11	0.48	0.42	0.43	0.4	0.35	0.35	0.41	0.35	0.37
TESI22	0.33	0.29	0.29	0.27	0.24	0.24	0.28	0.24	0.25
PRACNO	0.52	0.46	0.47	0.44	0.38	0.38	0.45	0.38	0.4
MEDU11	0.69	0.65	0.66	0.63	0.58	0.59	0.65	0.6	0.62
KUTINA	0.69	0.62	0.63	0.59	0.51	0.52	0.61	0.53	0.56
LUDINA	0.84	0.75	0.77	0.71	0.62	0.64	0.74	0.65	0.68
MELI40	0.49	0.38	0.16	0.38	0.56	0.26	0.13	0.23	0.27
MELI22	0.91	0.68	0.24	0.69	1.17	0.59	0.23	0.56	0.75
PEHL22	0.93	0.69	0.24	0.68	1.19	0.59	0.25	0.57	0.77
MELI11	1.77	1.27	0.59	1.46	2.36	1.32	0.43	1.12	1.54
PEHL11	1.59	1.21	0.44	1.04	2.02	1.01	0.58	1.04	1.44

— **Mjerenje u HE Vinodol**

Pokus 1. (sinkroni rad sva tri generatora u HE Vinodol na mrežu 110 kV preko vodova 110 kV Vinodol – Melina i Vinodol – Crikvenica):

$S_2 = 433$ *MVA*, $I_g^i = 14{,}7$ A $\equiv 0{,}76$ %,
$U_g^i = 0{,}354$ kV $\equiv 0{,}58$ %,
$I_T = 37{,}7$ A (najveća struja u blok spoju vodova 110 kV Vinodol – Gojak – Oštarije).

Programom PHHT dobiveni su sljedeći rezultati:

za $S_2 = 4{,}33$ MVA:
$I_{gi} = 14{,}7$ A $\equiv 0{,}76$ %,
$I_{ST} = 38{,}1$ A (struja u vodu 110 kV Gojak – Oštarije).

— **Mjerenja u čvoru Resnik & TETO Zagreb** provedena su sa ispitnom kompozicijom 1 500 tona, lokomotiva serije 442. Opterećenje u EVP Resnik bilo je maksimalno 7,7 MVA, dakle na granici mogućnosti napajanja željezničkog transformatora 110/25 kV, 7,5 MVA. Mreža 25 kV bila je za potrebe mjerenja tako sekcionirana da je omogućila jednoznačno identificiranje navedene ispitne kompozicije. Odčitanje mjernih veličina pokazalo je relativnu promjenu inverzne komponente napona na sabirnicama 110 kV u TS Resnik oko 0,2 %.

Programom PHHT dobiveni su sljedeći rezultati proračuna nesimetrija:

za $S_2 = 7{,}7$ MVA:
$U_{resnik}^i = 0{,}19$ %

— **Usporedba provedenih proračuna s proračunima iz početnih istraživanja [11]**

Proračuni provedeni u početnim istraživanjima problematike nesimetrija na potezu Zagreb – Rijeka osnivali su se na jednostavnom matematičkom modelu koji je omogućio široko razmatranje problematike nesimetrija, uz niz varijacija uklopnog stanja elektroenergetske mreže po načelu neraspoloživosti (n – 1) pojedinih vodova za napajanje EVP-a. Oni su provedeni prilagodbom programskog sustava RIMA [3] za proračun kratkog spoja u velikim elektroenergetskim mrežama proračunima dvopolnog kratkog spoja preko impedancije koja odgovara opterećenju pojedine EVP. Za proširenje analize nesimetrija na cijelu mrežu korištena je metoda superpozicije kod proračuna struja, uz faktor istodobnosti opterećenja jednak jedinici. Podaci o naponskim nesimetrijama dobiveni su korištenjem Ohmova zakona uz poznavanje struja i impedancija u sustavu simetričnih komponenata.

Primjena trofaznog modela tokova snaga pokazala je svoju svrsishodnost upravo na primjeru razmatrane situacije nesimetričnih opterećenja elektroenergetskog sustava. Ona omogućuje dobivanje korisnih i upotrebivih podataka o mogućnostima simetriranja nesimetričnih opterećenja, što je u modelima s jednopolnim prikazom elemenata sustava nemoguće dobiti. Rezultati proračuna nesimetrija pokazuju nešto veće iznose strunih nesimetrija u elektranama (relativno dobro slaganje rezultata), dok su naponske nesimetrije na sabirnicama 110 i 220 kV elektroenergetskih postrojenja jače izražene.

6. ZAKLJUČAK

Rezimirajmo na kraju provevedene analize mogućnosti smanjenja nesimetričnog opterećenja izmjenične elektrovuče na potezu Zagreb – Rijeka:

U temeljnoj studiji [12] prikazani su rezultati proračuna nesimetrija u postupnom prijelazu do pune elektrifikacije poteza Zagreb – Rijeka, ulaskom EVP Delnice, Vrata, Plase, Drage i Matulji u pogon. Istraživanja su obavljena uz zadovoljenje uvjeta za paralelni rad EVP-a [11] i dodatnog uvjeta HŽ-a o izuzimanju EVP Zdenčina iz razmatranja premještanja priključaka na EES HEP-a. To znači da su konačno oblikovane grupe elektrovučnih podstanica prema sljedećem:

I. grupa: EVP Mrzlo Polje – EVP Oštarije – EVP Moravice – EVP Delnice,
II. grupa: EVP Vrata – EVP Plase – EVP Ivani,
III. grupa: EVP Draga – EVP Matulji.

Analizom provedenih ispitivanja može se s obzirom na problematiku nesimetričnog opterećenja elektrovučne zaključiti sljedeće:

1. U postojećoj mreži (mreža 1992/93.) nema većih nesimetrija struja i napona na razmatranom potezu Zagreb – Rijeka.
2. Postupnim prelaskom do pune elektrifikacije pruge Zagreb – Rijeka – Šapjane, nesimetrije struja i napona postupno rastu, tako da postaje aktualna ideja simetriranja električne vuče permutiranjem priključaka pojedinih EVP-a, po navedenim grupama.
3. Analizom konačnog uklopnog stanja elektroenergetskog sustava Hrvatske s priključenih 10 elektrovučnih podstanica na potezu Zagreb – Rijeka – Šapjane (tablice 2. – 4.) zaključujemo o svrsishodnosti permutiranja priključaka navedenih grupa EVP-a. Najpovoljnije prilike pokazuju permutacija svih triju grupa na tri vrste priključaka, nazvanih zbog jednostavnosti priključak 1 (između faza S i T), priključak 2 (između faza T i R) i priključak 3 (između faza R i S).

Tri najpovoljnije kombinacije sa sa stajališta minimuma nesimetrija struja i napona, uz grupe EVP-a jesu:

kombinacija 1 – 2 – 3 (grupa I – II – III):
$\Sigma I_i = 17{,}03$ %, $\Sigma U_i = 33{,}29$ %,
kombinacija 2 – 3 – 1 (grupa I – II – III):
$\Sigma I_i = 14{,}99$ %, $\Sigma U_i = 25{,}87$ %,
kombinacija 3 – 2 – 1 (grupe I – II – III):
$\Sigma I_i = 14{,}97$ %, $\Sigma U_i = 26{,}36$ %.

I konačno, kolika je korist od novopredloženog priključka razmatranih elektrovučnih podstanica u konkretnom primjeru pojedinih postrojenja za sve tri navedene kombinacije, pokazuje tablica 5.

Tablica 5. Inverzne struje u generatorima i inverzni naponi na sabirnicama postrojenja > 3 %

Postrojenje	Tabl. 2, stupac A	Tabl. 2, stupac F	Tabl. 3, stupac G	Tabl. 4, stupac D
HE Rijeka	2 · 3,69 %	2 · 0,58 %	2 · 0,84 %	2 · 0,73 %
HE Gojak	3 · 2,08 %	3 · 0,94 %	3 · 0,61 %	3 · 0,65 %
HE Vinodol	3 · 1,77 %	3 · 0,23 %	3 · 0,20 %	3 · 0,31 %
TE Urinj	1 · 4,62 %	1 · 0,43 %	1 · 0,94 %	1 · 0,83 %
HE Senj 110 kV	1 · 4,62 %	1 · 0,20 %	2 · 0,28 %	2 · 0,35 %
TE Plomin 1	1 · 4,09 %	1 · 0,73 %	1 · 1,09 %	1 · 0,98 %
HE Senj 220 kV	1 · 3,88 %	1 · 1,01 %	1 · 0,65 %	1 · 0,64 %
TE Plomin 2	1 · 3,23 %	1 · 0,41 %	1 · 0,76 %	1 · 0,66 %
EL-TO Zagreb	1 · 3,13 %	1 · 1,93 %	1 · 1,07 %	1 · 0,96 %
TE-TO Zagreb	1,36 + 2,15 %	0,86 + 1,36 %	0,51 + 0,81 %	0,50 + 0,79 %
EVP Moravice	3,78 %	1,72 %	1,36 %	1,39 %
EVP Delnice	3,48 %	1,07 %	0,80 %	0,91 %
HE Oštarije	3,41 %	1,60 %	1,13 %	1,15 %
HE Gojak	3,29 %	1,48 %	1,01 %	1,02 %
EVP Vrata	3,04 %	0,61 %	0,49 %	0,73 %

Prednost ponuđenih rješenja je očita.
Na kraju je prikazan izvadak iz zaključaka temeljne studije [12], kojim se, respektirajući da je proračun proveden uz faktor istodobnosti opterećenja elektrovuče jednak jedinici, predlaže sljedeće rješenje smanjenja predviđenih nesimetrija, što je *prihvatila 22. 2. 1994. Stručna grupa Stručnog savjeta za razvoj i planiranje prijenosne mreže za reviziju navedene studije:*

— grupu postojećih elektrovučnih podstanica (zajedno sa EVP Delnice) nije potrebno premještati na novi priključak zbog usporedivosti navedenih kombinacija priključaka
— grupu elektrovučnih podstanica od najvećeg značenja za paralelan rad: EVP Vrata, EVP Plase i EVP Ivani treba pripremiti za priključak između faza T i R elektroenergetskog sustava HEP-a (neznatna prednost pred priključkom između faza R i S elektroenergetskog sustava HEP-a)
— preostalu grupu elektrovučnih podstanica, predviđene ulaskom u pogon 1. 7. 1998. EVP Drage i 1. 1. 1999. ulaskom u pogon EVP Matulji treba alternativno priključivati na preostale faze R i S elektroenergetskog sustava.

Time bi se u potpunosti zaokružilo simetriranje elektrovučne na potezu Zagreb – Rijeka – Šapjane, uz smanjenje nesimetrija struja i napona prema tablici 5, uz uvjet realizacije planiranoga nesimetričnog opterećenja prema [1].
Aktivnosti oko premješanje priključka navedenih grupa treba započeti u korelaciji sa stvarnim porastom opterećenja pojedinih elektrovučnih podstanica, tako da se spriječi mogućnost prevelikih nesimetričnih opterećenja elektroenergetskog sustava HEP-a elektrovučnom. Napomenimo da već prvi rezultati proračuna nesimetrija, uz pretpostavku porasta opterećenja postojećih elektrovučnih podstanica EVP Mrzlo Polje, Moravice i Oštarije na 70 % opterećenja prema [1], upućuju na porast veličine inverznog napona na sabirnicama 110 kV u postrojenjima EVP Oštarije, TS Švarča, HE Gojak, EVP Moravice, TS Pokuplje i TS Zdenčina preko 1% (prva dva navedena postrojenja preko 1,5!).

Uza sve aktivnosti oko pripreme i realizacije simetriranja postojeće i planirane elektrovuče na potezu Zagreb – Rijeka upozorimo još jednom na zaključak iz [12], točka 7.2. o potrebi razrade domaće regulative iz domena kvalitete električne energije, koji je također prihvaćen, tako da je na istom skupu zaključeno da je. . »zbog nedostatka tehničkih propisa koji bi definirali uvjete priključka potrošača na mrežu glede kvaliteta električne energije, potrebno osnovati operativne komisije HEP — HŽ i HEP — Hrvatska elektrotehnička komisija koje bi sudjelovale u izradi i donošenju potrebne zakonske regulative iz ovog područja.«

LITERATURA

[1] UGLEŠIĆ, Č. ČAVLINA, A. MARUŠIĆ, Z. PRESEČKI, Z. HEBEL, I. KOPECKI, T. TOMIŠA, M. BOBETKO, P. PAVLOVIĆ: »Izmjena sistema električne vuče na relaciji Srpske Moravice – Rijeka – Šapjane«, ETF 1987.

[2] M. JUNG, mj. ekipa: »Nesimetrije struja i napona, uzrokovane elektrifikacijom željezničke vuče 25 kV, 50 Hz, na pruzi Zagreb – Srpske Moravice«, IE Zagreb, 1987.

[3] D. NEVEČEREL: »Proračun kratkog spoja u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu«, IE Zagreb, 1987.

[4] D. NEVEČEREL: »Proračun raspodjele najvećih mogućih struja jednopolnog kratkog spoja u vodovima 110 kV za napajanje EVP Vrata, Plase, Draga i Ivani, za mrežu 1995. godine«, IE Zagreb, 1989.

[5] I. UGLEŠIĆ, A. MARUŠIĆ, I. PAVIĆ, Č. ČAVLINA, M. BOBETKO, B. ŠKRLEC, I. SITAR: »Paralelni rad elektrovučnih podstanica u jednofaznom sistemu električne vuče 25 kV, 50 Hz«, ETF Zagreb, 1991.

[6] M. A. LAUGHAM: »Analysis of unbalanced polyphase network by the method of phase co-ordinates: Part 1. System representation in phase frame of reference«, PROC. IEE, Vol. 115, No. 8, August 1968.

[7] M. A. LAUGHAM, A. O. SALEH: »Unified phase-coordinate load-flow and fault analysis of polyphase networks«, Electical Power & Energy Systems, Vol 2 No 4, October 1980.

[8] A. O. SALEH, M. A. LAUGHAM: »Phase-coordinate load-flow and fault analysis program«, Electrical Power & Energy Systems, Vol 2 No 4, October 1980.

[9] Z. HEBEL, I. PAVIĆ: »Proračun tokova snaga u elektroenergetskim mrežama s nesimetričnim opterećenjima«, Energija br. 2, travanj 1989., str. 97 – 102.

[10] Z. HEBEL, M. PAVIĆ: »Priključak elektrovučnih podstanica na elektroprivrednu mrežu 110 kV«, referat br. 38. 01, Prvo savjetovanje hrvatskog komiteta CIGRE, Zagreb 1993.

[11] D. NEVEČEREL: »Nesimetrično opterećenje EES elektrovučom na pruzi Zagreb – Rijeka«, Energija br. 1/1992, str. 39 – 43

[12] D. NEVEČEREL, M. MEHMEDOVIĆ, Z. TONKOVIĆ, L. WAGMANN, E. VARGOVIĆ: »Nesimetrična opterećenja i viši harmonici u EES — I faza«, IE Zagreb, 1994.

[13] Z. TONKOVIĆ, L. MATKOVIĆ, V. HORAČEK, D. NEVEČEREL: »Razvoj prijenosne mreže 400, 220 i 110 kV na području »Elektroprivrede« Rijeka (područje koje pokriva »Elektroprimorje« Rijeka) u razdoblju 1990. – 2010. g.«, IE Zagreb, 1991.

[14] Z. TONKOVIĆ: »Kvaliteta električne energije u elektroenergetskom sustavu«, Energija, br. 3, lipanj 1992, str. 212 – 228.

SOLUTION OF UNSYMMETRIC ELECTRIC POWER SYSTEM LOADS USING PLANNED ALTERNATING ELECTRIC TRACTION ON THE ROUTE ZAGREB-MORAVICE-RIJEKA

In the paper (11) of the »Energija« magazine number 1/92 a warning was given considering inadmissibly great unsymmetric loads of the electric power system, as a result of the supstitution of a direct current electric traction by the alternating. In this paper a simple and efficient solution of the stated problem is given, after which the observed electric power system will be in a much better condition related to symmetry of the demand.

DIE LÖSUNG DER PROBLEMATIK, DURCH DIE BEABSICHTIGTE WECHSELSTROMZUGFÖRDERUNG DER STRECKE ZAGREB-MORAVICE-RIJEKA VERURSACHTEN, UNSYMETRISCHER BELASTUNGEN IM VERBUNDNETZ

Seinerzeit (Artikel 11 der Zeitschrift »Energija« Nr. 1/92) wurde auf die Entstehung unzulässig hoher unsymetrischer Belastungen im Verbundnetz, als Folge der Ablöse des Gleichstromes mit dem Wechselstrom in der Zugförderung an der Bahnstrecke Moravice — Rijeka, hingedeutet. Im jetzigen Artikel wird eine einfache und wirkungsvolle Lösung des genannten Problems gegeben, welche wesentlich bessere Umstände bezüglich der symetrischen Belastung im Verbundnetz zustandebringt.

Naslov pisca:

Mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.
Institut za elektroprivredu
i energetiku, d.d.
41000 Zagreb, Ulica grada
Vukovara 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 06 – 28.

ISTRAŽIVANJA UTJECAJA ELEKTRIČNOG I MAGNETSKOG POLJA NA ŽIVE ORGANIZME

Prof. dr. Ivan Plačko, Zagreb

UDK 57.338.569.2.047
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku se daje kratak pregled razvoja istraživanja električnog, magnetskog i elektromagnetskog polja te njihovo moguće štetno djelovanje na žive organizme. Prikazane su dopuštene granice jakosti polja u različitim zemljama. Nadalje su dane osnovne zaštitne mjere te na kraju sugestija o daljnjem programu takvih istraživanja u Hrvatskoj.

Ključne riječi: Električno polje, magnetsko polje, izloženost poljima, dozvoljene razine, zaštitne mjere.

1. UVOD

Za sada u Hrvatskoj ne postoji cjelovitiji program istraživanja utjecaja električnih (*E*), magnetskih (*M*) i elektromagnetskih (*EM*) polja na ljudsko zdravlje i žive organizme (općenito) u području neionizirajućih zračenja. Postoje i obavljaju se uglavnom pojedinačni radovi na teorijskom proračunu i mjerenju polja u okolišu dalekovoda (DV) i na prostorima elektroenergetskih postrojenja.

U svibnju 1994. godine organizirao je Hrvatski komitet (CIGRE), Studijski komitet 36 (STK 36) — »Elektromagnetske smetnje«, »Okrugli stol« s temom »Utjecaj električnog i magnetskog polja na živa bića«. Iznesen je podatak da su članovi Studijskog komiteta 36, između 1977. i 1993. godine, istupili s osam referata na zasjedanjima CIGRE. Tri se referata odnose neposredno na probleme utjecaja polja na žive organizme [1], [12] i [15], a pet referata samo posredno, jer su im teme metode mjerenja i analiza mjernih rezultata E polja u prirodnim uvjetima, ispod DV i unutar elektroenergetskih pogonskih prostora.

U tijeku je nekoliko projekata, a povezivanje STK 36 s istraživačkim timovima koji rade na tim projektima može biti od interesa za međusobnu suradnju. Tu je u prvom redu međunarodni projekt »COST« (voditelj dr. Z. Koren), zatim projekti »Elektroprivredno mjeriteljstvo« (voditelj dr. M. Boršić), »Elektromagnetski laboratorij za elektromagnetske veličine« (voditelj dr. J. Butorac), »Mjerenje bioloških veličina novim impedancijaskim metodama« (voditelj dr. A. Šantić) te »Medicinski učinci elektromagnetskog značenja« (voditelj dr. Z. Koren).

Budući da je riječ o vrlo osjetljivoj materiji i složenim interdisciplinarnim istraživanjima, što pokazuju uzastopne rasprave na zasjedanjim CIGRE u Parizu, nameće se potreba organiziranog pristupa kako bi se dobili pouzdani rezultati s obzirom na moguće štetne utjecaje na ljudsko zdravlje i omogućili realne odgovore na upite stanovništva i osoba s ugrađenim elektroničkim pomagalima (pacemaker . . .).

2. KRATKI OPIS RAZVOJA ISTRAŽIVANJA SVOJSTAVA ZRAČENJA *E* i *M* POLJA TE MOGUĆI UČINCI NA ŽIVE ORGANIZME

2.1. Razvoj dosadašnjih istraživanja

Istraživanja *E* i *M* polja radi utvrđivanja njihova mogućega štetnog djelovanja na žive organizme započela su tek 1970-ih godina, dok su prve međunarodne organizacije, koje su istraživale štetna djelovanja elektroenergetskih postrojenja na susjedne telekomunikacijske i slične sustave osnovane mnogo prije toga. Tako su već 1924. godine Međunarodna konferencija za velike električne mreže (CIGRE)* i Međunarodna unija proizvođača i distributera električne energije (UNIPEDE) donijele odluke o priključenju radu Prve studijske komisije (danas Komisija V) Međunarodnog konzultativnog komiteta za telegrafiju i telefoniju (CCITT). Nedugo zatim se u zajednički rad uključuju i Međunarodni željeznički savez (UIC) i Međunarodna unija plina (UIG). U tim istraživanjima se posebna pozornost pridaje parametrima kao što su: razina napona i struje, međusobni položaj sustava u prostoru, dužina usporednog vođenja, konfiguracija terena i sl. Započela su sustavna istraživanja pojava atmosferskih prenapona i izboja te njihovo djelovanje na pojedine sustave (elektroenergetske, telekomunikacijske, daljinsko upravljanje, cjevovodi . . .).

S razvojem elektroničkih cijevi grade se radioemisijske postaje sve većih snaga, koje postaju novi izvori, ali i objekti elektromagnetskih smetnji. Istraživanji-

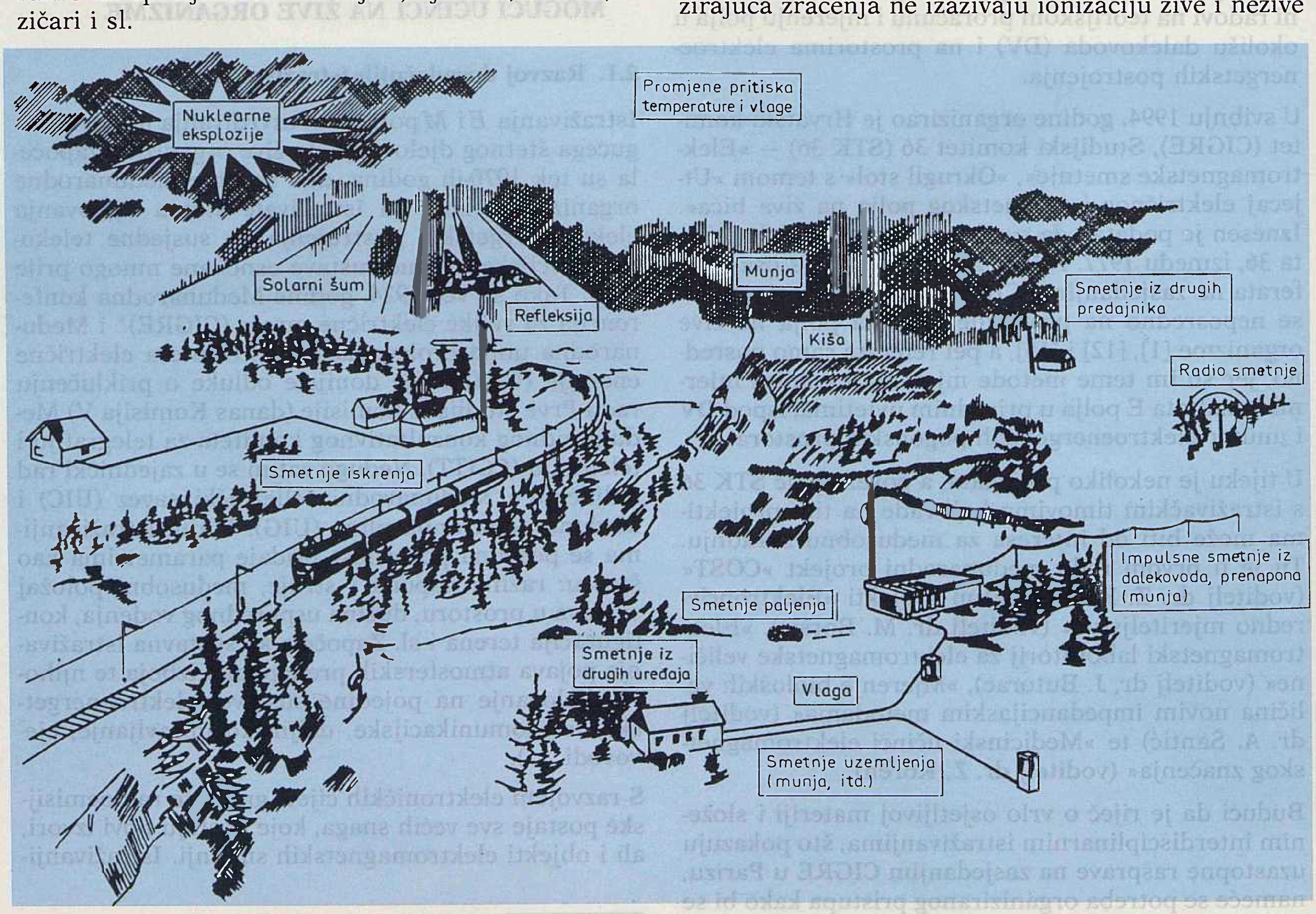
* Značenje skraćenica daje se u prilogu na izvornom jeziku.

ma i normizacijom u tom području bavi se Međunarodni specijalni komitet za radioelektrične perturbacije (CISPR). Daljnjim razvojem tehnologije i minijaturizacije, posebno u telekomunikacijama, automaciji i računalstvu, osniva se nova međunarodna stručna organizacija pod nazivom Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) s brojnim specifičnim smjerovima: EMI, ESD, RFI, EMP i još nekim. Iako su provedena neka istraživanja djelovanja EM polja na okoliš općenito, smatralo se da je opasnost za zdravlje ljudi i žive organizme u širem smislu isključivo izravni dodir s vodljivim predmetima koji su pod utjecajem polja ili pak preskok iskre na živi organizam. Tek se u zadnjih dvadesetak godina poklanja sve veća pozornost istraživanju djelovanja *E* i *M* polja na ljudsko zdravlje. Naime, 1972. godine su stručnjaci iz bivšeg SSSR-a na zasjedanju CIGRE u Parizu iznijeli tvrdnje o štetnom utjecaju tih polja na ljudsko zdravlje. Te su tvrdnje na zasjedanju u Parizu ublažili izjavom ». . . da je u njihovoj zemlji rizik od opasnosti električnog polja bio precijenjen. . .«. CIGRE se aktivno uključuje u istraživanja ne samo *E* i *M* polja, koja stalno vladaju u nekom okolišu (prije svega 50 Hz), već se istražuju i polja viših i visokih frekvencija zbog iskrenja i korone, kao i polja iz drugih izvora-radiopostaja, električne vuče, visokofrekvencijski generatora za zavarivanje i druge potrebe u industriji, mikrovalnih peći, kućanskih aparata i sl. Važno je napomenuti da istraživačke timove čine stručnjaci različitih specijalnosti: inženjeri, liječnici, biolozi, fizičari i sl.

2.2. Svojstva izvora zračenja *EM* polja

Izvore *EM* polja dijelimo na prirodne i tehničke (umjetne). Prirodni izvori mogu biti zemaljskog (terestralnog) ili svemirskog (kozmičkog) podrijetla. Pod tehničkim se izvorima smatraju različiti električni uređaji i sustavi za proizvodnju prijenos i potrošnju električne energije (slika 1).

Poznato je da zemlja ima svoje električno polje, koje za lijepog vremena iznosi do 100 V/m. Približavanjem olujnih oblaka ta se vrijednost znatno mijenja, a može dovesti i do tinjavog izboja na zemlji i na visokim istaknutim objektima. Mornari su takva izbijanja, koja su se pojavljivala na vrhovima jarbola njihovih brodova, nazivali »vatrom svetog Elma«. Čovjek je od svojih početaka izložen *EM* poljima, ali se tijekom vremena tome prilagodio. No problem djelovanja *EM* polja postaje sve izrazitiji i složeniji s razvojem tehnologije i tehničkih sustava. Tako je, primjerice, poznato da se čovjek može nabiti i na 20 do 30 kV ako se koristi sintetičkom odjećom. U pogledu frekvencijskog pojasa elektromagnetska zračenja mogu biti neionizirajuća i ionizirajuća zračenja. Neionizirajuća zračenja obuhvaćaju pojas frekvencija od 0 do 10^{17} Hz. Frekvencijski pojas ispod 30 kHz naziva se pojasom ekstremno niskih frekvencija (ELF), a posebno istaknuto mjesto ima frekvencija 50 Hz i njezini viši harmonici, jer su im izvorišta široko rasprostranjeni elektroenergetski sustavi. Ionizirajuća zračenja obuhvaćaju pojas od 10^{17} do 10^{25} Hz. Neionizirajuća zračenja ne izazivaju ionizaciju žive i nežive



Slika 1. Mogući izvori elektromagnetskih smetnja

tvari, ali mogu imati niz štetnih učinaka, čija štetnost ovisi u prvom redu o jakosti polja odnosno gustoći energije.

Prema namjeni možemo cijeli frekvencijski spektar podijeliti na sljedeća područja: akustički valovi (do 10^4 Hz), radio valovi (10^4 do 10^8 Hz), mikrovalovi (10^8 do 10^{12} Hz), infracrveno svjetlo (10^{12} do 10^{14} Hz), vidljiva svjetlost (10^{14} do 10^{15} Hz), ultraljubičasta svjetlost (10^{15} do 10^{17} Hz), rengenske zrake (10^{17} do 10^{19} Hz), gama-zrake (10^{19} do 10^{21} Hz) i kozmičke zrake (10^{21} do 10^{25} Hz). Između pojedinih područja ne postoje čvrste granice. Prekrivanja su negdje manja, negdje veća.

3. DJELOVANJE *E* i *M* POLJA NA ŽIVE ORGANIZME

Već su rana istraživanja pokazala da djelovanje EM polja može biti:
- direktno — kod dužeg zadržavanja u polju, ili
- indirektno — pri dodiru vodljivih predmeta u kojima se, pod utjecajem polja, inducira napon.

Učinak direktnog djelovanja *EM* polja veći je pri:
- višim frekvencijama
- većim jakostima polja
- dužem zadržavanju u poljima.

Osim toga ima niz drugih činitelja o kojima ovisi učinak djelovanja, kao spol (žene su osjetljivije), funkcionalno stanje organizma, osjetljivost pojedinaca, stupanj vaskularizacije zračenih organa i udaljenost zračenog organa od površine tijela. Učinak indirektnog djelovanja *EM* polja ovisi o veličini dodirnog napona odnosno struje kroz ljudsko tijelo, a može biti:
- direktni — nagorijevanje i strujni udar
- indirektni — sekundarne pojave zbog šoka, opeklina ili strujnog udara.

Djelovanje neionizirajućih *EM* polja općenito na žive organizme može biti termičko i netermičko.

Termičko djelovanje *EM* polja uočeno je relativno rano, jer izaziva pregrijavanje živog tkiva, zbog čega dolazi do denaturacije te ireverzibilne koagulacije bjelančevina. Ugroženiji su oni dijelovi koji imaju slabiju cirkulaciju i termoregulaciju, kao očne zjednice, sjemenici, dijelovi probavnog trakta, žučni mjehur i sl. Pri nižim frekvencijama dubina prodiranja je veća i zbog toga opasnija, jer se zagrijavanje dubljih slojeva može prekasno ustanoviti.

Netermičko djelovanje *EM* polja može prouzročiti razne funkcionalne smetnje živčanog, kardiovaskularnog i endokrinog sustava kao i promjene u krvi u očima. U tu se kategoriju smetnja ubrajaju i smetnje u radu uređaja za stimulaciju rada srca.

Magnetsko polje i njegov učinak se u razdoblju do 1990. godine (u području ekstremno niskih frekvencija) manje istraživao od električnog i zbog toga ima znatno manje objavljenih radova o tom utjecaju na zdravlje ljudi i žive organizme općenito.

U raspravi na zasjedanju CIGRE u Parizu 1990. i 1992. godine (na osnovi rezultata dotadašnjih istraživanja) naglašena je zamršenost i osjetljivost ovih problema, što iziskuje veliku pozornost pri definiranju fizikalnih parametara koje treba mjeriti. Spomenuta je primjerice potreba istovremenog mjerenja svih triju ortogonalnih komponenata magnetskog polja. Također su u raspravi bili predočeni problemi teorijskog proračuna polja, problemi metodologije istraživanja vezani uz veličine izloženosti utjecaju te pregled studija iz oblasti biologije i biokemije, kao i pregled iz nekih studija epidemiologije i na kraju rezultati provedenih mjerenja. Postavljen je i zahtjev da se načine preciznije studije glede eventualnoga štetnog djelovanja magnetskih polja na zdravlje ljudi. Za zasjedanje 1994. godine usvojena je preferencijalna tema »Karakterizacija izloženosti živih sustava električnim i magnetskim poljima i utvrđivanja razina polja«.

4. OSVRT NA REZULTATE ISTRAŽIVANJA

4.1. Općenito

Kada su stručnjaci bivšeg SSSR-a 1972. godine iznijeli svoju tvrdnju o štetnom djelovanju električnog polja na zdravlje ljudi ako njegova jakost prelazi 5 kV/m, predložili su i da se, kao zaštita, skrati vrijeme boravka u polju uz korištenje zaštitne opreme.

Suprotno gledište je 1976. godine iznijela jedna skupina priznatih stručnjaka iz Zapadne Europe, koje je također temeljeno na istraživanjima. Doduše, kažu oni, ako se čovjek kreće duže vrijeme u jakom električnom polju, nastupit će u njegovom organizmu stanovite promjene, ali one nisu patološke naravi, pa se čovjek brzo oporavi.

Sve je pokazivalo da se istraživanja moraju nastaviti, jer rezultati istraživanja koja su obavljena u malom broju zemalja nisu mogli biti univerzalno prihvaćena. Razloga je više: neusklađenost metodologije istraživanja, relativno kratko vrijeme istraživanja, mali broj ispitanika različite dobi i zanimanja, zdravstveno stanje ispitanika, različiti geografski i meteorološki uvjeti i slično.

Od tada se povećava broj zemalja u kojima se organiziraju takva istraživanja, a organiziraju se i prvi međunarodni timovi. Rezultati nisu izostali. Tako se već 1986. godine na zasjedanju CIGRE u Parizu pojavljuje skupina istraživača iz triju zemalja: Velike Britanije, Francuske i Italije s referatom [3]. Istraživači su radili nezavisno, ali po istoj metodologiji i uz usku međusobnu obaviještenost. Studija uključuje:
- eksperimente sa životinjama u laboratorijskim uvjetima u električnom polju velike jakosti (u nekim slučajevima iznad 100 kV/m)
- eksperimente sa životinjama u prirodnim uvjetima smještenim ispod dalekovoda
- studiju ispitivanja s volonterima i epidemiološkim istraživanjima
- istraživanja utjecaja električnog polja na ugrađene pacamakere s obzirom na štetne učinke.

Te iste godine iznesena su još tri referata iz oblasti utjecaja *EM* polja na žive organizme [2], [4] i [5]. U

kasnije prihvaćenim normama tih zemalja mogu se prepoznati rezultati istraživanja iznesena na spomenutom zasjedanju CIGRE u Parizu.

Godine 1990. na zasjedanju u Parizu nastupaju s referatima Australija [7], SAD [8], Velika Britanija [9], SSSR [10] i Italija [11]. U referatima se obrađuje problem karakterizacije izvora i mjerenja *M* polja koja potječu od tih izvora te njihovi učinci na živa bića. Na zasjedanju 1992. godine referate o svojim istraživanjima podnose Egipat [13] i SSSR [14]. Referat Egipta bavi se teorijskom i eksperimentalnom studijom učinka izloženosti ljudi zračenju električno polje u pustinjskim uvjetima, a referat stručnjaka SSSR-a upućuje na razinu *EM* polja na radnim mjestima ekstremno visokih električnih snaga.

4.2. Analiza graničnih vrijednosti jakosti *E* i *M* polja

Granične vrijednosti obično se utvrđuju kao norme o maksimalnoj jakosti *E* i *M* polja. Takve norme ima za sada samo mali broj zemalja, a i te se međusobno razlikuju zbog već navedenih razloga. Tako primjerice, zemlje istočne Europe normiraju i termičke i netermičke učinke *EM* polja na žive organizme i imaju znatno strože norme od onih na zapadu. Zemlje zapadne Europe normiraju samo termičke učinke, dok netermički, smatraju oni, mogu nastupiti tek kada se prekorače granice za termičke učinke i stoga je, po njihovu mišljenju, dovoljno normirati samo granične vrijednosti za termičke učinke.

Razmotrimo djelomične rezultate nekih obznanjenih istraživanja i neke norme odnosno prihvaćene preporuke o graničnim vrijednostima *E* i *M* polja, te neka stajališta o mogućem štetnom djelovanju tih polja na žive organizme.

Međunarodna udruga za zaštitu od zračenja (IRPA), [15] u objavljenim smjernicama polazi od osnovnog kriterija gustoće struje koja ne smije prijeći 10 mA/m², za trajnu izloženost *E* i *M* poljima (50/60 Hz). To proračunski odgovara jakosti *E* polja od 30 kV/m i gustoći magnetskog toka 5 mT. U pogledu trajanja izloženosti odvojeno se promatra pogonsko osoblje (stručni djelatnici) i stanovništvo (općenito), kako to prikazuje tablica 1.

Tablica 1.

Značajke izloženosti	Jakost *E* polja kV/m	Gustoća *M* toka mT
stručni djelatnici		
— cijeli radni dan	10	0,5
— kratkotrajno (do 2 sata/dan)	30	5
stanovništvo		
— do 24 sata/dan	5	0,1
— nekoliko sati/dan	10	1

U pogledu trajanja izloženosti IRPA i Međunarodni komitet za neionizirajuće zračenje (INIRC) preporučuju da se maksimalno vrijeme trajanja izloženosti pogonskog osoblja u polju jakosti 10 – 30 kV/m određuje prema izrazu $t = 80/E$ (t u satima E u kV/m).

U Njemačkoj su 1989. godine usvojene DIN-VDE 0848 norme, iz kojih ćemo predočiti izraze za izračun homogenog *E* i *M* polja, njihov grafički prikaz i neke komentare [6].

Tablica 2.

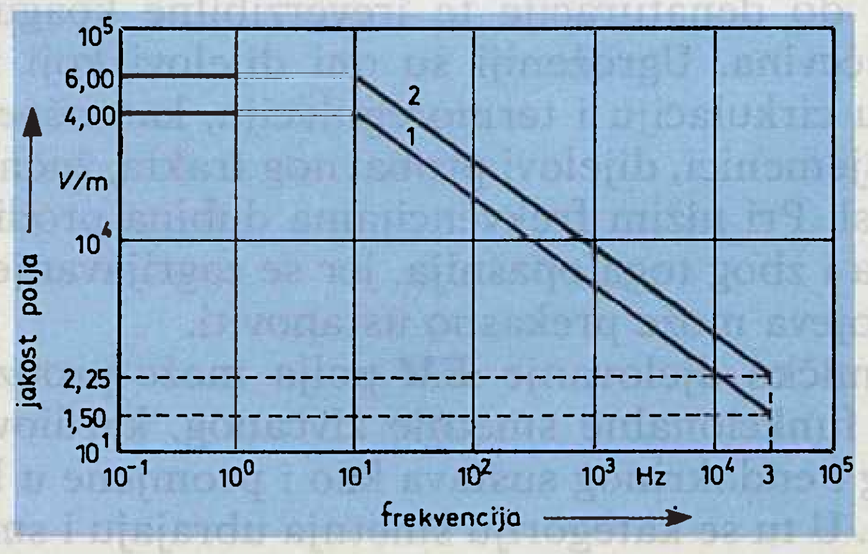
Jakost polja kV/m	Frekvencijsko područje 0 do 10 Hz	10 Hz do 30 kHz
efektivna vrijednost E_g	$E_g a = 40$ (kV/m)	$E_g = \frac{102{,}85}{f\ 0{,}4101}$ (kV/m)
vršna vrijednost $\hat{E}_g$	$\hat{E}_g = 60$ (kV/m)	$\hat{E}_g = \frac{154{,}26}{f\ 0{,}4101}$ (kV/m)

Tablica 2. prikazuje izraze za izračun homogenog *E* polja.
Pri kratkotrajnoj izloženosti (do 2 sata na dan) dopušta se 1,5 puta veća vrijednost jakosti polja od izračunate.
U slučaju nehomogenoga električnog polja primjenjuje se mjerni postupak koji omogućuje usporedbu s ukupnom odvodnom strujom tijela u homogenom polju.
U tablici 3. prikazani su izrazi za izračun homogenog *M* polja.

Tablica 3.

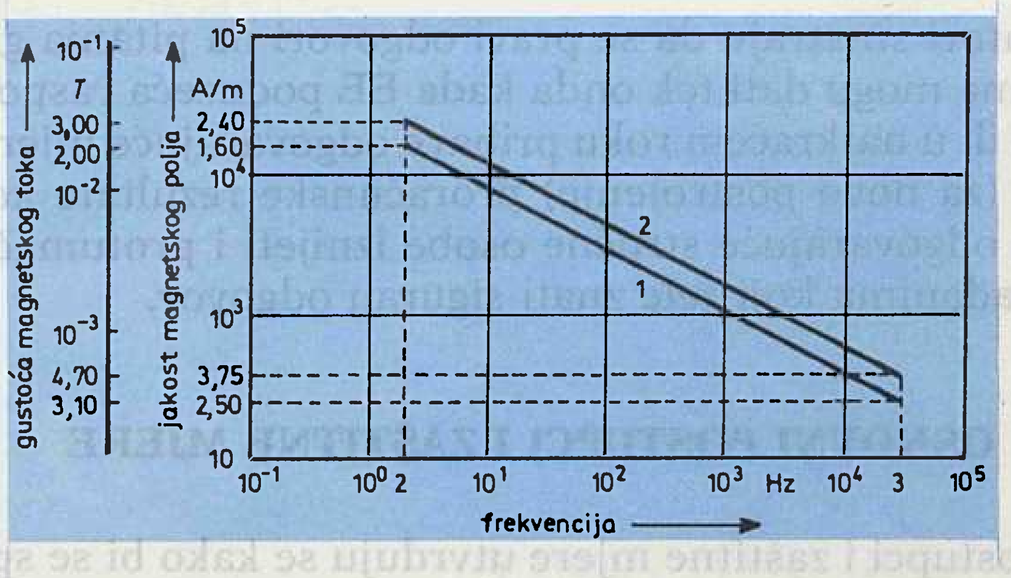
Jakost polja A/m	Frekvencijsko područje 0 do 2 Hz	2 Hz do 30 kHz
efektivna vrijednost H_g	u pripremi	$H_g = \frac{21593}{f\ 0{,}4325}$ (A/m)
vršna vrijednost $\hat{H}_g$	u pripremi	$\hat{H}_g = \frac{32290}{f\ 0{,}4325}$ (A/m)

Za slučaj nehomogenog *M* polja potrebno je obaviti mjerenja, a maksimalna jakost polja na kružnoj površini od 100 cm² ne smije prelaziti prikazane granične vrijednosti u tablici 3.
Na slici 2. grafički su prikazane granične vrijednosti jakosti električnog polja izračunane iz tablice 2.



Slika 2. Granične vrijednosti jakosti električnog polja: efektivna (1) i vršna vrijednost (2)

Na slici 3. vidimo grafički prikaz graničnih vrijednosti jakosti homogenoga magnetskog polja izračunanih iz tablice 3. Iz tog prikaza dobijemo da je maksimalna dopuštena efektivna vrijednost magnetskog polja uz trajnu izloženost 4 kA (5 mT).



Slika 3. Granične vrijednosti jakosti homogenoga magnetskog polja: efektivna (1) i vršna vrijednost (2)

Za procjenu opasnosti za zdravlje ljudi, pri izloženosti djelovanju više E i M polja i različitih frekvencija istovremeno, daju se izrazi za n frekvencija u pojasu $0 \leq f \leq 30$ kHz:

— za E polje: $\sum_{k=1}^{n} \frac{E_k}{E_{gk}} \leq 1$

— za M polje: $\sum_{k=1}^{n} \frac{H_k}{H_{gk}} \leq 1.$

Ako su pojedina polja vremenski zavisna, obavljaju se dodatna ispitivanja.

Ove norme, naglašava se u tekstu, ne mogu se primijeniti za zaštitu pacijenata kod medicinskog promatranja ovih polja, no one su usklađene sa znanstavenim spoznajama da unutar njih ne postoji opasnost za zdravlje ljudi. Nadalje se iznosi tvradnja da dosadašnja istraživanja na dragovoljcima koji su satima ili danima izlagani električnom polju jakosti do 20 kV/m (50 Hz), pokazuju da se ne pojavljuju nikakve štetne posljedice za zdravlje ljudi.

Za magnetsko polje se također pokazalo da nakon izlaganja dragovoljaca dnevno 4 do 6 sati u polju jakosti 4 KA/m (5 mT, 50 Hz) nema nikakvih posljedica za zdravlje ljudi.

Općenito se može kazati da je ovako postavljene granice daleko ispod onih kod kojih nastupaju zdravstaveni problemi. Koje su to granice, ne može se reći bez dugotrajnijeg ispitivanja na dragovoljcima. Za ljude oštećena zdravlja ima do sada vrlo malo promatranja i ni jedno kompleksnije istraživanje. Za osobe s implantiranim elektroničkim pomagalima mora se primijeniti posebna zaštita [6].

Države bivšeg SSSR-a preuzele su norme koje su bile na snazi u vrijeme razlaza i stjecanja nezavisnosti, ali su istraživanja, posebno u Rusiji i Ukrajini, nastavljena po vlastitim programima. Iz spomenutih normi navodimo granične vrijednosti jakosti E polja i vrijeme dopuštenoga boravka u polju, tablica 4.

Tablica 4.

Jakost električnog polja u kV/m	Dopušteno vrijeme zadržavanja u min/dan
do 5	bez ograničenja
5 do 10	180
10 do 15	90
15 do 20	10
20 do 25	5
preko 25	zabranjeno bez zaštite

Polje se mjeri na visini 1,8 m od tla ako nema povišenih predmeta, dok se u slučaju kada takvi predmeti postoje (kao zaštita) mjerenje provodi na visini 0,5 m, 1,0 m i 1,8 m iznad tla. Ako je rad dopušten na povišenim mjestima, poje se mjeri na visini 0,5 m, 1,0 m i 1,8 m poviše mjesta rada i u točki 0,5 m udaljenoj od uzemljenja (mase).

S obzirom na mjesne prilike granične vrijednosti iznose:

— na raskrižju ceste i DV 330 kV (i viših razina napona) 10 kV/m
— za nenaseljena mjesta 15 kV/m
— za naseljena mjesta 5 kV/m
— u objektima za stalni boravak ljudi 0,5 kV/m
— za teško pristupačna mjesta 20 kV/m

Zaštitna zona u kojoj nije dopuštena nikakva stambena izgradnja jest ona u kojoj E polje prelazi jakost 1 kV/m.

Nadalje se određuje da električna indukcija koja se pojavljuje smije doseći takvu vrijednost da izbijanje preko čovječjeg tijela ne preolazi 6 mA.

Glede kratkotrajnog utjecaja magnetskog polja u uvjetima rada pod naponom, bilo na DV ili unutar postrojenja, dopuštene su granične vrijednosti koje preporučuje međunarodna organizacija IRPA/INIRC [14] i [15].

S obzirom na različitu metodologiju koju pojedine zemlje primjenjuju u istraživanjima ovih polja, otežano je uspoređivanje rezultata, koji se uglavnom objavljuju s oskudnim tumačenjima. Pogledajmo koje se granične vrijednosti polja susreću u dostupnoj literaturi pojedinih zemalja.

Danska je usvojila maksimalnu vrijednost jakosti E polja od 10 kV/m, u poljoprivrednim predjelima i 5 kV/m u područjima jakog prometa. U Belgiji je nakon pritužbi farmera ministarstvo propisalo publikaciju Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) kao osnovu za određivanje graničnih vrijednosti polja, a koje ne smiju biti, za nove DV, više od 5 kV/m za područje stanovanja, zatim 7 kV/m na raskrižju DV i prometnica te 10 kV/m u poljoprivrednom području. Veći broj zemalja (uključivo SAD) usvojio je struju izboja od 5 mA.

Da bi se izbjegla opasnost od požara od benzinskih para, smatra se da je sigurnosna udaljenost benzinske stanice od DV 400/500 kV preko 60 m dostatna drugim riječima, benzinske stanice ne treba graditi na prostoru gdje jakost E polja prelazi 2 kV/m. U Egiptu [13] su obavljena mjerenja E polja ispod DV 500 kV i njegovu okolišu do 40 m, u čistim pustinjskim uvjetima. Mjerilo se na visini 1,0 m poviše tla uz sloj pijeska dubine 2 m ($\varepsilon_r = 2-6$), visina stupa 10 do 19,1 m i nagib terena 0%, 4% i 20%. Ispod DV stupa od 16 m izmjerena je ova jakost polja: 4,8 kV/m (nagib 0%), 4,95 kV/m (nagib 4%) i 5,75 kV/m (nagib 20%). Pokazalo se da jakost E polja raste s porastom vrijednosti ε_r pijeska, a smanjuje se s porastom dubine pijeska. Zatim da razina E polja raste s nagibom terena, a da se potencijal ljudskog tijela smanjuje s porastom vrijednosti ε_r pijeska te da raste s povećanjem dubine pijeska. U Sloveniji se već desetak godi-

na provode sustavna mjerenja *E* i *M* polja u području neionizirajućeg zračenja [16]. U tablici 5. dani su podaci izmjereni ispod DV i na udaljenosti 25 m od središnje crte DV.

Zadnjih godina istraživanja su proširena s obzirom na izvore zračenja, karakteristična mjesta rada i kretanja stanovništva. U programe istraživanja uzeti su, osim EE postrojenja, i drugi izvori zračenja, kao razni VF uređaji i postrojenja koja se koriste u industriji i u kućanstvu (obrada drveta, vulkanizacija gume, zavarivanje plastike, računalski i TV monitori i slično). Pokazuje se da je udio tih zračenja u čovjekovu okolišu znatan. Primjerice, pri mjerenju u stambenim prostorima pokazalo se da gustoća magnetskog toka u hodniku iznosi prosječno 0,5 μT, u dnevnoj sobi 4,5 μT a u kupaonici s grijačem od 2 kW izmjereno je 11 μT. Već su ponegdje izvršena opsežna mjerenja u pogledu indukcije i izboja na različitim tipovima motornih vozila. Zapaža se da se jednaka pozornost posvećuje *E* i *M* poljima. Za mjerenja se koriste prenosi digitalni mjerači *E* i *M* polja [8] i [11], kao i osobni dozimetri [16] za profesionalne djelatnike u EE postrojenjima i elektroindustriji. Primjer rezultata takovih mjerenja prikazan je u tablici 6.

Tablica 5.

Mjesto mjerenja	380 kV		220 kV		110 kV	
	kV/m	μT	kV/m	μT	kV/m	μT
ispod DV	6	30	4	20	2	10
bočno 25 m	3	6	0,2	4	0,005	2

Ne mala pozornost posvećuje se zračenjima aparata za osobnu upotrebu, kao što su brijači aparat, aparat za sušenje kose, stroj za pranje rublja, usisavač, TV prijamnik i sl. Gustoća magnetskog toka mjeri se na udaljenosti 3 cm do 1,0 m.

Tablica 6.

Zaposleni u	Gustoća magn. toka μT
teškoj industraiji	
— djelatnici	0,2 do 4,6
administracija	0,08 do 1,4
— razvoj i znanost	0,18 do 8,4
EE prijenosni sustavi	
380 kV	1,2 do 25
75 kV	0,4 do 5
25 kV	0,7 do 6,5
talionica s indukcijskim pećima	do 10 000

Na kraju ovoga dijela članka spomenimo da su u australskom referetu [7] obrađeni (statistički) upiti stanovništva s obzirom na utjecaj polja, od kojih se najčešće pojavljuju: o mogućnosti nastanka raka kod djece koja stanuju ili polaze školu u blizini DV, o utjeacaju na pacemakere, o utjecaju (interferencija) na računalske i TV ekrane, o utjecaju zračenja ekrana, o utjeacaju zračenja ekrana, o vrijednosti zemljišta uz DV prilikom kupnje ili prodaje (zbog mogućih štetnih utjecaja) i još neka ne manje zanimljiva pitanja. Autori smatraju da se pravi odgovori na pitanja građana mogu dati tek onda kada EE poduzeća raspolažu ili u najkraćem roku pribave odgovarajuće mjerne ili (za novo postrojenje) proračunske rezultate koje će odgovarajuće stručne osobe iznijeti i protumačiti građanima koji žele znati siguran odgovor.

5. OSNOVNI POSTUPCI I ZAŠTITNE MJERE

Postupci i zaštitne mjere utvrđuju se kako bi se spriječila pojava jakih zračenja E i M polja, odosno da bi se postojeća zračenja, gdje se ustanovi da prelaze dopuštene granice, svela na prihvatljivu mjeru. Jedno i drugo je povezano za dodatne materijalne troškove. Zaštitne mjere i postupke možemo podijeliti na tri skupine:

— tehničke
— medicinske i
— normativne.

U tehničke zaštitne mjere ubrajamo:

— smanjenje intenziteta zračenja (primjerice geometrijski parametri voda, kao promjer snopa, razmak vodiča, visina stupa i sl. mogu znatno utjecati na smanjenje intenziteta zračenja polja, kao i nesimetrični raspored faznih vodiča),
— oklapanje (ekranizacija) izvora zračenja i/ili radnog jesta
— skraćenje vremena boravka u polju
— povećanje udaljenosti od izvora zračenja
— postavljanje metalnih zaslona i mreža
— uporabu osobnih zaštitnih sredstava
— redovitu kontrolu radnih uvjeta, kontrolu izvora zračenja.

Među medicinskim zaštitnim mjerama jest:

— redoviti godišnji pregledi osoba koje redovito rade u uvjetima jakih *E* i *M* polja
— statistička obrada rezultata izvršenih pregleda, kao i njihovo praćenje tijekom radnog vijeka radnika
(Preglede obavljaju specijalisti za medicinu rada: (neuropsihijatri, kardiolozi, specijalisti za očne bolesti i sl.)
— propisivanje uvjeta koje mora zadovoljiti osoba što radi u prostorima gdje se očekuju zračenja *E* i *M* polja.

Treća vrsta zaštitnih mjera svodi se na normativno-pravnu aktivnost, kao:

— normizacija graničnih vrijednosti zračenja koje se ne smiju prelaziti,
— maksimalna dužina vremena zadržavanja ili rada u *E* i *M* polju,
— rokovi obvezne kontrole izvora zračenja i njihova okoliša,
— donošenje propisa o zaštiti i upotrabi zaštitne opreme.

Svaka od spomenutih osnovnih skupina zaštitnih mjera i postupaka mora biti brižljivo razrađena, a primjena zaštitnih mjera savjesno kontrolirana.

6. ZAKLJUČAK

Sumirajući razmatranja u ovom članku, možemo zaključiti da dosadašnja istraživanja opravdavaju njihov nastavak, pa i proširenje glede izvora zračenja, frekvencijskog spektra i mjesta rada i boravka kako stručnog (pogonskog) osoblja tako i stanovništva općenito. Naime, na osnovi dosadašnjih rezultata ne može se pouzdano ustanoviti stupanj štetnosti za zdravlje ljudi. Interakcija postoji, ali je zbog suptilnosti i složenósti cijelog kompleksa teško dokazati njezine učinke na zdravlje ljudi bez daljnjih i sveobuhvatnijih ispitivanja. Općenito je prihvaćeno mišljenje stručnjaka da se problem nesmije dramatizirati, ali ni minorizirati. Rezultati dosadašnjih istraživanja nisu dostatni za univerzalne zaključke, jer su istraživanja provedena u malom broju zemalja s različitim tehničkim, geografskim i drugim uvjetima, traju relativno kratko vrijeme uz mali broj ispitanika u kojem nisu obuhvaćene najosjetljivije kategorije, a to su djeca i bolesnici. Zatim, pouzdano se zna da se rezultati ispitivanja na životinjama ne mogu sa sigurnošću primijeniti na ljude. Osim toga, istraživanja nisu obavljena po usklađenoj metodologiji, pa se rezultati i njihova interpretacija razlikuju.

I Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) smatra da nema potrebe za primjenu ograničavajućih mjera u *EM* poljima ekstremno niskih frekvencija (ELF) jakosti do 10 kV/m, ali istraživanja se trebaju nastaviti.

Usporedimo li prije navedene maksimalne dopuštene granične vrijednosti, koje su dane bilo kao norme bilo kao preporuke ili pak kao propisi pojedinih zemalja, s rezultatima mjerenja (prikazanih u ovom članku), možemo uočiti da su u pravu stručnjaci kada tvrde da su stvarne vrijednosti jakosti *EM* polja mnogo niže od normiranih odnosno propisanih granica i da je činitelj sigurnosti vrlo visok.

Da bi se dobili realni podaci za odgovore na upit stanovništva o mogućem štetnom utjecaju *EM* polja na zdravlje ljudi, te za poduzimanje eventualnih zaštitnih mjera, nisu dovoljne samo norme u pogledu dopuštenih vrijednosti, već su potrebni autentični rezultati mjerenja, odnosno za nova postrojenja, proračunski iznosi jakosti polja. Odgovarajuće stručne osobe u EE poduzećima, industriji, velikim obrtničkim pogonima i konačno u inspekciji mogu samo na toj osnovi dati meritorna tumačenja i ukloniti moguće nesporazume.

To upućuju na potrebu organiziranih nacionalnih i istraživanja. Pouzdano se može tvrditi da za to postoje stručni i znanstveni potencijali, a financijski troškovi za nabavu potrebne (a nedostajuće) opreme i za sam rad (materijalni troškovi) minimalni su prema koristi koja nužno slijedi, jer riječ je o vrlo osjetljivom pitanju zdravlja ljudi. Pri tome je također prijeko potrebno povezivanje istraživačkih timova koji radea na istim ili sličnim istraživanjima kako u Hrvatskoj, tako i s onima na međunarodnoj razini.

LITERATURA

[1] M. PADELIN: »Utjecaj električnih i magnetskih polja na čovječje zdravlje«. Ref. 36–08 CIGRE, Sarajevo 1979.

[2] S. V. BIRYUKOV et altri (SSSR): »Calculs et mesures de champs dans les postes EHT et UHT et à proximitédes lignes de transport«. Ref. 36–06 CIGRE, Pariz 1986.

[3] CEGB (V. Britanija), EDF (Francuska), ENEL (Italija): »Research on biological effects of power frequency fields«. Ref. 36–08 CIGRE, Pariz 1986.

[4] WORKING GROUP 36.01 STUDY COMMITEE 36: »Electaric and magnetic fields from power transmission systems results of an international survey.« Ref. 36–09 CIGRE, Pariz 1986.

[5] J. H. BERNHARDT et altri (S. R. Njemačka): »Limites des champs électriques et magnétiques dans les normes DIN-VDE considerations pour la gamme de fréquences de 0 à 10 kHz.« Ref. 36–10 CIGRE, Pariz 1986.

[6] DIN-VDE 0848 Teil 4/89.: »Sicherbeit bei elektromagnetischen Feldern.« October 1989.

[7] A. T. WILSON et altri (Australia): »Magnetic field effects in the Victoria transmission system — design and measurement«. Ref. 36–103 CIGRE, Pariz 1990.

[8] R. S. BAISHIKI et altri (SAD): »Studies of power systeam magnetic fields: Characterization of sources in residential environments, measurement of exposure, influence on computer screens«. Ref. 36–104 CIGRE, Pariz 1990.

[9] D. C. RENEW et altri (V. Britanija): »Power-frequency magnetic fields: Measurement and exposure assessment«. Ref. 36–105 CIGRE, Pariz 1990.

[10] N. B. RUBTSOVA et altri (SSSR): »Hygienic guidelines of occumaintenance approaches to exposure limits for industrial frequency magnetic fields«. Ref. 36–106 CIGRE, Pariz 1990.

[11] D. Armanini et altri (Italija): »Measurements of power--frequency electric and magnetic fields around different industrial and household sources«. Ref. 36–107 CIGRE, Pariz 1990.

[12] M. MIKULA (Hrvatska): »Utjecaj elektromagnetskih polja na ljude.« Ref. 36.08 CIGRE, Budva, 1991.

[13] R. RADWAN et altri (Egipat): »Effect of soul on human-exposure to power frequency electric fieldsj: Theoretical and experimental staudies«. Ref. 36–101 CIGRE Pariz 1992.

[14] N. B. RUBTSOVA et altri (SSSR): »Evaluation of electromagnetic field levels at working places of extremely high voltage electric power instalation personnel«. Ref. 36–102 CIGRE, Pariz 1992.

[15] IRPA/Inirc Guidelines: »Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields.« Health Physics, Vol. 58. No. 1 (January) pp. 113–122, 1990.

[16] M. MIKULA (Hrvatska): »Granične vrijednosti jakosti elektromagnetskih polja u frekvencijskom području 0–30 kHz u cilju zaštite ljudi«. Ref. 36–06 CIGRE, Zagreb 1993.

[17] J. GAJŠEK (Slovenija): »Intenzivnost elektromagnetskih sevanj v našem okolju«. Delo+Varnost 38 (1993) 5.

SKRAĆENICE

CCITT — Comité Consultatif International Télègraphique et Tèlèphonique
CIGRE — Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques
CISPR — Comité International Spécial des Perturbations Radioelectriques
COST — Coopération Européenne dans le domain de la recherche Scientifique et Technique
DIN — »Das ist Norm« (Deutsches Institut für Normung)
ELF — Extreme Low Frequency
EMC — Eletromagnetic Compatibility
EMI — Electromagnetic Interference
EMP — Electromagnetic Pulse
ESD — Electrostatic Discharage
INIRC — International Non-Ionizing Radiation Commitee
IRPA — International Radiation Protection Association
UICA — Union Internationale de Chemin de fer
UIG — Union Internationale de l'industrie de Gaz
UNIPEDE — Union Internationale des Producteurs Et Distributeurs d'Energie electrique
VDE — Verband Deutscher Electrotechniker
WHO — World Health Organization

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS ON LIVING ORGANISMS

In this article a brief review of research developement of the electric, magnetic and electromagnetic fields' influence is given and their possible harmful effects on living organisms are discussed. Permissible levels of the field intensity in various countries are presented. Furthermore, elementary ways of protection and finally the suggestion for further research programmes in Croatia are given.

DIE ERFORSCHUNGEN DES EINFLUSSES VOM ELEKTRISCHEN UND MAGNETISCHEN FELD AUF LEBENDE ORGANISMEN

Gegeben wird eine kurze Übersicht des Forschungsverlaufes etwaiger schädlicher Wirkungen des elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldes auf lebende Organismen. Es sind zugelassene Feldstärken in verschiedenen Ländern angeführt. Weiters sind die elementaren Schutzmaßnahmen angegeben und ein weiterer Program solcher Forschungen für Kroatien vorgeschlagen.

Naslov pisca:

Prof. dr. Ivan Plačko, dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
41000 Zagreb, Unska 17
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 07 – 20.

ISTOČNO-ZAPADNA EUROPSKA INTERKONEKCIJA

Osvrt na 35. savjetovanje CIGRE — Pariz 1994.

Dr. Zorko Cvetković, Zagreb

UDK 061:621.31
PREGLEDNI RAD

U članku se daje kratak pregled referata iz Grupe 37 na savjetovanju CIGRE 94 koji se bave interkonekcijom zemalja istočne Europe na mrežu UCPTE.

Ključne riječi: interkonekcija, mreža, sistem, sinkroni pogon, prijenos.

Uvod

Ovogodišnje 35. savjetovanje CIGRE održano je u Parizu od 28. 8. do 3. 9. U grupi 37 Planiranje i razvoj elektroenergetskog sistema (EES) prva preferencijalna tema je glasila:

Kako se postaviti prema novim izazovima interkonektivnih sistema vodeći brigu:

— o povećanju kooperacije i konkurencije među elektroprivrednim poduzećima
— o korištenju već poznatih ali i avangardnih primarnih i sekundarnih tehnologija
— o ekonomskim utjecajima i zaštiti okoliša
— o mogućim ograničenjima

Od deset referata koji su predočeni o toj temi njih pet se neposredno ili posredno bavi problemom interkonekcije između istočno europskog i zapadno europskog EES-a.
Budući se naša zemlja (naš EES) nalazi na periferiji mreže UCPTE na granici s Mađarskom koja je u sastavu IPS interkonekcije (istočnoeuropska interkonekcija) naš interes za ovu tematiku je posebno naglašen. To dolazi još više do izražaja zbog toga što je opće poznata činjenica da pri proširenju neke interkonekcije najveću korist mogu izvući baš periferni EES-i. Istovremeno ti EES-i moraju u većoj mjeri prilagoditi svoju mrežu budućem proširenju interkonekcije.
Da bi širi krug čitatelja »Energije« dobio uvid u osnovnu problematiku proširenja UCPTE sa zemljama istočne Europe kao i u aktualnu situaciju na tom polju u ovom je članku dan kraći prikaz referata, ponekad i suprotstavljenih, koji se na ovogodišnjem savjetovanju CIGRE bave tom problematikom. Pri tome su korištena i zapažanja specijalnog izvjestitelja Grupe 37 [1]. Prije prelaza na obradu pojedinog referata nameću se dva zapažanja karakteristična i za ovo savjetovanje i za današnju situaciju i svijetu.

Specijalni izvjestitelj započinje svoj izvještaj za Grupu 37 rečenicom: Interkonekcija, opet interkonekcija, uvijek interkonekcija pa ipak... Uvodno predavanje pak koje je prigodom svečanog otvorenja ovog savjetovanja održao ministar energetike Egipta imalo je za temu: Afričko-europska interkonekcija i vizija svjetskih interkonekcija [2].

To je, svakako, izazov koji će morati prihvatiti elektroprivrednici svijeta i tema kojom ćemo se sve više i sami baviti.

1. TEHNIČKI ZAHTJEVI I MOGUĆNOSTI SVEEUROPSKE ISTOČNO-ZAPADNE INTERKONEKCIJE [3]

1.1. Uvod

Političke promjene u Istočnoj Europi i opći trend u svijetu prema novim i još širim interkonekcijama postavlja prije svega pitanje njihove tehničke nužde, a zatim mogućnosti i načine eksploatacije tih proširenih interkonektivnih EES-a.

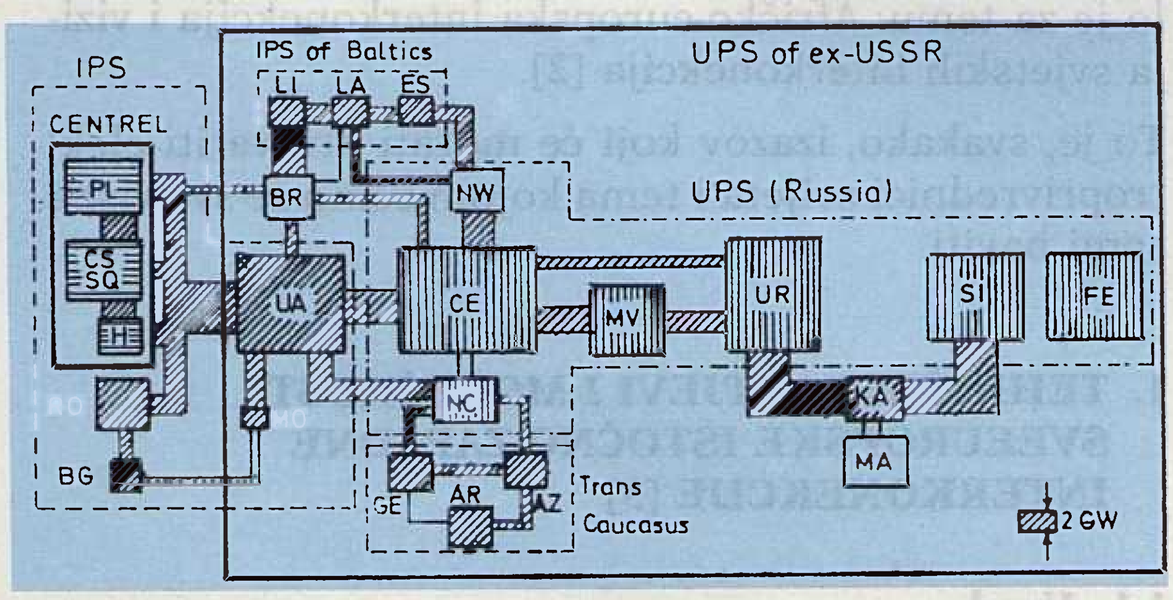
Da bismo bolje razumjeli funkcioniranje i upravljanje postojećih europskih sistema, nužno je poznavati njihov povijesni razvoj. Od prvobitne svrhe stvaranja velikih sistema da bi se izjednačili razni tipovi opterećenja i izmjenjivale energije među mrežama čiji izvori koriste različitom primarnom energijom, današnja filozofija UCPTE interkonekcije je sasvim promijenjena. Ona se sastoji u pomoći kod poremećenih stanja, u potpori održavanja frekvencije i u optimiranju opskrbe. Izjednačenje opterećenja i proizvodnje riješeno je u sklopu nacionalnih sistema, ali ono podrazumijeva i razmjenu utemeljenju na srednjoročnim i dugoročnim ugovorima.

Naprotiv, u interkonekciji UPS (ujedinjeni sistem Zajednice Nezavisnih Država) razvoj se bazira na drugim ekonomskim i tehničkim ciljevima na planu elektrifikacije zemlje iz 1920. godine. Glavni kriterij u UPS interkonekciji bio je minimum troškova, čak uz podređivanje tehničkih standarda u pojedinim slučajevima. Tako je za razvoj UPS karakterističan,

prvo, prijenos na velike udaljenosti; drugo, velika koncentracija proizvodnih kapaciteta u blizini većih industrijskih potrošača; treće, niža rezerva u prijenosnim kapacitetima, tj. vrlo napregnuta prijenosna mreža i, četvrto, visok udio toplana u sistemu.
Nakon što se bivša mreža DDR-a u sastavu IPS/UPS sistema integrirala u mrežu UCPTE ujedinjenjem sa Zapadnom Njemačkom, dalje proširenje mreže UCPTE predviđeno je u dvije faze:

— priključenje zemalja CENTREL na mrežu UCPTE u drugoj polovici ove dekade. U CENTREL su elektroprivreda Poljske, Češke, Slovačke i Mađarske koje prilagođuju primarnu i sekundarnu regulaciju frekvencije standardima UCPTE,
— priključenje mreže Bugarske, Rumunjske i europskog dijela Turske čim to dozvoli situacija u bivšoj Jugoslaviji.

Daljnje proširenje odnosi se na Sjevernu Afriku (Mediteranski Pool) i na Ukrajinu. Razlike u klimi i vremenskim zonama daju opravdanje za proučavanje tih proširenja.
Na sl. 1 dana je radi boljeg razumijevanja struktura IPS/UPS sistema.



Slika 1. Struktura IPS/UPS sistema

1.2. Današnji europski sistemi

Da bi se shvatila osnova problematika vezana za prijelaz EES-a pojedine zemlje iz IPS/UPS sistema u sistem UCPTE navedene su bitne pogonske razlike obiju interkonecija. Radi boljeg shvaćanja reda veličine prije toga su u tablici 1. navedene osnove značajke energetskih interkonekcija u 1992. godini (W_{ex} je razmijenjena energija).

Tablica 1. Europski energetski sistemi u 1992. godini

	P_{inst} [GW]	W_{prod} [TWh]	P_{max} [GW]	W_{ex} [%] int/ext
UCPTE	392.3	1533.8	239.8	8.1 / 1.9
NORDEL	85.8	346.7	50.6	14 / 2.4
IPS	167.0	660.6	104.9	4.5 / 6.0
UPS (Russia)	188.8	944.9	140.7	25 / 6.4
GB	70.0	302.1	54.5	— / 5.5

— *Razlike u organizaciji*

UCPTE: porazumijeva 22 poduzeća iz 12 zemalja koja kooperiraju putem mreže visokog napona. Poduzeća su na svojem području odgovorna za izgradnju, pogon i održavanje u najmanju ruku prijenose mreže. Poduzeća zadovoljavaju svoje potrebe, a moraju također zadovoljiti kriterije UCPTE za vođenje pogona uključujući regulaciju frekvencije.

UPS: sastoji se od 13 poolova (sl. 1) koji su podijeljeni na 104 regionalna sistema. Od tih poolova njih je 11 u paralelnom radu.
Sistem pogona bazira se na strogoj hijerarhiji

— Centralni dispečing u Moskvi (CDO)
— 12 dispečinga poolova
— 104 regionalna centra upravljanja
— 600 distribucijskih centara upravljanja.

Zemlje IPS-a sve se više osamostaljuju u svojoj težnji da se priključe UCPTE sistemu što još ne vrijedi za Ukrajinu. Dispečerski centar IPS nalazi se u Pragu.

— *Koordinacija pogona*

UCPTE: svako poduzeće donosi svoj operativni plan, vodi svoju mrežu i provodi optimiranje. Razmjene između poduzeća u najmanju su ruku dogovorene bilateralno.

UPS: svakog dana, tjedna, kvartala i godine nužni podaci šalju se u CDO iz svih poolova, a CDO donosi »vozni red« na bazi optimiranja cijelog UPS sistema, tj. na bazi minimalnih troškova.

— *Dimenzioniranje interkonektivnih vodova*

UCPTE: za dimenzioniranje su bitni dugoročni prijenos i rezerva za slučaj poremećaja, dok je minimalni kapacitet određen kroz stabilnost — za pogon je odlučujuća termička granica.

UPS: za dimenzioniranje su bitni dugoročni prijenos i rezerva za slučaj poremećaja, kapacitet je limitiran troškovima — za pogon je odlučujuća stabilnost.

— *Pouzdanost*

UCPTE: osnovni kriterij planiranja (n — 1)

UPS: osnovni cilj je opći trošak, zbog čega je uveden specijalni tip zaštite radi većeg broja visokoopterećenih jednostrukih vodova

— *Zaštita*

UCPTE: selektivna i rezervna zaštita za sve elemente sistema sa 1-faznim i 3-faznim ponovnim ukapčanjem

UPS: svi elemnti sistema ≥ 500 kV imaju dvije neovisne zaštite bazirane na različitom principu. Vodovi ≥ 330 kV imaju 2-fazno i 3-fazno ponovo ukopčanje.

— *Primarna regulacija*

UCPTE: rezerva 2,5% od P_L (vršne snage)
karakteristika
snaga/frekvenc. 20 GW/Hz
udio jedinice: nuklearne 4–6%
termo 4–6%
hidro 2–6%

UPS: rezerve: nema standarda, ali nisu ispod 2% od P_2

karakteristika Rusija 7 – 9 GW/H_2
snaga frekvencije IPS/UPS 14 – 18 GW/H_z
udio jedinica: nema preporuke

— *Sekundarne regulacije*

UCPTE: načelo — regulacije snaga/frekvencija koja osigurava svaki partner

UPS: načelo — kombinirana regulacija snaga/frekvencija kroz CDO, dispečere poolova i regulacijske elektrane.

1.3. Scenariji istočno-zapadne europske interkonekcije

Proširenje UCPTE mreže prema istoku imat će izravne posljedice na granične sisteme Njemačke, Austrije i bivše Jugoslavije. Zato je korisna inicijativa potpisivanje »kataloga mjera« koje trebaju poduzeti zemlje CENTREL radi integracije u UCPTE. Nove dalekovode trebat će graditi ne samo u zemljama CENTREL već i unutar UCPTE mreže, posebno unutar graničnih zemalja.

Gledajući na eventualne scenarije moguće istočno-zapadne europske intekonkcije, a imajući na umu navedene razlike, nameću su u načelu dva rješenja:

— gradnja izvora u blizini potrošača i energetski balans svake regije bez potrebe prijenosa na velike udaljenosti (varijanta 1)
— ako ograničenja onemoguće takav balans u centralnoj Europi, trebat će razmotriti uvoz bilo iz NORDEL-a bilo iz UPS-a. U tom slučaju nužan je prijenos na velike udaljenosti. (varijanta 2).

Varijanta 1

U tablici 2. dane su predvidive investicije povezivanja. One se odnose na sinkrono, asinkrono i hibridno povezivanje, a odnose se na investicije u elektrane, prijenosnu mrežu i sustav vođenja. Najveći dio investicija odnosi se na zemlje IPS/UPS, ali poneke i na zemlje UCPTE.

Slijedi da asinkroni rad preko back-to-back postrojenja traži najmanje investicije.

Varijanta 2

Kao primjer razmotrene su varijante prijenosa iz regije Moskve i iz regije srednje Volge. U oba slučaja problem gubitaka aktivnih, pogotovo jalovih osnovni tehnički problem. Zato su uz AC rješenja napona 750 kV vrlo ozbiljna i HVDC rješenja.

Tablica 2. Scenariji istočno-zapadne interkonekcije

Scen.	Način interkonekcije: sinkrona AC	sinkrona HVDC	asinkrona AC	asinkrona HVDC	Nužna investicija: elektrane	Nužna investicija: mreže	Potrebe vođenje sistema
1	–	–	×	–	●●●●●	●	■
2	–	–	×	×	●●●●●	●●●	■■■
3	×	–	–	–	●●●●●	●●●	■■■
4	×	×	–	–	●●●●●	●●●●●	■■■■

Dakako da ekonomski aspekt svih rješenja treba u budućnosti ozbiljnije razmotriti.

Ne treba zaboraviti da mnoge stare elektrane moraju biti napuštene, a mnogi novi blokovi adaptirani u smislu zaštite okoliša. Financiranje te rekonstrukcije ozbiljan je problem u Rusiji i Ukrajini.

2. SINKRONA INTERKONEKCIJA MREŽA POLJSKE, ČEŠKE, SLOVAČKE I MAĐARSKE SA MREŽOM UCPTE — IZGLEDI, STUDIJE I KONKRETNI PRETHODNI ZAHVATI [4]

U Europi djeluju 4 velike interkonekcije: UCPTE, NORDEL, SISTEM VELIKE BRITANIJE I IPS SISTEM u kojem su mreže Poljske, Češke, Slovačke, Mađarske, Rumunjske, Bugarske i dio Ukrajine s centralnim dispečingom (CDO) u Pragu. Veza UCPTE s NORDEL sistemom i Velikom Britanijom ostvarena je podmorskim istosmjernim vezama. Sistemi na kontinentu mogu se povezati AC vezama ako se i kada individualni sistemi koriste istim pogonskim parametrima. Kad su istočnoeuropske zemlje počele težiti užim ekonomskim vezama sa Zapadom, počela su i traženja za značajnijim izvozom električne energije i jačom kooperacijom.

U UCPTE individualne su kompanije odgovorne za opskrbu svojih područja. Sve članice slijede preporuke UCPTE za sinkroni paralelni pogon svojih elektrana i mreže što je osnova za pojačanu razmjenu među njima. Osobito je ojačala kooperacija među članicama kad je u šezdesetim godinama uvedena regulacija frekvencije/snage. U 1992. godini UCPTE je imao instaliranu snagu približno 360 000 MW, vršno opterećenje 250 000 MW i potrošnju 1 500 TWh. Ukupna razmjena među članicama bilo je 145 TWh ili 9,7% od potrošnje.

Važan faktor za dobru kooperaciju je visok standard koji je postignut u primarnoj i sekundarnoj regulaciji (vrlo mala odstupanja od frekvencije 50 Hz).

Proširenje sinkronog rada UCPTE moguće je samo ako novi sistemi prihvate iste standarde.

Sistem IPS je stvoren 1962. godine s namjerom uvoza električne energije iz SSSR-a. Kad su u osamdesetim godinama izgrađene tri 750 kV veze prema Poljskoj, Mađarskoj i Bugarskoj omogućen je izvoz snage 5 000 MW u IPS zemlje. Nakon političkih promjena članice IPS su Bugarska, Češka, Mađarska, Poljska, Rumunjska, Rusija, Slovačka, Ukrajina i VE-

AG bivši DDR), no one ne rade uvijek sinkrono. U 1992. njihova instalirana snaga iznosi 311 000 MW, vršno opterećenje 105 000 MW (bez Rusije), a potrošnja 1 400 TWh. Kooperacija između UCPTE i IPS vršila se u skromnim razmjerima 150 – 250 MW pomoću dvije veze 220 kV u otočnom radu, a tek je izgradnjom back-to-back stanice snage 550 MW u Dürnrohru omogućena veća razmjena između Austrije i Češke. Takav sistem ima prednost neovisnog vođenja separatnog pogona, a ujedno ne povećava snagu kratkog spoja. S druge strane, on traži velike količine jalove snage i vrlo velike investicije. Kako je pouzdanost ove veze dokazana, to je postalo vrlo prihvatljivo rješenje međusobnog spajanja asinkronih sistema. Zato su potkraj 80-ih godina izgrađene dvije nove back-to-back stanice snage 600 MW između Češke i Njemačke te Austrije i Mađarske. One su ušle u pogon 1993. godine, pa današnji ukupni kapacitet veze UCPTE — IPS iznosi 1 750 MW. Te su veze kompletno iskorištene na bazi dugoročnih ugovora o isporuci energije, pa je to i razlog da su se tražile nove mogućnosti kroz sinkroni rad, osobito nakon političkih promjena u Istočnoj Europi. Tako je 1992. godine ad-hoc grupa stvorena od električnih kompanija graničnih sistema (uključivši i HEP) priredila »Katalog mjera« koji precizira koje tehničke, ekonomske i organizacijske mjere trebaju preduzeti novi partneri da bi ušli u UCPTE.

U listopadu 1992. formiran je u Pragu CENTREL tj. regionalna grupa elektroprivrednih poduzeća iz Poljske, Češke, Slovačke i Mađarske, koja koordinira sve predradnje za zajednički priključak tih zemalja mreži UCPTE. (Detaljnije podatke iz »Kataloga mjera« čitatelj može dobiti u tajništvu HK CIGRE.) Te mjere zapravo ukidaju razlike između dvaju sistema navedenih u točki 1. U rujnu 1993. nakon zahvata u samom primarnom i sekundarnom sustavu regulacije zemlje CENTREL-a su izvele probni izolirani pogon (odvojeni od IPS sistema) koji je pokazao njihovu spremnost do uskoro udovolje svim uvjetima iz »Kataloga mjera«. (vidi *Energija* br. 4/94).

Predviđeno je da se zemlje CENTREL-a prve priključe sistemu UCPTE, a da u drugom koraku to učine Rumunjska i Bugarska.

3. INTERKONEKCIJA POLJSKOG EES SA UCPTE TEHNIČKI I EKONOMSKI PROBLEMI [5]

UCPTE je unija »nezavisnih« EES. Pri tome riječ nezavisni označava sposobnost da se neograničeno vrijeme može samostalno voditi pogon. To znači da svaki sistem mora imati dovoljno rezervnih kapaciteta i dovoljno razvijenu mrežu i vlastitu primarnu i sekundarnu regulaciju. U Zapadnoj Evropi gdje je velika gustoća tereta, a mreža dobro razvijena, nema problema s prijenosnim mogućnostima u interkonekciji. Regulacija snaga/frekvencija je decentralizirana, ali svaki sistem sudjeluje u toj regulaciji prema prihvaćenim standardima koji su zajednički doneseni. To načelo dobrovoljne kooperacije jamči kvalitetu i sigurnost pogona. Zemlja koja se želi priključiti mreži UCPTE mora prihvatiti ta načela.

U sistemu IPS/UPS osnovni činitelj udruživanja bilo je dugoročno napajanje iz istočnoga dijela (UPS) prema zapadnom dijelu IPS

Interkonecija je, međutim, slaba, pogotovo u bivšem SSSR-u, jer je njezino jačanje s obzirom na udaljenost vrlo skupo. Ta slaba interkonekcija dovodi do vrlo specijalnog načina regulacije snage i frekvencije. Bilo ja zamišljeno da je samo SSSR odgovoran za frekvenciju, a ostali sistemi nadziru samo saldo razmijenjene energije. To je dovodilo do znatnog odstupanja frekvencije od 50 Hz. Kad je 1990. g. uvoz energije iz SSSR-a pao na nulu, prijenosni su se putovi rasteretili, pa se mogla uspostaviti normalna regulacija snage i frekvencije koja se Srednjoj Evropi odvija skladu s preporukama UCPTE.

Sa poljskog gledišta, a njega dijele Češka, Slovačka i Mađarska, prednost paralelnog rada s UCPTE su slijedeće:

— *Ugovorena razmjena energije*

Ugovorena razmjena energije može se ostvariti u sinkronom i asikronom modelu, no, najveća pouzdanost uz minimalni trošak može se ostvariti u sinkronom modelu.

— *Efekt smanjenja rezerve*

Taj efekt ovisi o veličini sistema, a UCPTE i IPS-/UPS imaju sličnu veličinu. Ipak, prednosti rada u UCPTE dolaze do izražaja zbog većih prijenosnih mogućnosti interkonekcije i važnijih potencijalnih isporučilaca u slučaju poremećenog rada sistema

— *Pomak vršnog opterećenja*

Ovaj je pomak osobito naglašen između Poljske i bivšeg DDR-a.

— *Bolja pouzdanost napajanja graničnih regija*

Za sinkroni pogon postoji pet 400 kV veza i četiri 220 kV veze prema Njemačkoj i Češkoj, a samo jedna 750 kV prema Ukrajini.

— *Stabilizacija frekvencije*

U UCPTE faktor »k« odlučan za sposobnost sistema da održi frekvenciju iznosi 25 000 MW/Hz dok on u IPS/UPS iznosi približno polovicu.

— *Pomoć nakon težih kvarova*

Ta je pomoć ograničena uglavnom prijenosnim mogućnostima, a te su povoljnije kad je Poljska spojena na UCPTE.

Istovremeno priključenje Češke, Mađarske, Poljske i Slovačke na UCPTE sistem znači zapravo spajanje dvaju sistema, što je novost u UCPTE praksi, pa tome treba pristupiti oprezno, a obje strane moraju biti uvjerene da je interkonekcija razumna i sigurna. Osnovne zapreke koje se nameću su sljedeće:

— *Psihološka zapreka*

Dugogodišnje razdoblje ograničenih kontakata Zapada i Istoka stvorilo je psihološku zapreku ko-

ja se bazira na subjektivnim procjenama o tehničkim uvjetima i pogonskoj praksi EES-a.

Na Istoku dominira vrlo visoko mišljenje o pogonskim kvalitetima UCPTE sistema. Na Zapadu je tendencija podcjenjivanja tehničke razine opreme i odgovarajućeg vođenja pogona istočnog sistema. Obadva pristupa stvaraju neopravdan dojam da su troškovi i interkonekcije enormni. Da se svlada ova psihološka zapreka, jedini su put zajedničke probe i analize.

— *Tehničke zapreke*

Nema fundamentalnih tehničkih prepreka u ostvarenju interkonecije. Istočne zemlje moraju samo prihvatiti standarde i preporuke UCPTE. Neke od njih, Poljska, npr. već ih koristi.

— *Ekonomske zapreke*

Mreže na obje strane su razvijene kao da nikad neće doći do zajedništva. Dakako, za slučaj sinkronog rada dijelovi mreže su na obje strane poddimenzionirani i treba ih ojačati ili su predimenzionirani (back-to-back stanice) što se može rješiti njihovim preseljenjem na nove lokacije.

— *Organizacijski problemi*

Naravno da povećani braoj članica UCPTE dovodi do organizacijskih problema u paralelnom radu, ali svi se slažu da su ti problemi rješivi npr. regionalizacijom sistema UCPTE

U međuvremenu niz studija i ideja proveden je kroz tijela UCPTE, UNIPEDE i CENTREL. Također su 1993. provedeni pokusi na terenu da se pokažu pogonske mogućnosti sistema CENTREL. Svi su rezultati pozivitni i nema zapreke da Poljsa 1996. ne postane član sistema UCPTE. Ujedno, povoljnije rješenje bi bilo da sve države CENTREL-a tog datuma pristupe u UCPTE.

4. KONKURENCIJA PREMA SURADNJI IZMEĐU ISTOČNOEUROPSKIH ZEMALJA NA PUTU PREMA PANEUROPSKOM EES — RUMUNJSKI POGLED [6]

Energetski sistem istočnoeuropskih zemalja IPS sinkrono je radio 30 godina. U njega je bio uključen jugozapadni dio SSSR-a, a od 1992. g. Ukrajina i europski dio Rusije.

Od 1989. do 1992. došlo je do drastičnih promjena u sociopolitičkoj i ekonomskoj strukturi tih zemalja. Oštra ekonomska kriza pojačana pretvorbom sa krute planske privrede na tržišnu privredu, dramatsko smanjenje industrijske proizvodnje i zaustavljanje investicija dovelo je do kontinuiranog smanjenja potražnje električne energije. Daju se vralo detaljni energetski podaci svih članica IPS sistema. Karakteristično je da je izvoz iz UPS (bivši SSSR) drastično padao od 32,4 TWh u 1989. g. na 15,8 TWh u 1991. g. da bi stigao na 4,8 TWh u 1992. g.

Suočeni sa situacijom zemlje IPS s nadom gledaju u budućnu paneuropsku interkonekciju. U posljednje 4 godine neki su zaključci općenito prihvaćeni:

— prednost sinkronog rada spram povezivanja preko back-to-back stanica
— obustava daljnjeg širenja 750 kV mreže
— nužnost ozbiljne pripreme za povezivanje na UCPTE, osobito u pogledu načina regulacije frekvencije i napona.

U istom razdoblju pojavljuje se očita konkurencija među kandidatima za prelaz u UCPTE. Smatra se da taj proces treba analizirati sličnim metodama kao i opću suprotnost između konkurencije i koordinacije u radu i životu elektroprivrednih poduzeća.

S jedne strane, sasvim je shvatljiva tendencija istočnoeuropskih kandidata za priključak u UCPTE da u fair-play konkurenciji pokažu svoje specifične prednosti i svoju spremnost za paneuropsku mrežu.

Nažalost, takva konkurencija vrlo lako dolazi pod politički, nacionalni i internacionalni utjecaj koji nemaju ništa zajedničkog s energetskim i ekonomskim kriterijima i zaštitom okoliša.

Da se izbjegnu takvi negativni utjecaji kao i da se omogući normalni razvoj i pogon svakog sistema, nepobitno je potrebna **koordinirana akcija** i treba je usvojiti.

Postoje dvije vrste kooradinirane akcije: **globalna** i **regionalna.**

Globalna se sastoji u poštivanju normi, pravila i preporuka za postojeće i buduće članice interkonecije.

Postavlja se pitanje je li nužna i regionalna akcija. Između budućih članica mogu postojati različiti interesi i rivalitet, što dovodi do njihova natjecanja u nastojanju da se povežu u interkonekciju.

Ako su naprotiv interesi zajednički, vrlo je privlačno i korisno formirati regionalne grupe. Jasno da može biti konkurencije između takvih grupa ili između grupe i izoliranih članica zajednice, no koordiniranom akcijom može se izbjeći pojava takvih konfliktnih situacija.

U razvoju UCPTE bile su i još postoje formalne i neformalne grupe koje nisu uvijek rezultat postupnog sazrijevanja. Kao primjer, stvaranje CENTREL-a može se opravdati samo ako ne dođe do blokiranja ili kašnjenja u interkonekciji drugih sistema.

Ograničenje samo na CENTREL, kad je riječ o pripajanju na UCPTE, s rumunjskog je stajališta **ista pogreška** kao i proširenje na bikontinentalni prostor koji pokriva bivši SSSR-

Prva se tvrdnja obrazlaže postojećom jakom UCPTE mrežom u jugoistočnoj Europi, pa prostor između CENTREL-a i UPS mreže ne može biti ostavljen nesigurnoj budućnosti.

Što se druge tvrdnje tiče, interkonekcija električki ujedinjene Europe s bivšim zemljama SSSR-a sasvim je drugi problem koji treba i drukčije raješavati. Riječ je o redu veličine i znatnim udaljenostima, pa je to projekt za 21. stoljeće.

Predlaže se konkretno pojačanje 400 kV veza s Mađarskom, koja je praktički u realizaciji svoje veze sa Slovenijom i Hrvatskom, članicama SUDEL-a, a pre-

poručuje se jačanje veza s Bugarskom, Turskom i Grčkom.

Završava se citatom A. Persoz-a najoduševljenija i najefikasnija borca za paneuropsku interkonekciju na Okruglom stolu UNESCO-a 1992. u Parizu, u kojem od današnjih elektroinženjera traži organiziranje razumnog progresa budućeg rasta i sve većeg broja kandidata za priključak na UCPTE sistem.

5. PROŠIRENJE SINKRONIH EES-a; PREDNOSTI I MANE [7]

Nakon radikalnih promjena na europskoj političkoj sceni elektroprivredna poduzeća su načela mogućnosti koje im daje međusobna interkonekcija. Radna grupa 37.12 Studijskog komiteta 37 CIGRE odlučila je učiniti sintezu svih prednosti i mana vezanih za proširenje sinkronih sistema.

U prvom dijelu daje se komparativna studija sinkronih sistema UCPTE, NORDEL, UPS, sjevernoameričkoga, južoameričkoga, japasnkoga... Studija se odnosi na

- opis sistema
- bivši i budući razvoj
- na razloge današnjeg ograničenja sinkronizma i na ulogu istosmjerne opreme

Dok u pojedinim kompanijama koje istovremeno predstavljaju i sistem hijerarhijska oraganizacija osigurava balans ponude i potražnje od planiranja do vođenja pogona, uključivši tu i centralni dispečing, svi veliki sistemi s iznimkom UPS/IPS, rade bez centralnog dispečinga na bazi usvojenih preporuka ponašanja.

Dok se npr. u Sjevernoj Americi, Japanu i NORDEL-u ne razmatra mogućnost geografskog proširenja, dotle UCPTE teži za proširenjem na jug vezom Španjolske i Maroka i na istok, što uključuje bivši DDR, CENTREL, te Rumunjsku, Bugarsku i Tursku.

Razmatrajući prednosti interkonekcija, najveća ušteda pogonskih troškova proizlazi iz:

- korištenja zajedničke rezerve
- korištenja termoblokova s najnižim specifičnim troškovima
- zajedničkog plana održavanja.

Sa stajališta investiranja uštede proizlaze:

- iz uštede u instaliranu snagu zbog neistovremenosti opterećenja
- izgradnje baznih elektrana na lokacijama gdje su proizvodni troškovi najniži. U tom slučaju može se ponekad raditi o veleprijenosu, a ne o čistoj interkonekciji.

Osim ove zajedničke uštede, i najmanja poduzeća u interkonekciji mogu graditi proizvodne jedinice najveće jedinične snage.

Kad je riječ o manama intekonekcija, u prvom redu se to odnosi na investicije i pogonske troškove prijenosne mreže. Međutim, najčešće spominjana mana je sljedeća: za zadani kapacitaet razmjene povećani prijenos električne energije povećava gubitke i smanjuje sigurnost napajanja, pa to može dovesti do nužne promjene u optimalnom uvrštenju proizvodnih jedinica.

Osnovni tehnički problemi proširene interkonekcije su sljedeći:

- Tok aktivne snage tiče se svih partnera, što traži izmjenu informacija među dispečarskim centrima kako bi unutarnja sigurnost svake kompanije i zajednička sigurnost sistema bila održana na traženoj razini. Potrebne su i zajedničke studije za pojačanje mreže.
- Regulacija napona, prijenos jalove energije i ograničenja struje kratkog spoja su lokalni problemi, ali o njima treba ozbiljno misliti u graničnim područjima.
- Može doći i do problema stabilnosti generatora ako mrežna impedancija nije dosta niska, što je moguće u slučaju područja s malom gustoćom opterećenja.

Danas se sve interkonekcije susreću s navedenim problemima, a na njih upozoravaju kvarovi koji ponekad pokrivaju vrlo široka područja.

Dobro su poznata rješenja koja uklanjaju navedeni problem: korištenje višeg napona, većeg presjeka dalekovoda, povećanje broja dalekovoda i postrojenja, kompenzatori jalove energije, moderni dispečing itd. Može se reći da danas nema tehničkih ograničenja za proširenje interkonekcija nadzemnim vodovima. No kako cijene izgradnje vodova zbog opozicije javnog mišljenja rastu, postoje ekonomske granice proširenja koje će biti potisnute daljnjim tehničkim progresom. Utjecaj veličine interkonekcija ima također svoje značenje. Ušteda goriva ovisi, dakako, o strukturi proizvodnje i o raelativnoj cijeni goriva. U UCPTE mreži računa se da maksimalna moguća ušteda iznosi 10%, a da je danas s obzirom na mogućnosti prijenosa ostvarivo 6 – 8%.

Teorijska granica uštede u investicijama u izvore postiže se kad je veličina intekonekcija takva da se razlika balansa ponude i potražnje može smatrati zanemarivom.

Broj partnera u interkonekciji također izaziva organizacijske probleme. Oni se rješavaju dovoljnom transparentnošću izmjenjenih podataka i pravilnom raspodjelom dobiti između kompanija koje izmjenjuju energiju te prijenosnih poduzeća.

Nabrojene su također već dobro poznate prednosti i mane AC i DC rješenja. Dana je teorijska razrada dobiti u ovisnosti o snazi interkonekcije i to za varijante sjever — jug i istok — zapad. Koliko god nema tehničkih ograničenja za proširenje sistema osim »električkih pustinja«, ipak politička situacija i opterećenje s postojećim stanjem, ako se sistemi koriste raznim tehnikama, mogu biti razlog kašnjenja u realizaciji i proširenju interkonekcija.

Treba se nadati da ne postoje granice za čovječanstvo da stvori stabilne političke odnose kao bazu za dugoročne investicije.

6. UMJESTO ZAKLJUČKA

Iz sadržaja prikazanih referata vrlo je jasno u kojem će se smjeru kretati daljnji razvoj velikih europskih interkonekcija, a posebno one UCPTE kojoj i mi pripadamo.
Vidljivo je također da u stručnom pogledu moramo biti ne samo ažurni, već i vrlo aktivni da bismo na vrijeme mogli djelovati u traženju optimalnih rješenja poštivajući uvijek pravila ponašanja UCPTE sistema.
To znači da treba imati jake timove sposobnih energetičara, ekonomista i pravnika s jedne strane i također jake stručnjake specijaliste u izgradnji, pogonu i vođenju sistema prije svega prijenosne mreže s druge strane.
Nadajmo se da ćemo to uskoro ostvariti.

LITERATURA

[1] BERLEMONT V.: »Raport special pour le groupe 37« CIGRE 1994.

[2] ABAZA M. M.: »Africa-Europe Electrical intercontection and prospects of worldwide interconections«, CIGRE 1994.

[3] SCHNELDER J., HAUBRAICH H. J., BRUMSHAGEN H., DENZEL D., SCHWARZ J., KUCHERON N., RUDENKO N., BONDARENKO A. F., OKIN A. A.:« Technical requirements and possibilities of an all-European east-west interconnection« CIGRE 1994. 37 – 103

[4] FREMUTH W., STRAUSS L., HALZL J., KARAS P.: »The synchronous interconnection of the networks in Poland, the Czech republik, Slovakia and Hungary to the UCPTE network-aspects, studies and concrete preliminary works« CIGRE 1994. — 37 – 106

[5] TWARDY L., FRAYDRYCHOWSKI R., DUDZIK J., LIPKO K.: »Interconnection of the polish power system to UCPTE — technical and economical problems »CIGRE 1994. — 37 – 107.

[6] MIHAILEANU C., CONECINI I.: »Competition vs coordination between eastern European countries in the way towards a pan-European interconnected electric system — Romanian outlook« CIGRE 1994 37 – 109

[7] WORKING GROUP 37.12: »The extension of synhronous electric systems; advantages and drawbacks« CIGRE 1994.

EAST-WEST EUROPEAN INTERCONNECTION REVIEW OF 35. CONFERENCE CIGRE — PARIS 1994

In the paper, a short review of papers from the Group 37 at the 94 CIGRE conference is given, that are related to interconnection of the Eastern Europe to UCPTE network.

DER OST-WEST VERBUNDBETRIEB IN EUROPA; RÜCKBLICK AUF DIE TAGUNG CIGRE IN PARIS 1994

Der Artikel gibt eine kurze Übersicht jener Vorträge der Gruppe 37 an der Tagung CIGRE 94, welche sich mit dem Verbundbetrieb der osteuropäischen Länder mit dem UCPTE Netz befassen.

Naslov pisca:

Dr. Zorko Cvetković, dipl. ing.
HK CIGRE
41000 Zagreb, Berislavićeva 6,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 09 – 09.

Svjetski dan normi

14. listopada obilježava se kao **Svjetski dan normi.** Smisao je tog obilježavanja da se u javnosti jača svijest o značenju normi u gospodarstvu i privatnom životu. Primjena normi omogućava nam zdraviji život i okoliš, kvalitetnije proizvode i usluge, međunarodnu trgovinu bez zapreka i lakšu tehničku suradnju.

Vraćajući se stotinu i više godina unatrag vrijedno je spomenuti nekoliko povijesnih datuma. Daleke 1876. godine, od 1. siječnja, na cijelom području Austro-Ugarske zakonom se uvodi metrički sustav.

Značajan je datum 25. veljače 1941. kada je osnovana prva institucija u Banovini Hrvatskoj koja se bavi normizacijom. To je Savjetodavni odbor za normizaciju (SON) pri Odjelu za obrt, industriju i trgovinu, koji izdaje svoje glasilo »Vijesti« u kojem objavljuje izvješća o svom radu i prijedloge normi.

Prva hrvatska norma pod nazivom HN 1 — Sapun i sredstva za pranje objavljena je 24. rujna 1941. U razdoblju od 1941. do 1944. godine objavljene su 43 hrvatske norme. Godine 1950. ukinuta je zagrebačka normirna komisija.

U bivšoj SFRJ svi su poslovi normizacije centralizirani i bili su u ovlasti Jugoslavenskog zavoda za standardizaciju, koji izdaje norme pod nazivom JUS — Jugoslavenski standard. Prekidom državnopravnih odnosa sa SFRJ na području Republike Hrvatske prestaje nadležnost bivše savezne uprave, kao i valjanost zakona bivše SFRJ.

Potkraj 1992. godine osnovan je Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM) kao tijelo državne uprave sa zadaćom uspostave provođenja i nadzora sustava normizacije u Republici Hrvatskoj, te kao mjesto kontakata i uspostavljanja suradnje s nacionalnim i međunarodnim institucijama. Zavod o svom radu informira putem svoga »Glasila Zavoda«. Također je 1992. godine osnovano Hrvatsko društvo za normizaciju (HDN), koje izdaje glasilo »Normizacijski glasnik«.

Radi ispunjavanja moguće zakonske praznine privremeno je preuzet Zakon o standardizaciji, pa je sada na snazi preuzeti sustav normizacije temeljen na približno 13000 JUS-a. Međutim, ovaj sustav je zastario i nije primjeren današnjim gospodarskim potrebama Republike Hrvatske. Preuzimanjem JUS-a problem je samo trenutačno riješen. Preuzete norme nije moguće dopunjavati ni mijenjati, te je potrebno donijeti mehanizme za uspostavljanje vlastitog sustava normizacije.

Prekidom državnopravnih veza s bivšom SFRJ prestala je u Hrvatskoj elektroprivredi i nadležnost JUGEL-a, kao i primjena njegovih granskih normi. Zbog potrebe uređivanja odnosa sa svojim potrošačima i dobavljačima, Hrvatska elektroprivreda je organizirala izradu svojih vlastitih normi.

Mr. Barta-Koštrun Slavica, dipl. ing.

MOGU LI SE IZBJEĆI KATASTROFALNE POSLJEDICE UDARA MUNJE

Dr. Zvonimir Krulc, Zagreb

UDK 621.316.91
PREGLEDNI ČLANAK

Opisani su neki razorni i neobični, tragični i štetni udari munje. Prikazan je suvremeni sustav zaštite od munje i prenapona izvođenjem postupnih zaštitnih zona ugroženosti na načelu EM-snošljivosti. Opisan je prijedlog tzv. aktivne zaštite i skale intenziteta oluja. Prikazani su i neki poučni statistički podaci o štetama od udara munja.

Ključne riječi: udari munje, zaštita od munje, statistika šteta.

1. UVOD

Neobično razorni udari munje u zvonik župne ckrve u Rogoznici u Dalmaciji 4. ožujka 1994. i time prouzročene velike i brojne štete — posebice na uređajima u kućanstvima, kao i na elektroenergetskim i telekomunikacijskim spravama (čak u udaljenosti do 12 km od mjesta udara) — daju povod i potrebu da se postavi pitanje u naslovu ovog rada. Svrsishodno je navesti još koji neobičan i štetan udar munje na drugim mjestima. Važno je spomenuti nedavni raspad elektroenergetskog sustava u južnoj Hrvatskoj izazvan udarima gromova.

U namjeri i pristupu rješavanja postavljenog pitanja treba upozoriti i na nov zaštitni koncept zona zaštite od udara munje, o čemu se podrobnije raspravlja na najpozvanijoj svjetskoj razini — na međunarodnim konferencijama o zaštiti od munje (ICLP)-posljednjih nekoliko godina. Valja spomenuti i raspraviti i tzv. aktivnu zaštitu od munje prema prijedlogu A. Simonettija.

Vrijedno je razmotriti i novije statističke podatke o učestalosti udara munje i prouzročenim štetama te potrebi ozbiljnijeg pristupa u nas problematici osiguranja od tovrsnih šteta — iako takva vrsta »pasivne zaštite« ne može nikada biti ni zamjena ni alternativa konkretnoj suvremenoj zaštiti, posebice u današnjim visokorazvijenim infrastrukturama cjelokupne gospodarske djelatnosti i življenja.

2. OSVRT NA NEKE JAKE I NEOBIČNE UDARE MUNJE

Za već spomenuti razorni udar munje u Rogoznici treba navesti još ova zapažanja koja navodi A. Sekso [1.]. Prema brojaču munja može se utvrditi da je bilo najmanje 11 udara, od kojih je jedan bio najjači. Pri udaru munje događaju se redovito višestruki udari. Nema sumnje da se ovdje radilo o »supermunji«, jakosti oko 500 kA. Svjedoci iz Rogoznice osjetili su podrhtavanje tla, što ih je podsjetilo na potres. Supermunja može imati učinak potresa. Munja je pogodila križ crkve. Bakrena kugla na zvoniku s jedne je strane rastaljena i sploštena, a s druge strane je ostala čitava. Bakreni odvod (uže) na najvećem je dijelu potpuno rastaljen [1].

Uništene su sve elektroinstalacije i druge instalacije u crkvi i u mnogim domaćinstvima. Stradali su brojni električni kućanski aparati i telefoni; oštećena je mjesna telefonska centrala, napajanje i prijenos. Nije točno, kako se nagađalo u javnosti, da je munja došla iz vedrog neba, za mirnoga dana. Toga je dana nebo bilo oblačno, nemirno. Ovaj razorni udar munje rezultat je zbroja meteoroloških čimbenika. Nema također ni govora o tzv. kuglastoj munji, o čemu se dosta nagađalo u javnosti, što je demantirano [1].

Ako se učini samo usporedba šteta s također razornom eksplozijom skladišta eksploziva u Dubokom jarku kod Sesveta 7. travnja 1994, može se ustvrditi ovo: Katastrofa u Dubokom jarku mogla se spriječiti, odnosno do nje nije smjelo doći jer su odgovarajući vrlo strogi propisi za eksplozive vrlo jasni. Takve propise kao i one za zaštitu od udara groma moguće je u potpunosti ispunjavati, pa neće doći do razornih ili katastrofalnih posljedica. Vrlo jake munje, posebice one vrste »supermunja«, kakva se dogodila prema svim dosadašnjim opažanjima u Rogoznici, kao stihijske ili elementarne, tj. prirodne pojave nije moguće spriječiti. Mogu se, međutim, smanjiti razorne ili katastrofalne posljedice. U znanosti i tehničkoj praksi znade se, dakako, da je osnovni cilj cjelokupne tehnike zaštite od udara munje rizik opasnosti smanjiti na najmanju mjeru, ali da potpune (apsolutne) zaštite nema odnosno da bi je bilo preskupo izvesti. Suvremeni sustavi i postupci zaštite ipak osiguravaju vrlo visok stupanj zaštite, dakako i onih vrlo osjetljivih elektronskih, posebice računalskih i informacijskih sustava i uređaja. Kod standardnih i dosadašnjih »klasičnih« načina zaštite od udara munje treba dakako računati time da se mjere tehničke zaštite projektiraju i izvode za »prosječnu« munju, tj. mu-

nju prosječne, srednje jakosti. A i za takvu munju je općenito poznato da je polumjer područja ugroženosti oko mjesta udara veći od 1 000 m.

Vrlo je zanimljiv i poučan opis posebice jake oluje 1. srpnja 1988. u Švedskoj, u mjestu Lundu, što ga je dao poznati znanstvenik S. Lundquist iz Uppsale na 21. ICLP 1992. godine [2]. Vatrogasci u gradu dobili su 1 400 prijava za uzbunu, raspao se sustav telefoniranja, a razoren je i sustav mobilnoga policijskoga komuniciranja. Za sličnu za život opasnu situaciju opisane su prilike u gradskoj bolnici. Zbog udara munje u 130-kV mrežu nestalo je električne struje i bolnica je bila 1 sat i 20 minuta bez struje, tj. nestalo je svjetla, stala su dizala i nisu radili aparati u intenzivnoj njezi. Pomoćni agregat za struju nije proradio jer je bilo razoreno upravljačko računalo; zbog ispada telefonske mreže nisu mogli biti pozvani i alarmirani tehnički stručnjaci. Kada je nakon pola sata ručnim načinom pušten u pogon pomoćni izvor struje, ovaj je vrlo brzo nakon toga stao zbog pregrijavanja, jer se ventilator napajao iz nesigurne mreže. Teška oštećenja i štete nastale su i na sustavu niskonaponske mreže, u upravljačkim uređajima, računalskim terminalima i dr. [2].

Doista neobičan udar munje dogodio se jedne lipanjske večeri 1990. god. u obiteljskoj jednokatnici kod Münchena. Prizemni dio kuće izgrađen je od drva, a prvi kat od opeka; krov je pokriven crijepom, ali na maloj dogradnji krov je od lima. Munja je udarila na krovnu antenu, galvanski vezanu za žlijeb radi uzemljivanja. Žlijeb je, međutim, završio pola metra iznad tla, pa tako uzemljenja nije bilo. Munja je potekla po antenskoj žici iznad krova do žlijeba i ovdje se podijelila. Od žlijeba munja je skočila na krovni oluk i dalje na limeni krov i na priključni ormarić telefonske linije koji je bio odmah uništen. S limenog krova uslijedio je preskok na vodovodnu instalaciju, pri čemu se zapalila drvena oplata krova. Dio struje munje potekao je sve do vodovodnoga brojila u rovu na udaljenosti otprilike 25 m [3]. Dakako da je uzrok požara zbog udara munje u manjkavo izvedenom uzemljenju antene.

3. NOVI SMJEROVI ZAŠTITE OD RAZORNIH UDARA MUNJE

Današnje visokorazvijeno industrijsko društvo potpuno je ovisno o svojoj infrastrukturi s ovim najvažnijim sastojcima:

— opskrba električnom energijom
— automatizirani mjerni, upravljački i kontrolni uređaji
— elektronska obrada podataka,
— telekomunikacije.

Ukratko treba podsjetiti samo na neke vrlo neugodne posljedice ispada električne struje zbog udara munje u velike zgrade: prestanak rada dizala, nestanak rasvjete, blokada elektronski osiguranih ulaza, ispad uređaja klimatizacije, raspad telefonskog sustava. U ovakvoj situaciji može eventualno doći i do panike. Razorni udari munje mogu na taj način ugroziti i veće dijelove gradova i naselja.

Oluja s prostorno i vremenski raspodijeljenim udarima munja može prouzročiti ugrožavanja i oštećenje za život važnih infrastruktura na većem prostoru, što može pobuditi katastrofalne posljedice. Zajednica može biti zbog toga ugrožena i primarno, a zbog prekinutih komunikacija i sekundarno. Stoga treba osigurati nesmetani rad energetskih i komunikacijskih uređaja što su za život važni u infrastrukturi — posebice u:

— bolnicama
— mjestima javnog skupljanja: školama, dječjim vrtićima, športskim objektima
— električnim centralama i pratećim objektima
— uređajima i pogonima javnog prometa
— uzletištima
— bankama, poštama i drugim javnim službama
— uredima i računalskim centrima
— velikim robnim kućama i trgovinama
— televizijskim i radijskim postajama
— dojavnim uređajima policije i civilne zaštite.

Donedavna se suvremena zaštita od udara munje svodila na strogo provođene tzv. vanjske i unutarnje zaštite od udara munje i prenapona kao elektromagnetskih poremećaja (smetnji). Pri tome je dan poseban naglasak na dosljedno izvođenje izjednačenja potencijala.

Budući da u gradnji suvremenih, posebice elektronskih uređaja za sve potrebe infrastruktura prevladava pravilo ugradnje sve više »pameti« — posebice »čipova«, treba računati sa sve većom osjetljivošću tih uređaja i instrumenata za elektromagnetske smetnje od vodova i polja.

Pretpostavku i osnovu za svladavanje tih novih zahtjeva daje načelo **EM-snošljivosti** (ili elektromagnetske kompoatibilnosti) u obliku izvođenja postupnih **zaštitnih zona ugroženosti** od munje i pranapona. Taj koncept zaštitnih zona omogućuje postupnu eliminaciju opasnih smetnji od udara munje ili prenapona [4].

Zaštitne mjere za sprečavanje ugroženosti provode se postupno od vanjskih dijelova objekta prema unutrašnjosti, gdje su smješteni najosjetljiviji instrumenti i uređaji — uz postupno pojačanje zaštite korištenjem različitih sustava i elemenata [4].

Tako se sada pravilo »vanske« i »unutarnje« zaštite s konceptom zaštitnih zona ugroženosti dopunilo i proširilo.

Težište zaštitnih mjera po tom novom konceptu jest izvođenje elektromagnetskog zakrivljenja vanjštine i unutarnjih prostora objekta korištenjem prije svega ugrađenih metalnih elemenata uz najstrože pridržavanje izjednačenja potencijala, tako da se postupno smanjuju EM utjecaji pri eventualnom udaru munje. U pravilu se zato granice zaštitnih zona poklapaju s prostornim granicama objekta. Računanja i kontrolna mjerenja pokazuju da se EM polja na svakoj granici zaštitne zone smanjuju oko 40. 60 dB; učinkovitost zaštite iznosi do 98. 99 % [4].

Energija, god. 43 (1994) 5, 299 – 302

4. PRIJEDLOG TZV. AKTIVNE ZAŠTITE OD UDARA MUNJE

Sprečavanje štetnog utjecaja munje na određene objekte i razmjerno manje prostore s poznatim tehničkim sustavima i načinima može se nazvati »pasivnom« zaštitom. Djelovanje ove zaštite je stalno, bez obzira na atmosferske prilike i neovisno o čovjekovoj volji.

Pod pojmom »aktivne« zaštite od munje treba razumijevati djelatnosti usmjerene na sprečavanje (uklanjanje) ili smanjivanje štetnih utjecaja munje na određenom većem prostoru u određeno vrijeme [5].

Za provođenje »aktivne« zaštite nužno je promatrati oluje sa stajališta njihova utjecaja na određeno mjesto odnosno prostor. Osnovu za svrsishodno provođenje »aktivne« zaštite od munje jest praćenje i obrada podataka o nailascima oluja. Ta vrsta zaštite posebice je važna za zaštitu živih bića i drugih djelatnosti na otvorenom prostoru. Do razmatranja ove problematike i izrade osnovnih elemenata te skale intenziteta oluja došao je A. Simonetti [5;6] tijekom radova na zaštiti autokampova u Istri od udara munja. Tim radovima je utvrđeno da se udari munja u autokampovima događaju uglavnom pri jačim olujama, što čine oko 20 % svih oluja. U tim radovima utvrđeni su za područje Istre glavni smjerovi dolazaka oluja što onda ugrožavaju više ili manje područja autokampova. Mjere zaštite svode se onda uglavnom na upozoravanje turista na dolazak oluje — već prema prognozi intenziteta nailazeće oluje. Definiranjem referentnih elemenata olujne jezgre može se odrediti jedinica intenziteta u broju električnih pražnjenja na određenom prostoru.

A. Simonetti [5;6] daje i prijedlog skale intenziteta oluja od 0. . nema pražnjenja do X. . ekstremne vrijednosti od više stotina udara i ukupno 11 stupnjeva.

Dakako da o toj problematici treba zainteresirati meteorologe i tražiti njihovu suradnju. Svakako bi ta problematika mogla ozbiljno zainteresirati i stručnjake elektroprivrednih organizacija, posebice one što se bave prijenosom električne energije na veće udaljenosti preko klimatski i meteorološki vrlo različitih područja naše zemlje.

5. STATISTIČKI PODACI O ŠTETAMA UDARA MUNJE, ZAŠTITA OD UDARA MUNJE S GLEDIŠTA OSIGURANJA ŠTETE

U radovima spomenute Međunarodne konferencije o zaštiti od munje raspravljaju se često i statistički podaci o udarima i štetama od munja. Ti podaci, posebice iz SR Njemačke, Austrije i Poljske, pokazuju da u posljednjih 30 godina ni jedan propisno zaštićen objekt nije stradao od požara pri udaru munje. Bilo je povremeno šteta samo one posredne (indirektne) vrste na osjetljivijim elektronskim uređajima.

U SR Njemačkoj održavaju se dosta često posebne konferencije o zaštiti od munja i prenapona za stručnjake osiguravajućih organizacija. Potkraj 1992. godine održan je već 4. takav skup [7].

Statistički podaci o štetama od udara munje u Njemačkoj i Austriji pokazuju sve više to da pri utjecaju struja munja šteta na »hardwareu« iznose najmanji dio od samo nekoliko postotaka ukupnog iznosa šteta. Posljedične štete — posebice zastoj u radu zbog ispada računala ili onečišćenja okoliša u kemijskoj industriji zbog ispada upravljačkih, mjernih i signalnih uređaja, uzrokuju glavni dio šteta, ne računajući pri tome i eventualne probleme nastalih obveza zbog prekida proizvodnje.

Čini se da organizacije za osiguranje imovine ne obraćaju dovoljnu pozornost i interes problematici zaštite od udara munje u našoj zemlji. U tome bi se trebale ugledati na slične organizacije u drugim zemljama, koje znatno potpomažu unapređenja zaštite od udara munje. Zaštita od munje ubraja se u Njemačkoj u najstarije mjere sprečavanja šteta, što ih provode osiguravajuće organizacije. Zanimljivo je primijetiti da su osiguravajuća društva u pokrajini Schleswig-Holstein počela sustavno istraživati zaštitu od munje objekata sa stajališta zaštite od požara već prije 110 godina [8].

U nas je bilo nekih podataka u području zaštite od požara. U dokumentu »Konstatacije, preporuke, prijedlozi i zaključci« sa Savjetovanja »Opasnosti i zaštita od požara na elektroenergetskim postrojenjima i instalacijama u elektroprivredi, industriji i kućanstvu« (Pula, 1986 — »Delit« Sisak) iznesen je iz izvještaja »Vatrogasnog saveza SRH« za 1985. godinu među ostalima i ovaj podatak:

Od 2 994 požara tijekom 1985. god. evidentiran je kao uzrok požara »grom« u 66 slučajeva ili 2,05 %. Porast šteta u usporedbi s 1984. god. bio je 397,33 %.

U svom referatu na spomenutom savjetovanju I. Pigac [9] u poglavlju 4.5. »Uzroci šteta« iznosio podatke:

Štete u industriji od požara nastale od 'udara groma' iznose 32,2 % od ukupnog broja šteta u razdoblju od 1974. do 1983. godine.

Analizirajući navedene pokazatelje o udaru munje kao uzroku požara od 2,05 % od ukupnog broja požara, kao i u visini od 32,2 % od ukupnog broja šteta možemo zaključiti da je prvi pokazatelj vrlo malen, ali drugi zapanjujuće visok.

Možda je ovdje za stanovitu uporedbu zanimljivo iznijeti odgovarajuće podatke statističkih opažanja i vrednovanja iz Austrije za 1984. god. (za 1985. god. nisu nam bili dostupni). U ukupnom broju od 11 265 požara u 1984. god. otpada na zapaljivi udar munje 114 požara ili 0,99 %. Postotni dio zapaljivih munja u ukupnom iznosu šteta iznosi pak 33,15 %. Oba su ta pokazatelja iz Austrije neobično slična našim pokazateljima ili su barem istog reda veličine. Svakako je pozornosti vrijedan i zaključak iz prikaza šteta od požara u Austriji 1984. god.: ukupan iznos šteta u 1984. god. bio je niži od onoga u 1983. god. Vjeruje se da je to odraz poduzetih zaštitnih mjera [10].

U suvremeni sustav zaštite od udara munje treba uključiti cjelokupni potencijal šteta za vrlo osjetljivu infrastrukturu visokorazvijene gospodarske djelat-

nosti i življenja današnje civilizacije. Dosljedno izvedenu zaštitu od udara munja i izazvanih prenapona trebalo bi uzeti u obzir pri određivanju visine premije u osiguravanju dotičnog objekta.
U nekim zemljama (izvan Europe) donedavna se provodilo samo osiguranje od štete od udara munje, što je bilo u načelu moguće samo za male objekte — bez skupih i osjetljivih elektronskih uređaja. Takva vrsta »pasivne« ili »sekundarne« zaštite ne može nikada biti ni zamjena ni alternativa suvremenoj zaštiti od udara munje i prenapona — posebice onoj s postupnim zonama ugroženosti na načelu EM-snošljivosti.

6. ZAKLJUČAK

Razorni i neobični udari munja, redovito s vrlo štetnim posljedicama velikog opsega, još uvijek ugrožavaju današnje visokorazvijeno industrijsko društvo. Udari munje mogu dovesti do velikih poremećaja i oštećenja u sve više »automatiziranoj« i »kompjutoriziranoj« infrastrukturi suvremene zajednice.
Pretpostavku i osnovu za svladavanje novih visokih zahtjeva zaštite od munje i prenapona daje načelo EM snošljivosti izvođenjem postupnih zaštitnih zona ugroženosti.
Za sprečavanje i smanjivanje štetnih utjecaja munje na određenom većem prostoru u određeno vrijeme zanimljiv je prijedlog tzv. aktivne zaštite od udara munje.
Unapređenju zaštite od udara munje mogu pridonijeti i vođenja te proučavanja statističkih podataka o udarima munja i prouzročenim štetama. Organizacije za osiguravanje imovine u nas mogle bi se u tome ugledati na slične organizacije u drugim zemljama.

LITERATURA

[1] SEKSO, A.: »Rijetka pojava — supermunja. Nakon prirodnog fenomena koji se nedavno dogodio u Rogozници«. »Vjesnik« 16. ožujka 1994, Zagreb.

[2] LUNDQUIST, S.: »Study of a local intensive thunderstorm in South Sweden«. 21. ICLP, Berlin 1992, Paper 6. 12, 351 – 354.

[3] ASSFALG, A.: »Blitzschlag in ein Wohngebäude«. »schaden-prisma«, 2, 1990, Information, 1 – 2.

[4] HASSE, P. et al., »EMV-gerechter Überspannungsschutz auch bei Blitzeinschlag«. »etz«, 12/1993. — Sonderdruck Nr. 27, »Dehn + Söhne«, Neumarkt/Opf.

[5] SIMONETTI, A.: »Razmatranje mogućnosti intenzifikacije aktivne zaštite od munje«. 1993. koncept (privatna informacija).

[6] SIMONETTI, A.: »Active lightning protection — the problem of parametre unification«. »Journées d'Etudes 'LA POUDRE ET L'HOMME' — Colloquium 'LIGHTNING AND MAN'«, 11 – 13 Nov. 1993, Bucharest.

[7] Blitz- und Überspannungsschutz. 4. FORUM FÜR VERSICHERER, 15. Oktober 1992. Nürnberg. Herausgeber Dr. — Ing. P. Hasse, »Dehn + Söhne«, Neumarkt — Nürnberg.

[8] BLUMHAGEN, H. J.: »Die Förderung des Blitzschutzes durch die Feuerversicherer«. »de/der elektromeister«, 4/84, 1983, 221 – 222.

[9] PIGAC, I.: »Ekonomska i preventivna funkcija osiguranja u zaštiti od požara«. Savjetovanje 1986, Pula, »Delit« (Sisak).

[10] ANONIMUS. Brandschäden 1984 in Österreich. »Brandverhütung«, 1985, 4/85.

DISASTROUS CONSEQUENCES OF A LIGHTING STROKE-CAN THEY BE AVOIDED?

Some destructive and unusual, tragic and harmful lighting strokes are described. Current protection system of lighting strokes and overvoltage is given, made of protection zones of endanger on the priciple of EM — compatibility. So called active protection is described as well as the storm intensity scales. Some teaching statistical date considering damages caused by lighting strokes are also given.

SIND SCHRECKLICHE FOLGEN DER BLITZEINSCHLÄGE VERMEIDBAR

Beschrieben werden einige furchbare, absonderliche, tragische und schadenbringende Blitzeinschläge. Auf Grund der EM-Verträglichkeit wird ein zeitgemäßer System abgestufter Blitzschutz- und Überspannungs- Zonen dargestellt. Es wurden einige informationsreiche statistische Angaben über Blitzschlagschäden vorgezeigt.

Naslov pisca:

Dr. Zvonimir Krulc, dipl. inž.
Viši znanstveni suradnik
41000 Zagreb, Klaićeva 60,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-07-14.

TENDENCIJE POTROŠNJE PRIRODNOG PLINA KAO GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

Prof. dr. Radmilo Protić, dipl. oec., Zagreb

UDK 621.311.22:662.95
PREGLEDNI ČLANAK

Članak govori o promjenama uporabe prirodnog plina za proizvodnju električne energije. Te su promjene prouzročene ekološkim zahtjevima, raspoloživosti i cijenom plina, te privremenom obustavom upotrebe nuklearnog goriva.

Ključne riječi: nove tehnologije, štetni plinovi, učinkovitost, investicijski troškovi, tehnološki napredak, energija, prirodni plin, nafta, ugljen, potrošnja energije, ekonomija.

UVOD

Suvremeni gospodarstveni, ali i sveukupni društveni razvoj zahtijeva sve veće količine kvalitetne energije. Promjene u strukturi potrošnje finalne energije u svijetu, posebno u najrazvijenijim regijama (OECD, EZ i dr.) pokazuju da se udio potrošnje električne energije stalno povećava. Tako je, na primjer, u 1985. godini udio električne energije u svijetu iznosio 13,5 %, u zemljama OECD-a 17,2 %, EZ 16,5 %, u SAD-u 15,5 %, u Japanu 20,9 %, da bi već nakon pet godina, tj. 1990. godine, udio električne energije iznosio 14,8 %, 19,0 %, 17,9 %, 17,7 %, 24,8 % itd. [1].

Projekcije buduće potrošnje električne energije pokazuju da se nastavlja dinamičan razvoj i nakon 2000. godine kao posljedice promjena u gospodarstvenoj strukturi, posebno u industriji. Ubrzani razvoj tercijalnih djelatnosti, sve veća primjena mehanizacije, automatizacije, kompjutorizacije, robotike, ali i viši društveni i osobni standard u razvijenim zemljama pridonosi povećanoj potrošnji električne energije. Potrošač s većom kupovnom moći u stanju je platiti i višu cijenu energije ako mu ona osigurava sigurnost u dobavi, komoditet pri upotrebi i »čist« zrak u njegovu stanu.

Još o jednom čimbeniku treba povesti brigu; riječ je i strukturi životne dobi stanovništva, kao i broju članova kućanstva, posebno u razvijenim zemljama. Životna dob se povećava, a broj članova obitelji smanjuje. Činjenica je da stanovništvo postaje sve starije, češće, pobolijeva, a ljudi zaboravljiviji. Zbog tih činjenica kakvoća i sigurnost energetske opskrbe i performansa energije imaju odlučujući utjecaj na izbor energije. Ako smo u stanju birati i platiti energiju, onda je to na prvom mjestu električna energija pa prirodni plin. Međutim, promatrajući kompleksno čitav ciklus od proizvodnje do potrošnje energije, prvenstvo pripada prirodnom plinu, kako zbog energetskih i ekonomskih, tako i zbog ekoloških prednosti, u domeni gdje se električna energija i prirodni plin mogu koristiti.

1. RAZVOJ POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SVIJETU

1.1. Potrošnja električne energije u svijetu u razdoblju od 1985. do 1990. godine imala je prosječnu godišnju stopu rasta od 3,6 %, dok je istodobno potrošnja primarne energije zabilježila prirast 2,4 %.

Indikativan je podatak da je potrošnje električne energije u 1992. u usporedbi s 1991. porasla za 2,7 %, dok je potrošnja primarne energije zabilježila pad približno −1 %.

Slabija tražnja primarne energije u svijetu posljedica je niza čimbenika. Navedimo neke, po našem mišljenju, važnije.

Raspad SSSR-a i prijelaz istočnoeuropskih zemalja na tržnu privredu imat će još dugi niz godina negativne gospodarstvene posljedice ne samo na ekonomiju tih zemalja, nego i na ukupna gospodarstvena kretanja u svijetu. Vrlo je instruktivan podatak da je potrošnja primarne energije u bivšem SSSR-u u 1993. godini bila za blizu 10 postotaka (točnije 9,7 %) manja nego 1992. godine, a u 1992. godine za 5,3 % u odnosu prema 1991. godini [2].

Zemlje bivšeg SSSR-a sudjelovale su u potrošnji primarne energije u svijetu u 1992. godini s 15,9 %, a u 1993. s 14,3 %.

Posljedice će biti izrazitije u ekonomiji onih zemalja koje su imale intenzivniju gospodarstvenu suradnju i razmjenu sa zemljama bivšeg SSSR-a i istočnoeuropskih zemalja u prošlosti.

S druge strane, štednja i racionalno korištenje energije pozitivno utječu na ukupnu potrošnju energije. Uporaba učinkovitijih tehnologija, uza sve veći udio energije koja ima znatne prednosti u odnosu prema drugim izvorima i oblicima energije (energetske,

ekonomske, ekološke) — na primjer prirodnog plina, povoljno utječu na ukupno smanjenje potrošnje energije.

1.2. U tablici 1. prikazane su prosječne godišnje stope rasta potrošnje električne energije te primarne energije u svijetu, u nekim regijama te zemljama za razdoblje od 1985. do 1990. te projekcija očekivane potrošnje do 2005. godine.
Primjetljivo je da će potrošnja električne energije i nakon 1990. godine imati relativno visoke stope rasta (svijet 3,1 %, Japan 3,2 %, OECD 2,3 % itd). uz primjedbu da će potrošnja električne enrgije u bivšem SSSR-u doživjeti znatan pad u razdoblju od 1990. do 1995. godine uz prosječnu godišnju stopu od −3,1 %

Tablica 1. Kretanje prosječnih godišnjih stopa rasta potrošnje primarne i električne energije u svijetu

	Potrošnja primarne energije		Potrošnja električne energije	
	1985 – 1990.	1990 – 2005.	1985 – 1990.	1990 – 2005.
Svijet	2,2 %	2,0 %	3,6 %	3,1 %
OECD	1,8 %	1,2 %	3,2 %	2,3 %
EZ	1,4 %	1,2 %	2,9 %	2,0 %
USA	1,6 %	1,1 %	3,1 %	2,4 %
Japan	3,4 %	1,7 %	5,0 %	3,2 %
Bivši SSSR	1,2 %	1,0 %	2,0 %	1,2 %

Izvor: Commission of the European Communities — »a View to the Future« Brussels, rujan 1992. p 79, 80, 81, 84, 86.

Razvoj industrijalizacije, mehanizacije i automatizacije i dr. u svijetu, posebno u razvijenim zemljama, uz povećanje životnog standarda, inicira povećanu potrošnju električne energije. Međutim, struktura privrede, proizvodnost rada, klima i dr. čimbenici su koje treba analizirati da bi se ustvrdila zakonomjernost kretanja odnosa potrošnje električne energije u odnosu prema potrošnji primarne energije.
Pogledajmo tablicu 2. u kojoj je prikazan odnos potrošnje električne energije i primarne energije u svijetu, regionima i nekim zemljama.

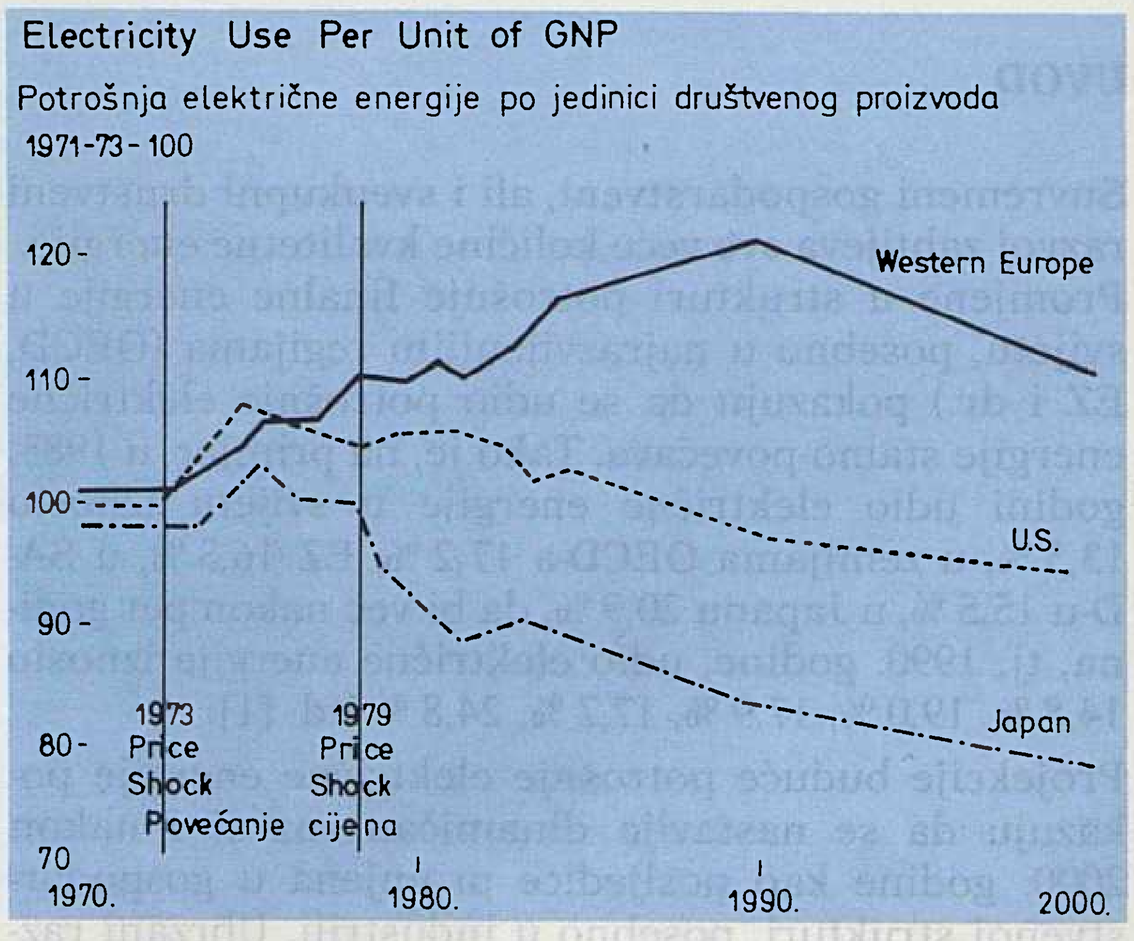
Tablica 2. Odnos potrošnje električne energije i primarne energije u svijetu

	1985 – 1990.	1990 – 2005.
Svijet	2,63	1,55
OECD	1,78	1,95
EZ	2,07	1,92
SAD	1,94	2,18
Japan	1,47	1,88
Bivši SSSR	1,67	1,20

Izvor: Podaci preuzeti iz tablice 1.

Podaci ilustriraju, gotovo bez izuzetka, pravilnost bržeg rasta potrošnje električne energije nego ukupne potrošnje primarne energije u svijetu.
Primjetljivo je da je u Japanu u razdoblju 1985. do 1990. godina taj odnos iznosio samo 1,47, čak ispod svjetskog prosjeka. Međutim, od 1990. do 2005. godine odnos se približava prosjeku razvijenih zemalja i iznosit će 1,88. Elaboracija kretanja potrošnje primarne i električne energije ne samo u Japanu, nego i u drugim razvijenim zemljama zahtjeva detaljne analize s više relevantnih ulaznih podataka. Ti odnosi su promjenljive veličine podložne kretanju razvoja tehnike i tehnologije, strukturi gospodarstva, razini društvenog proizvoda i dr.
Karakterističan je podatak koji navodi Vladimir Baum, a u kontekstu kretanja potrošnje odnosno proizvodnje električne energije, da je od 1991. na 1992. godinu proizvodnja električne energije na Dalekom istoku porasla za 13,2 % (Japan, Južna Koreja, Tajvan, Singapur, Malezija, Kina i dr.). Istodobno je proizvodnja električne energije u istom razdoblju u zemljama OECD stagnirala (7248 TWh prema 7205 TWh) [3].
Viši stupanj postignutog razvoja objektivna je pretpostavka veće učinkovitosti štednje i racionalnog korištenja energije, što pridonosi smanjenju potrošnje ukupne energije. S druge strane, razvoj produktivnosti rada i potrošnja električne energije u tijesnoj su korelaciji. Grafikon broj 1 to dobro ilustrira.

Grafikon 1.



Izvor: Chevron Corporation: World Energy Outlook, USA, June 1986, p. 13.

Letimičan pogled na kretanja potrošnje električne energije po jedinici društvenog proizvoda u zemljama razvijenog zapada, pokazuje znatne razlike među analiziranim zemljama. Osnovna značajka tih kretanja jest stalan porast potrošnje električne energije od 1970. do 1990. godine u Zapadnoj Europi, tendencije stalnog smanjenja potrošnje električne energije u SAD te snažan pad potrošnje električne energije u Japanu.
Nakon 1990. godine tempo potrošnje električne energije po jedinici društvenog proizvoda smanjuje se kao posljedica saturacije potrošnje električne energije u kućanstvu te usporene supstitucije drugih izvora i oblika energije električnom energijom u industrijskom sektoru.
U Japanu se potrošnja električne energije izrazito smanjuje, a očekuje se nastavak takvog trenda i u budućnosti.
Kao razlog takvih tendencija naveli bismo dvije vrlo znakovite pojave vezane za Japan:

— dislokaciju aluminijske industrije u manje razvijene zemlje u svijetu
— smanjenje proizvodnje petrokemijske industrije.

U pogledu petrokemijske industrije, zbog povećanja troškova energije i sirovina, nakon 1979. godine, vlada i petrokemijska industrija napravile su ugovor o smanjenju u 1985. godini proizvodnje etilena i polietilena visoke gustoće za 36 % [5].

1.3. Udio električne energije u finalnoj energiji u stalnom je porastu u svijetu. Najrazvijenije zemlje (SAD, Japan i dr.) u tome prednjače.
Izbor optimalnih rješenja u opskrbi energijom dinamičan je proces, ovisan o nizu čimbenika, na primjer o strukturi gospodarstva, raspolaganju primarnim izvorima energije, mogućnostima dobave, transporta, a posebno o ekonomiji proizvodnje i potrošnje energije, zaštiti životne sredine i dr. [4].
Tehnički i tehnološki razvoj, posebno u domeni energetskog gospodarstva, povoljno utječe na ubrzani razvoj pojedinih izvora i oblika energije. Uvjeti koji su sve stroži u zaštiti životne sredine ograničavajući su čimbenik proizvodnje i potrošnje pojedinih izvora i oblika energije.
Prikazani podaci u tablici 3. dovoljno govore o tendencijama kretanja potrošnje električne energije u svijetu. Visok udio potrošnje električne energije u finalnoj potrošnji energije u Japanu od 21 % u 1985. godini jedan je od čimbenika koji dovoljno objašnjava snažnu ekspanziju japanskoga gospodarstva u svijetu. Taj udio (približno 21 %) u 1985. godini ostale najrazvijenije zemlje u svijetu dosegnut će tek početkom XXI. stoljeća!
Omjer u potrošnji električne energije između Japana i SAD-a u 1985. godini iznosio je kao 1,35:1, da bi u 2005. godini čak i porastao u korist Japana i iznosit će 1,40:1.

Tablica 3. Udio električne energije u potrošnji finalne energije u svijetu

U postotku

	1985.	1990.	1995.	2000.	2005.
Svijet	13,5	14,8	15,5	16,6	17,7
OECD	17,2	19,0	20,2	21,1	22,3
EZ	16,3	17,9	18,4	19,2	20,0
SAD	15,5	17,2	19,1	19,9	21,2
Japan	20,9	24,8	27,2	28,1	29,7
Bivši SSSR	11,3	11,7	10,7	10,8	11,9

Izvor: Commission of the European Communities — »a View the Future« Brussels, rujan 1992, p. 79, 80, 81, 84, 86.

2. STRUKTURA POTROŠNJE GORIVA U TERMOCENTRALAMA. STANJE I PERSPEKTIVA

2.1. Promjene u strukturi potrošnje goriva u termoelektranama pod utjecajem su niza čimbenika. Navedimo samo neke, po našem mišljenju najvažnije. To su:

— razvoj tehnike i tehnologije
— raspoloživost izvorima energije
— razvoj znanosti,
— mogućnost transporta
— ekonomičnost pretvorbe
— ponuda i potražnja energije
— racionalno korištenje izvora i oblika energije
— cijene energije
— utjecaj proizvodnje, pretvorbe i potrošnje energije na zagađenje životne sredine i dr.

2.2. Tijek energetske strukture jedan je od aspekata ukupne slike društva, stupnja razvijenosti društva, znanstvene i stručne strukture, a ne samo njegove tehnologije [6].
Tržište se sve više koristi koo institucionalno sredstvo radi unapređenja energetske politike, ali uz prisutnost monopola koji vladaju u energetici (nafta, prirodni plin, nuklearna energija itd.).
Projekcija razvoja proizvodnje i potrošnje električne energije temelji se, u krajnjoj liniji, na planovima razvoja urbanih sredina, ulozi i lokaciji pojedinih industrijskih djelatnosti, na stilu i načinu života, standardu, distribuciji stanovništva, ali i sve više na kvaliteti zaštite životne sredine.

Tablica 4. Očekivana proizvodnja el. energije u svijetu prema izvorima (1985–2005.)

U postotku (%)
Prosječna god. promjena %

	1985.	1990.	1995.	2000.	2005.	90/85	95/90	2000/95	2005/2000	2005/90
Kruta goriva	43,5	42,5	42,2	41,9	41,7	2,7	1,3	3,1	3,1	2,5
Nafta	14,7	11,8	9,8	8,0	6,6	−1,3	−2,3	−0,9	−0,7	−1,3
Prirodni plin	15,6	17,7	19,2	22,7	25,7	6,0	3,0	6,7	5,8	5,2
Nuklearna energija	17,0	19,4	19,3	17,6	15,8	6,0	1,2	1,3	1,0	1,2
Hidroenergija	7,7	7,1	7,8	8,0	8,3	1,6	3,4	3,7	3,9	3,7
Geotermalna energ.	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	5,3	4,1	6,0	4,2	4,7
Obnovljivi izvori — pretežno biomasa	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	−0,9	−0,8	3,9	5,0	2,7
Ukupno	100,0	100,0	100,0	100,0	100,	3,2	1,4	3,2	3,2	2,6
U mln. tona ekv. nafte	2274	2662	2847	3336	3904					

Izvor: Commission of the European Communities — »A View to the Future«, Brussels, rujan 1992, str. 79.

Tablica 5. Proizvodnja električne energije u zemljama OECD — prema izvorima

U postotku (%)
Prosječne god. promjene u %

	1985.	1990.	1995.	2000.	2005.	90/85	95/90	2000/95	2005/2000	2005/90
Kruta goriva	46,7	44,20	42,7	41,7	41,3	1,5	0,8	1,5	1,3	1,2
Nafta (3)	8,9	9,0	7,8	6,4	5,3	3,4	−1,3	−2,1	−2,3	−1,9
Plin (4)	10,5	9,8	11,7	14,8	16,2	1,3	5,0	7,0	3,3	5,1
Nuklearna energija	25,0	28,9	28,8	27,6	26,8	5,8	1,4	1,2	0,8	1,1
Hidroenergija	7,7	6,8	7,4	7,7	8,4	0,1	3,2	3,0	3,2	3,1
Geotermalna energija (1)	1,0	1,0	1,2	1,4	1,6	3,4	3,7	6,4	3,4	4,5
Obnovljivi izvori energije (2)	0,8	0,3	0,4	0,4	0,4	1,9	3,6	3,6	3,8	3,7
Ukupno	100,0	100,0	100,0	100,0	100,	2,7	1,5	2,0	1,5	1,7
Ukupno u Mten	1267	1448	1557	1722	1852					

Napomena: (1) toplina (Heat), (2) pretežno biomasa, (3) sirova nafta i finalni proizvodi, (4) prirodni plin i ostali plinovi.
Izvor: Commission of the European Communities »A View to the Future«, Brussels, rujan 1992, str. 80.

2.3. Udio prirodnog plina u proizvodnju električne energije vrlo je raznolik kad se usporede podaci za svijet, OECD te EZ. To dobro ilustriraju tablice 4, 5. i 6.

Tablica 6. Proizvodnja električne energije u zemljama EZ — prema izvorima

U postotku %
Prosječna promjena

	1985.	1990.	1995.	2000.	2005.	2005/90
Kruta goriva	43,4	40,6	38,6	37,3	36,9	1
Nafta (3)	10,5	9,9	9,4	6,9	5,5	−2,2
Plin (4)	7,6	8,0	10,9	16,4	20,5	8,1
Nuklearna energija	33,4	37,5	36,2	34,0	32,1	0,6
Hidro-energija	3,9	2,8	3,5	3,4	3,2	2,1
Geotermalna energija (1)	0,6	0,6	0,7	1,0	1,1	7,2
Obnovljivi izvori energije (2)	0,6	0,6	0,7	1,0	0,7	3,6
Ukupno	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1,6
Ukupno u Mten	380,0	424,0	459,0	506	542	

Napomena: (1) toplina (Heat), (2) pretežno biomasa, (3) sirova nafta i finalni proizvodi, (4) prirodni plin i ostali plinovi.
Izvor: Commission of the European Communities — »A View to the Future« Brussels, rujan 1992, str. 81.

U nastavku ćemo prikazati usporedbu za 1990. i 2005. godinu.

Kao što se iz tablice 7. može zaključiti, prodor prirodnog plina kao goriva za proizvodnju električne energije u svijetu u stalnom je porastu. Našu pozornost privlači podatak da je udio prirodnog plina za proizvodnju električne energije u svijetu dvostruko veći u odnosu na OECD i EZ. Naime, u svijetu je u 1990. godini udio prirodnog plina iznosio 17,7%, u zemljama OECD 9,8% a u EZ samo 8%.
Velik udio prirodnog plina u proizvodnji električne energije u svijetu treba zahvaliti bivšem SSSR-u. Naime, u toj je zemlji 1990. godine utrošeno 287 mln. t ekv. nafte prirodnog plina kao goriva u termoelektranama, što čini 61% ukupno utrošenog prirodnog plina za proizvodnju električne energije u svijetu. Za 2005. godinu predviđa se da bi potrošnja prirodnog plina za proizvodnju električne energije u bivšem SSSR-u iznosila čak 400 mln. t ekv. nafte. Tim podacima treba pridodati da se predviđa pad udjela ugljena kao goriva za proizvodnju električne energije od 25,6% u 1990. na 13,5% u 2005. godini.
Pretpostavljamo da su projekcije razvoja proizvodnje i potrošnje energije, pa prema tome i elektrane energije za bivši SSSR rađene dvije do tri godine prije nego što su objavljene (1992. godina). Tada se nisu nazirale sve poteškoće s kojima će se suočiti bivši SSSR (političke i gospodarstvene naravi) prijelazom

Tablica 7. Struktura goriva za proizvodnju električne energije

U postotku

	Svijet		OECD		EZ		Prosječne godišnje promjene		
	1990.	2005.	1990.	2005.	1990.	2005.	% (2005/90)		
Kruta goriva	42,5	41,7	44,2	41,3	40,6	36,9	2,5	1,2	1,0
Nafta	11,8	6,6	9,0	5,3	9,9	5,5	−1,3	−1,9	−2,2
Prirodni plin	17,7	25,7	9,8	16,2	8,0	20,5	5,2	5,1	8,1
Nuklearna energija	19,4	15,8	28,9	26,8	37,5	32,1	1,2	1,1	2,1
Hidroenergija	7,1	8,3	6,8	8,4	2,8	3,2	3,7	3,1	7,2
Geotermalna energ.	0,9	1,3	1,0	1,6	0,6	1,1	4,7	4,5	3,6
Obnovljivi izvori (pretežno biomasa)	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6	0,7	2,7	3,7	1,6
Ukupno	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	2,6	1,7	1,6

na tržnu privredu, pa dvojimo da se planirani razvoj proizvodnje i potrošnje električne energije i njezina struktura u bivšem SSSR-u može ostvariti u budućnosti.
Treba imati na umu da će pad privredne aktivnosti u bivšem SSSR-u, koji je već evidentan, prouzročiti i smanjenje potreba za energijom, a u daljnjem razdoblju i smanjenje potrošnje energije, pa i električne energije, kao posljedica štednje i racionalnog korištenja.
Očekuje se dinamična potrošnja prirodnog plina kao goriva za termoelektrane u zemljama EZ-a. S godišnjom stopom rasta za razdoblje 1990 – 2005. godina od 8,1%, ostvarit će se u 2005. godini 3,3 puta veća potrošnja prirodnog plina nego u 1990. godini.
Uzroci su mnogobrojni i o njima će biti govora u daljnjem izlaganju.

2.4. U nastavku ćemo pokušati prikazati relevantne čimbenike koji će utjecati na daljnje promjene u strukturi proizvodnje električne energije.

2.4.1. Kruta goriva. U nedostatku novih nuklearnih kapaciteta predviđa se da bi pretežni dio nove električne energije bio alimentiran iz ugljena i prirodnog plina. Tako se predviđa godišnja stopa rasta potrošnje ugljena kao goriva u termoelektranama od 2,5% u svijetu, 1,2% u OECD te 1,0% u EZ.
Kad je riječ o zemljama OECD te Ez, sumnjamo da se takvo povećanje može ostvariti zbog sve veće konkurencije prirodnog plina. Osim toga, proizvodnja ugljena i kod najvećih proizvođača u Zapadnoj Europi ograničena je zbog pretežnoga dijela proizvedenog ugljena čija je cijena znatno iznad svjetskih (Velika Britanija, Njemačka, Francuska, Španjolska).
Kako se predviđa da neće biti znatnijih promjena cijena energije do kraja stoljeća, konkurentnost domaćeg ugljena u odnosu prema ugljenu na svjetskom tržištu i dalje će se pogoršati. S gospodarstvenog stajališta logično je očekivati da će se smanjivati konkurentnost i zbog proizvodnje koja će biti manja potkraj stoljeća nego što je danas. Mišljenja smo da u tom prijelaznom razdoblju država neće podržavati skupu proizvodnju jer je proizvodnja električne energije, kad se kao gorivo koristi ugljen, uz današnju tehnologiju, znatno je manje učinkovita nego ako se kao gorivo koristi nafta, a posebno prirodni plin. O razvoju novih tehnologija u termoelektranama za proizvodnju električne energije koje se kao gorivom koriste ugljenom bit će govora kasnije.

2.4.2. Kad je riječ o **nafti**, onda je krucijalno pitanje da li će marginalne investicije biti u stanju proizvesti dio potrebne nafte u budućnosti. Posebno je pitanje proizvodnje nafte u bivšem SSSR-u u kojem je još 1987. godine proizvedeno 625 mln. tona ili 21,3% od svjetske proizvodnje, da bi u 1993. godini proizvodnja iznosila samo 393 mln. tona ili 12,4% od svjetske proizvodnje.
Tijekom 1980-ih godina nastavljena je u razvijenim zemljama OECD-a, a posebno EZ-a praksa, smanjenja primarne prerade nafte, koja je u 1990. godini iznosila 568 mln. tona, ili nešto za 40% manje nego u 1980. godini. Istodobno, kapaciteti sekundarnih postrojenja prerade udvostručili su se od 1980. godine i iznose 187 mln. tona nafte [1].

Konverzija u preradi nafte znatno je porasla; s novim tehnologijama konverzija je postala kompleksnija i sofisticirana da bi se zadovoljili zahtjevi za povećanom proizvodnjom »bijelih« derivata (benzina i plinskih ulja i dr.) na štetu ulja za loženje.

Zakonski propisi o zaštiti životne sredine prisilit će rafinerije nafte da odstrane sumporaste spojeve iz derivata nafte, pa će trebati investirati u procese desulfuracije.
Kako rafinerije nafte postaju u tehnološkom smislu sve složenije, težeći što »dubljoj« preradi koja pretpostavlja daljnju valorizaciju ulja za loženje, na taj način raspoložive količine ulja za loženje sve su manje i za potrebe termoelektrana.

2.4.3. Nuklearna energija. Poteškoće s kojima se suočava proizvodnja nuklearne energije treba pretežno locirati u domeni zaštite životne sredine, iako je nuklearna energija još u 1990. godini sudjelovala sa 37,5% u strukturi goriva za proizvodnju električne energije u zemljama EZ-a. Očekuje se da će njezin udio u 2005. godini iznositi 32,1%. Međutim, treba pritom imati na umu da je udio proizvodnje neto GWh nuklearne energije iznosio 23,6% od ukupne proizvodnje u 1990. godini.
Probleme koji su na putu većoj proizvodnji nuklearne energije mogli bismo sažeti ovako:

— nedostatak povjerenja javnosti usprkos činjenici da se na Zapadu usavršava tehnologija i garantira sigurnost*
— sumnja u mogućnost jamčenja sigurnosti odlaganja velikih količina otpada na duži rok
— ukupni troškovi nuklearnog ciklusa veći su nego što se danas prikazuju jer treba uzeti u obzir ne samo visoke operativne troškove, već i troškove odlaganja otpada radi zaštite čovjekova okoliša i biosfere [7].

U traženju sigurnijih rješenja u proizvodnji električne energije Francuska i Njemačka zajednički rade na konstrukciji i razvoju novoga neaktivnoga sigurnosnoga fisijskog reaktora (»passively safe fission reactor«), [7].
Međutim, unatoč navedenim ograničenjima u pogledu korištenja nuklearne energije, treba ipak konstatirati da se na Dalekom istoku nastavlja s izgradnjom nuklearnih termoelektrana (Japan, Južna Koreja i dr.), a na Zapadu u Francuskoj, a u manjem opsegu i u Velikoj Britaniji.

---

* Istraživanja obavljena tijekom 1991. godine u EZ, u pogledu mišljenja javnosti o energiji pokazala su, između ostalog, sljedeće:
— 88% sudionika u anketi smatra sigurnost opskrbe prioritetom br. 1
— 25% se izjasnilo da je upoznato s problemima zaštite životne sredine u 1989. godini postotak je iznosio samo 8%)
— 1/3 je odgovorila da je protiv razvoja nuklearne energije (u 1989. godini postotak je iznosio 51%; zanimljivo je da se 50% sudionika u anketi u Grčkoj, Irskoj, Danskoj, Luksemburgu i Njemačkoj izjasnilo za daljnji razvoj proizvodnje nuklearne energije).
Izvor — Public opinion on energy in the European Community in 1991. Information, Energy, Europe, siječanj 1992, No 37, Brussels

Energija, god. 43 (1994) 5, 303 – 313

3. PREDNOST PRILIKOM KORIŠTENJA PRIRODNOG PLINA KAO GORIVA U TERMOELEKTRANAMA

3.1. Radi vođenja učinkovite energetske politike potrebno je, prije svega, dogovorom utvrditi kriterije za izbor energije, koje trebaju verificirati kompetentni stručnjaci i znanstvenici.
Raspoloživost različitim izvorima i oblicima energije s jedne te potrebe u pojedinim izvorima i oblicima energije s druge strane, kojima se koriste krajnji potrošačai, zahtijevaju diverzifikaciju, ali i disperziju izvora i oblika energije. To se posebno odnosi na proizvodnju električne energije.
Jednom prihvaćena »pravila igre« nisu jednom za uvijek dana. Ona se mijenjaju sukladno s promjenama tehničko-tehnološkog razvoja, institucionalnih okvira u kojima se odvija proizvodnja, pretvorba (transformacija), transport, distribucija i potrošnja energije i dr.
Razina demokratskih institucija i njihov utjecaj u domeni energetike, posebno u sektoru zaštite životne sredine, važan je čimbenik konzistentne energetske politike. Razina demokratičnosti društva ocjenjuje se prema senzibilnosti na reakcije ljudi ne samo na cijene energije, poreza, carinu, već i na zaštitu životne sredine. S pravom se može ustvrditi da su problemi zaštite životne sredine u razvijenim zemljama postali ograničavajući čimbenici proizvodnje i potrošnje energije.

3.2. Tijek energetske strukture jedan je od aspekata ukupne slike društva, i to ne samo njezine tehnologije, nego i nivoa stručne strukture te načina života. Zbog toga bi se moglo razmišljati o energetskoj politici kao jednom od subsistema koga karakterizira entropija ukupnoga društva. Što je zemlja razvijenija, to je u pravilu i entropija energije manja [6].
Kad je riječ o energiji, treba imati na umu veze koje vladaju između proizvođača, tržišta, države i kupca. Međuzavisnost odnosa spomenutih čimbenika u energetskom lancu na određeni način utječe na kreiranje energetske politike. Usklađivanje tih odnosa, gdje svaki od čimbenika teži dominaciji, stalna je briga društva kao cjeline. Stoga se postavlja kao imperativ da društvo putem demokratskih mehanizama usklađuje te odnose pazeći da se ne ugroze esencijalni interesi pojedinih partnera, ali ni interesi društva kao cjeline.

3.3. Kriteriji prilikom izbora energije. Učinkovitost energetske politike polazi od načela optimalnog zadovoljenja neposrednih korisnika energije što kvalitetnijom energijom. Pod kvalitetom opskrbe razumijeva se, u prvom redu, **sigurnost u opskrbi,** zatim **energetska, ekonomska i ekološka učinkovitost** izvora i oblika energije koja se koristi.
Budući da je predmet našeg istraživanja tendencije potrošnje prirodnog plina kao goriva u termocentralama, to će pretežni dio izlaganja biti posvećen prirodnom plinu, a drugim gorivima i tehnologijama u proizvodnji električne energije onoliko koliko je potrebno da čitatelj bude upoznat u kratkim crtama, s tendencijama kretanja razvoja novih tehnologija za proizvodnju električne energije i kogeneracija u termocentralama.

3.3.1. Sigurnost u opskrbi prirodnim plinom. Jedan od prepoderantnih čimbenika jest, nesumnjiva, sigurnost u opskrbi energijom. Smatramo da bi s tim u svezi bilo potrebno istaći sljedeće čimbenike. To su:

— opseg pričuva prirodnog plina u svijetu i njegova zemljovidna rasprostranjenost*
— razvoj transporta (prometa) prirodnog plina (plinovodi, methanijeri — specijalni tankeri za prijevoz LNG-Liquefied Natural Gas — ukapljeni prirodni plin, kompresorske stanice, podzemna skladišta za prirodni plin i dr.);
— cijene prirodnog plina
— političke prilike u svijetu, posebno u zemljama bivšeg SSSR-a i Alžira, najvećim dobavljačima — izvoznicima prirodnog plina u Europi.

3.3.1.1. U pogledu dokazanih pričuva prirodnog plina u svijetu, može se konstatirati da su u stalnom porastu. U 1986. godini one su iznosile $100{,}2 \times 10^{12}$ m³, a u 1993. godini 142×10^{12} m³ ili za 42% više. Od navedenih pričuva u 1993. godini na zemlje bivšeg SSSR-a otpada 39,8%, na Srednji istok 31,6%, Aziju i Australiju 7,2%, Afriku 6,9%, OECD — Europa 3,8% i SAD 3,3%. Bitno je istaknuti da se u istom razdoblju proizvodnja povećala od 1 724 milijarde m³ prirodnog plina na 2 093 milijarde m³ ili za 21,4%.

3.3.1.2. Dinamičan razvoj transporta (prometa) te prilično skupa infrastruktura utječe na oblikovanje cijena prirodnog plina, ali i na stabilnost i ravnomjernost proizvodnje i potrošnje prirodnog plina. Transport (promet) prirodnog plina odvija se plinovodima i specijalno konstruiranim tankerima — methanijerima. Treba posebno naglasiti značenje pojave methanijera na međunarodnom tržištu prirodnog plina. Udaljena proizvodna područja prirodnog plina, na primjer Indonezije, Alžira i dr., bila su sada nadohvat potencijalnim potrošačima (Zapadna Europa, Japan, Južna Koreja i dr.).
Od ukupne potrošnje prirodnog plina u 1993. godini na međunarodni transport otpada: plinovodima 12,8%, a na methanijere za prijevoz ukapljenoga prirodnog plina (LNG) 4,2%.

3.3.1.3. Cijene prirodnog plina različito se oblikuju na svjetskom tržištu ovisno o politici cijena izvoznika odnosno sporazumu između prodavaoca i kupca. Cijene prirodnog plina koji se koristi kao gorivo u termoelektranama uglavnom su poslovna tajna i malokad se objavljuju.

---

* 18. 3. 1991. ukinuta je direktiva Savjeta ministara EZ br. 75/404/EEC kojom je bila ograničena upotreba prirodnog plina kao goriva u termoelektranama s obrazloženjem da su vrijeme donošenja direktive pričuve prirodnog plina bile ograničene i trebalo bi ih koristiti u onim sketorima potrošnje gdje se ostvaruje najveći profit.
Izvor: Directorate General par Energy EIE — June/91. .12 — Rev. 2, Brussels.

Kao etalon za oblikovanje cijena prirodnog plina na svjetskom tržištu pretežno služi cijena nafte. Eskalacija cijena nafte u prošlosti utjecala je i na cijene prirodnog plina, kao i ostalih energenata sa stanovitim usporenjem. Kao alternativan mehanizam može poslužiti indeksacija cijena nafte koja se izvozi, na primjer Indonezije [8]. Postoje i drugi modaliteti pri određivanju cijena prirodnog plina na svjetskom tržištu o kojima ovom prilikom ne bismo pisali. Međutim, pri ugovaranju cijena prirodnog plina treba imati na umu značajke proizvodnje termoelektrana, prednosti koje se postižu u odnosu na druga goriva (energetske, ekonomske te ekološke).

Za ilustraciju kretanja cijena prirodnog plina u tijeku posljednjega desetljeća u nastavku ćemo dati zanimljiv pregled.

Tablica 8. Cijena goriva za milijun BTU

	LNG-ukapljeni prirodni plin	Prirodni plin		Nafta
	Japan (cif)	EZ-cif	SAD (uvoz)	IEA — cif
1983.	5,4	3,6	4,3	5,2
1985.	5,2	3,8	3,1	4,8
1987.	3,5	2,6	2,1	3,1
1989.	3,4	2,1	1,7	3,0
1991.	4,1	3,2	1,7	3,3
1993.	3,8	2,6	1,9	2,8

BTU — British Thermal Unit — KJ × 1,055
LNG — Liquefied Natural Gas
EZ — Europska zajednica
IEA — Internacionalna agencija za energiju

Izvor: BP Statistical Review of World Energy, London, lipanj 1994, str. 25

Navedene cijene energenata mogu poslužiti kao informacija o globalnom kretanju cijena prirodnog plina i ostalih energenata. Različite su udaljenosti odakle se prirodni plin dobavlja, a uzimajući u obzir i različite proizvodne cijene, to su opravdane razlike između cijena LNG — koji kupuje Japan od Indonezije u odnosu, na primjer, na cijenu prirodnog plina koju plaća SAD iz uvoza plinovodom iz Kanade.

3.4. Učinkovitost energetske politike polazi od načela optimalnog zadovoljenja neposrednih potrošača što kvalitetnijom energijom. Energetska i ekonomska učinkovitost kao posljedica uvođenja najboljih tehnologija po prihvatljivim troškovima (**»The Best Available Technology not Entailing Excesive Costs«**) kojima se, između ostalog, smanjuje emisija štetnih plinova važni su čimbenici racionalne, a istodobno i propulzivne energetske politike.

Pretvorba energije je srž problema u sustavu proizvodnje i opskrbe energijom (**»At the heart of energy supply system«**). Zbog toga treba dati prednost u istraživanju tehnologija koje pospješuju učinkovitost uz istodobno smanjenje onečišćenja okoliša [9].

3.4.1. Razvoj nove tehnologije plinske turbine važan je iskorak u prodoru prirodnog plina kao goriva u termoelektranama za proizvodnju električne energije.

Tehnologija plinske turbine počela se razvijati u 1940.-im godinama. Prva plinska turbina za proizvodnju električne energije bila je kapaciteta 3,5 MW koja je koristila otpadnu toplinu radi opskrbe kotlova vodom (»feedwater«) konvencionalne termoelektrane od 35 MW.

Plinska turbina od 150 MW već je pokazala visoku učinkovitost u kombiniranom ciklusu od 50 do 52%. Nove plinske turbine bit će kapaciteta većeg od 200 MW [9].

Visoko učinkovite plinske turbine postale su ključna komponenta u sustavu kogeneracije u industriji i kombiniranoj proizvodnji električne energije i topline (»District heating«).

Bazni tehnološki napreci vezani za plinsku turbinu vode svoje podrijetlo iz zrakoplovne industrije. Turbina je proizvedena od tvari otpornih na visoke temperature, s modificiranim sustavom hlađenja, uz izmjene u konstrukciji. Najnovije generacije plinskih turbina rade s temperaturom od 1 200 °C do 1 300 °C, dok konvencionalne rade s temperaturom 900 °C. Osim toga, kod plinskih turbina omjer između ulaznog i izlaznog tlaka u kompresor vrlo je visok.

Ulazna temperatura i visok omjer ulaznog i izlaznog tlaka pridonosi da učinkovitost iznosi 35%, uz smanjenje potrošnje goriva. Konvencionalne turbine postižu učinkovitost 30%.

Najvažnija primjena povećanog iscrpka topline (»heat recovery«) u plinskoj turbini jest sistem kombiniranog ciklusa, gdje otpadna toplina plinske turbine služi za pogon turbine. U ovom sistemu učinkovitost iznosi približno 50%.

Procjenjuje se da bi za 10 godina ulazne temperature u turbini mogle iznositi oko 1 370 °C, uz omjer tlaka 16 : 1 i učinkovitost blizu 60%.

Međutim, treba naglasiti da je prirodni plin dominantno gorivo za procese gdje se izravno upotrebljava za proizvodnju topline. Procjenjuje se da se u SAD prirodni plin upotrebljava sa 75% u direktnoj proizvodnji topline [8].

3.4.2. U svijetu za sada postoje dvije konkurentne »čiste« tehnologije u termoelektranama koje proizvode električnu energiju, a koje se kao gorivom koriste uljenom. To su:

— **Pressurised fluidized bed combustion (PFBC)** (izgaranje u fluidiziranom sloju pod tlakom)
— **Coal Gasification** — plinifikacija ugljena [9].

Kod primijenjene tehnologije (PFBC) ugljen izgara u ležištu pod tlakom od 10 do 15 bara. Vrući dimni plinovi od 850 °C ekspandiraju u plinsku turbinu i pokreću kompresor za zrak i generator. Provedena para u cijevima u ležištu i ispušni plinovi plinske turbine proizvode električnu energiju u parnoj turbini.

Danas postoje jedinice PFBC u SAD, Španjolskoj, a od 1991. i u Švedskoj koja proizvodi 137 MWe električne energije te 220 MW topline za »district heating« (DH) [9].

Tehnologija uplinjavanja ugljena (Coal gasification) razvila se posljednjih dvadeset godina. Oksidacijom ugljena postiže se, između ostalog, i odstranjenje sumpora do 99,5%.

Kombinirani ciklus s integriranim uplinjavanjem (Integrated Gasification Combined Cycle — IGCC) uspješno je testiran na mnogobrojnim pilot-postrojenjima. U tijeku 1993. godine trebalo bi biti dovršeno postrojenje od 250 MW u Nizozemskoj. Očekuje se učinkovitost od 41,4% kod »HHV« (visoke kaloričnе vrijednosti). U usporedbi s učinkom koji se postiže na klasičnim termoelektranama na ugljen od 30% to će predstavljati povećanje učinkovitosti. To istodobno znači i uštedu primarne energije [10].

3.4.3. Jedno od najvažnijih pitanja u svezi s ugljenom ostaje otvoreno, a to je korištenje ugljena, posebno u bližoj budućnosti. Svijet, naime, raspolaže znatnim dokazanim pričuvama ugljena koje su dostatne za 236 godina, nafte za 43 godine te prirodnog plina za 65 godina (podaci za 1993. godinu).
Stabilizacija i postupno smanjenje CO_2 imat će razne implikacije u pogledu organizacije i uvođenja novih tehnologija u proizvodnji električne energije. Stabilizacija, međutim, a posebno daljnje sniženje CO_2, vrlo je složen i skup postupak.*
Stoga se ipak pretpostavlja da se emisija CO_2 u zemljama EC neće stabilizirati u 2000. godini na razini 1990, već će se povećati za 11% [1].
Opcija izbora goriva postaje važno pitanje jer je sve kompleksnija. Udio ugljena u proizvodnji električne energije, posebno u zemljama EC, uvelike će ovisiti o bryini uvođenja »čistih« tehnologija u izgaranju ugljena (»timing«).
U studiji Rognera i Brittona (»Energy Groth and Environment: Towards a Frame Work for Energy Strategy« eksplicitno stoji da će se ugljen koristiti za proizvodnju električne energije i DH (District Heating) dokle god regionalne propisi ne postanu ozbiljna smetnja korištenje ugljena u te svrhe te zaključuju da termoelektrane koje se koriste ugljenom kao gorivom neće se više oslanjati na tehnologije FGD ili »scrubber« a i sl. Smatra se da u obzir dolazi piroliza sumpora i drugih primjesa i nečistoća na površinskom kopu ugljena i visokim postotkom sumpora u fazi izgaranja.
Ugljen s manjim postotkom sumpora tada bi se izgarao pomoću tehnologija IGCC-

3.4.4. Ključni elementi svake strategije o razvoju energije trebali bi biti poboljšanje energetske učinkovitosti te razvoj novih tehnologija R and D u smjeru proizvodnje i potrošnje energije koje emitiraju manje štetnih plinova [12].
Problemi zaštite životne sredine zaokupljaju sve veću pozornost svjetske javnosti i predmet su niza konferencija, savjetovanja, kongresa i dr. Sustavno rješavanje pitanja zaštite životnje sredine datira od 1980-ih godina. Navedimo neke od datuma. To su Torontski sporazum (Environment Protection) 1988; »Environment and Energy« te »A Communuty Strategy to Limit Carbbon Dioxide Emmision and Improve Energy Efficiency« u zemljama EZ, studeni 1989; The Climate Change Convention (Konferencija o zaštiti životne sredine održane u Rio de Janeiru, lipanj 1992).
Može se ustvrditi da je učinjen znatan iskorak prema univerzalnosti energije i zaštite životne sredine. Problematika tih savjetovanja, kongresa i dr. mogla bi se grupirati u tri skupine:

— **razvoj novih tehnologija i opreme**
— **ekonomske mjere** (realne cijene utrošene energije, porezi, takse na utrošenu energiju te emisiju CO_2 i dr.,
— **mjere institucionalnoga karaktera** (zakonski akti, uredbe, preporuke, informiranje, edukacija, monitoring i dr.).

Praksa je pokazala da opća načela i smjernice mogu poslužiti za uvođenje konkretne legislative u pojedinim zemljama, posebno u zemljama Europe. Bez zakonske prinude, rokova i ograničenja načela o zaštiti životne sredine zadržat će deklarativni karakter.
U svezi s mjerama koje se poduzimaju radi zaštite životne sredine posebno bismo istaknuli primjer Njemačke, koja je tijekom 1986. godine donijela niz propisa u tu svrhu, kao na primjer »TA Lüft« (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft).

3.4.5. Da bi se dobio uvid o udjelu fosilnih goriva u emisiji otrovnih plinova, u tablici 9. prikazat će se emisija za kruta goriva, naftu i prirodni plin, i to za 1986. godinu za zemlje EZ.

Tablica 9. Udio fosilnih goriva u zagađivanju životne sredine u Europi (EZ) 1986. godini

	SO_2	NO_x	CO_2
Kruta goriva	55,0%	39,7%	33,3%
Nafta	44,3%	56,5%	48,1%
Prirodni plin	0,7%	3,8%	18,6%
Ukupno	100,0%	100,0%	100,0%

Izvor: Commission of the European Communities — »Energy in Europe« Special Issue, Luxemburg, rujan 1989.

Navedeni podaci u tabl. 9. ilustrativno pokazuju da je udio prirodnog plina u emisiji SO_2 zanemariv (0,7%), relativno malen udio u emisiji NO_x (3,8%) te nešto veći udio CO_2 (18,6%), ali mnogo niži nego nafte (48,1%) i krutih goriva (33,3%).
U tablici 10. prikazana je emisija plinova SO_2, NO_x te CO_2 u sektorima potrošnje. U emisiji SO_2 dominantan je doprinos proizvodnje električne energije. U 1990. godini njezin je udio bio 59% od ukupne emisije, industrije 17,8%, opće potrošnje 14,7% itd. Planira se da će doći do znatnog ukupnog smanjenja emisije SO_2 u 2000. godini, i to za 42,4%, a u proizvodnji električne energije za 52% u industriji za 40%, u »općoj« potrošnji za 37% itd. Međutim, udio proizvodnje električne energije u 2000. godini u ukupnoj emisiji SO_2 bit će i dalje vrlo visok, tj. 50%.
Najveći udio od 65% u ukupnoj emisiji NO_x u 1990. otpada na transport, zatim na proizvodnju električne energije 20,7%, na industriju 7,1% itd. Predviđa se da

* Kod primjene tehnologije FGD (Flue Gas Desulfuration) ili sistema »scrubbersa« te kontrole NO× u termoelektranama koje kao gorivo koriste ugljen, kontrola emisije otrovnih plinova zahtijeva dodatne troškove od oko 40% u izgradnji i radu nove termoelektrane na ugljen, uz utrošak 2–4% proizvedene energije [11].

Tablica 10. Emisija otrovnih plinova u zemljama EZ-a prema izvorima onečišćenja i sektorima postanka

SO_2 u 1 000 t	1990.	%	1995.	2000.	%	2000 – 1990. Promjene u %
Proizvodnja električne energije	9 176	59,0	5 993	4 431	49,5	– 51,7
Energetski sektor	756	4,9	747	698	7,8	– 7,7
Industrija	2 771	17,8	1 942	1 677	18,7	– 39,5
Promet	570	3,7	646	719	8,0	+ 26,1
Kućanstva i Tercijarni sektor	2 282	14,6	1 722	1 437	16,0	– 37,0
Ukupno	15 555	100,0	11 050	8 962	100,0	– 42,4
NO_x u 1000 t						
Proizvodnja električne energije	2 509	20,7	1 991	1 896	23,9	– 24,4
Energetski sektor	254	2,1	235	207	2,6	– 18,5
Industrija	867	7,1	731	630	7,9	– 27,3
Promet	7 869	64,9	6 839	4 533	57,1	– 42,4
Kućanstva i Tercijarni sektor	635	5,2	663	677	8,5	+ 6,6
Ukupno	12 134	100,0	10 459	7 943	100,0	– 34,5
CO_2 u mln t						
Proizvodnja električne energije	950,6	31,2	1 006,5	1 108,0	32,8	+ 16,6
Energetski sektor	129,5	4,3	131,9	133,7	4,0	+ 3,2
Industrija	601,1	19,7	561,6	558,5	16,5	– 7,1
Promet	707,5	23,3	795,1	881,2	26,1	– 24,6
Kućanstva i Tercijarni sektor	653,6	21,5	680,4	693,9	20,6	+ 6,2
Ukupno	3 042,3	100,0	3 175,5	3 375,3	100,0	+ 10,9

Napomena: Energetski sektor obuhvaća emisiju otrovnih plinova u proizvodnji ugljena, nafte i plina, u rafinerijama nafte, u transportu plina i dr.

Izvor: Commission of the European Communities, A View to the Future, Brussels, rujan 1992, str. 145, 149, 153.

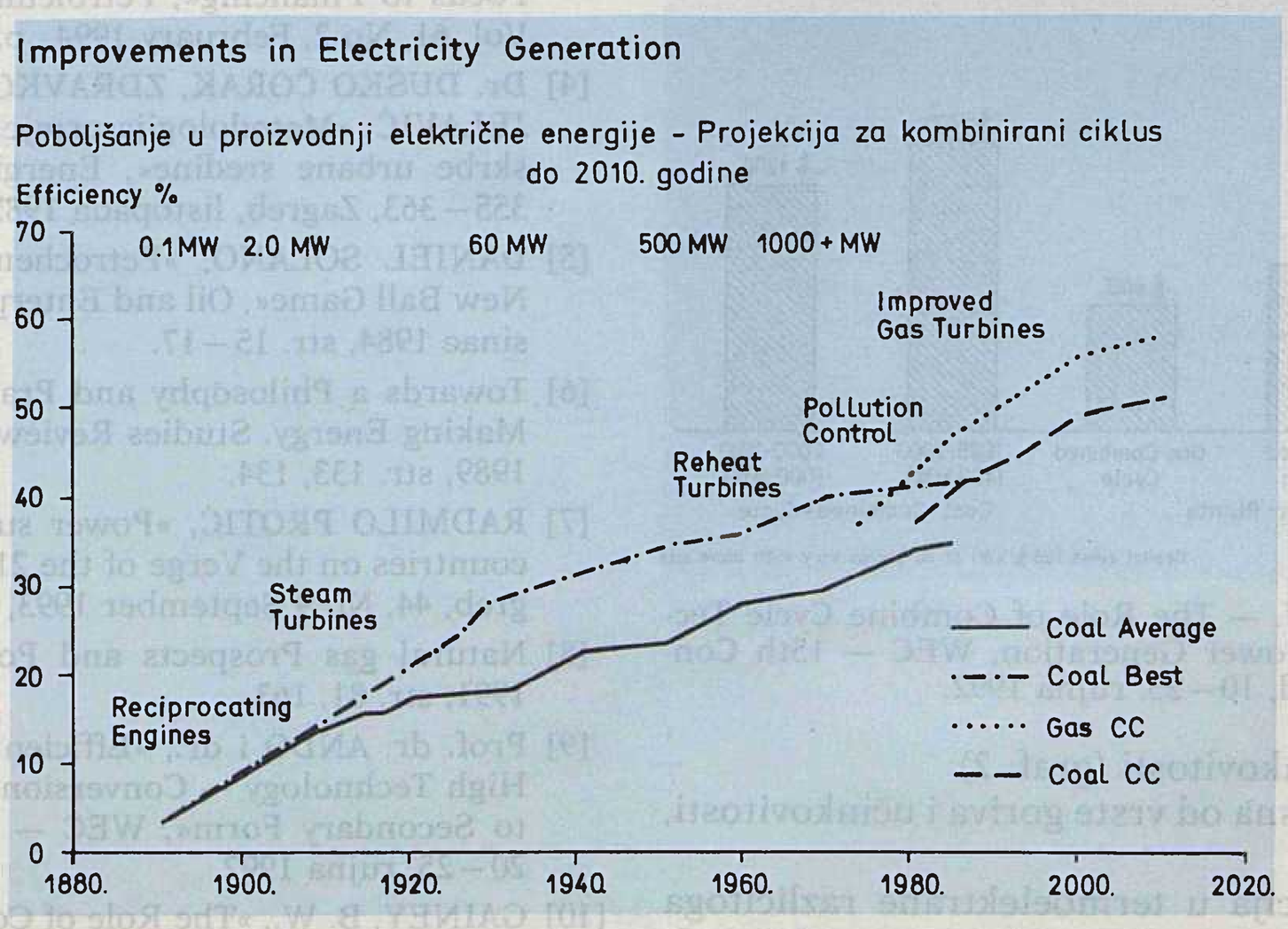
bi ukupno smanjenje NO_x u 2000. godini iznosilo 34,5%, u transportu 42,4%, u industriji 27,3%, u proizvodnji električne energije 24,4% itd. Međutim, u 2000. godini transport i dalje ostaje na prvom mjestu u emisiji NO_x s udjelom 57,1%, proizvodnja električne energije s 23,9% itd.

Za razliku od naglašenih tendencija smanjenja emisije SO_2 i NO_x u 2000. godini u odnosu na 1990. u zemljama EZ-a, podaci o očekivanoj emisiji CO_2 daju sasvim drukčiju sliku. Naime, u 2000. godini ukupno će se povećati emisija CO_2 za 10,9% u odnosu prema 1990. godini, uz napomenu da će struktura emisije po sektorima potrošene energije ostati približno ista u 2000. godini kao što je bila u 1990. godini.

3.4.6. U grafikonima 2, 3. i 4. prikazani su usporedni podaci o prednostima koje se ostvaruju u termoelektranama u Zapadnoj Europi ako se kao gorivo koristi prirodni plin u odnosu na naftu i ugljen.

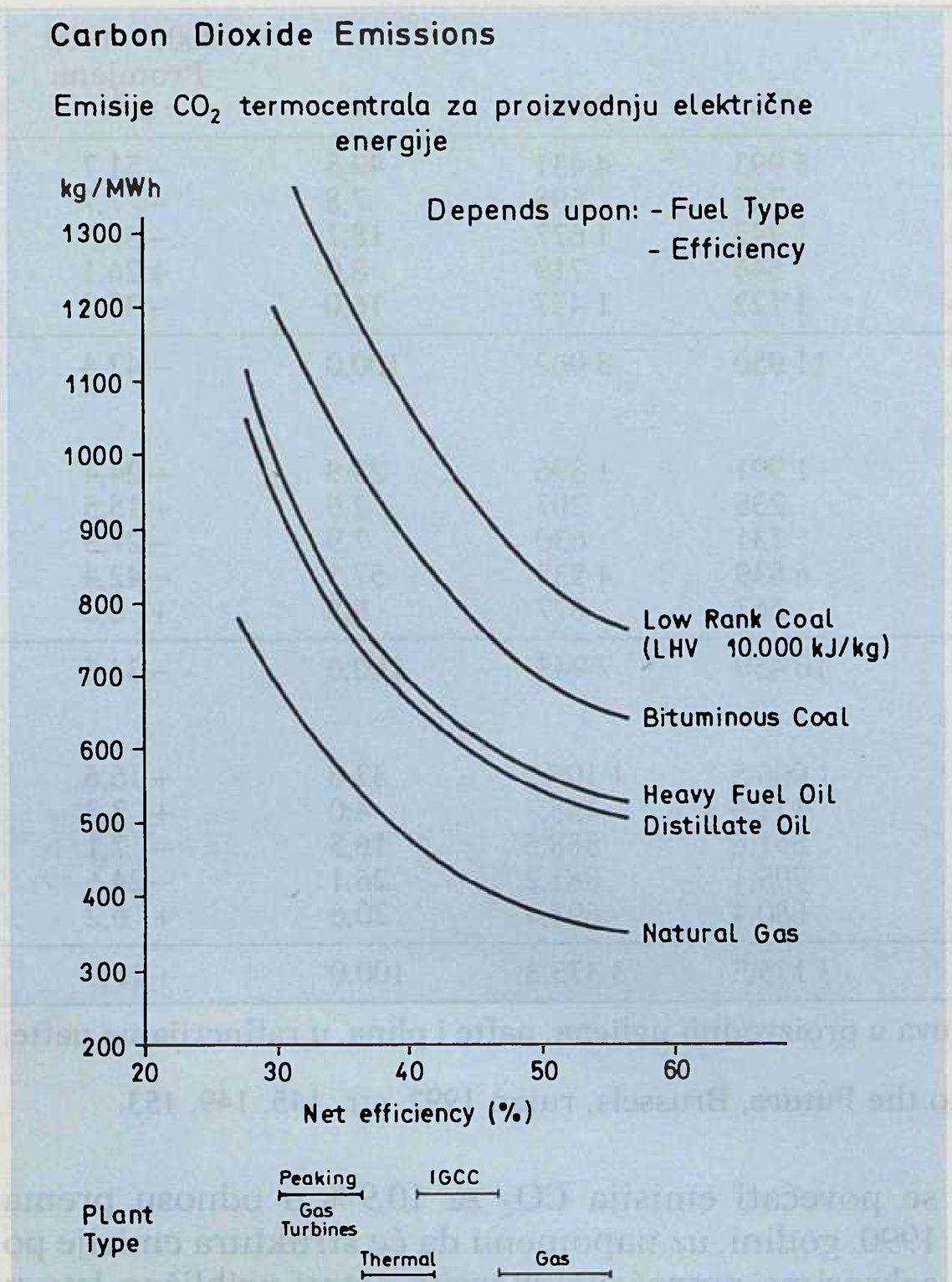
Te se prednosti mogu svrstati u tri skupine:

Grafikon 2.



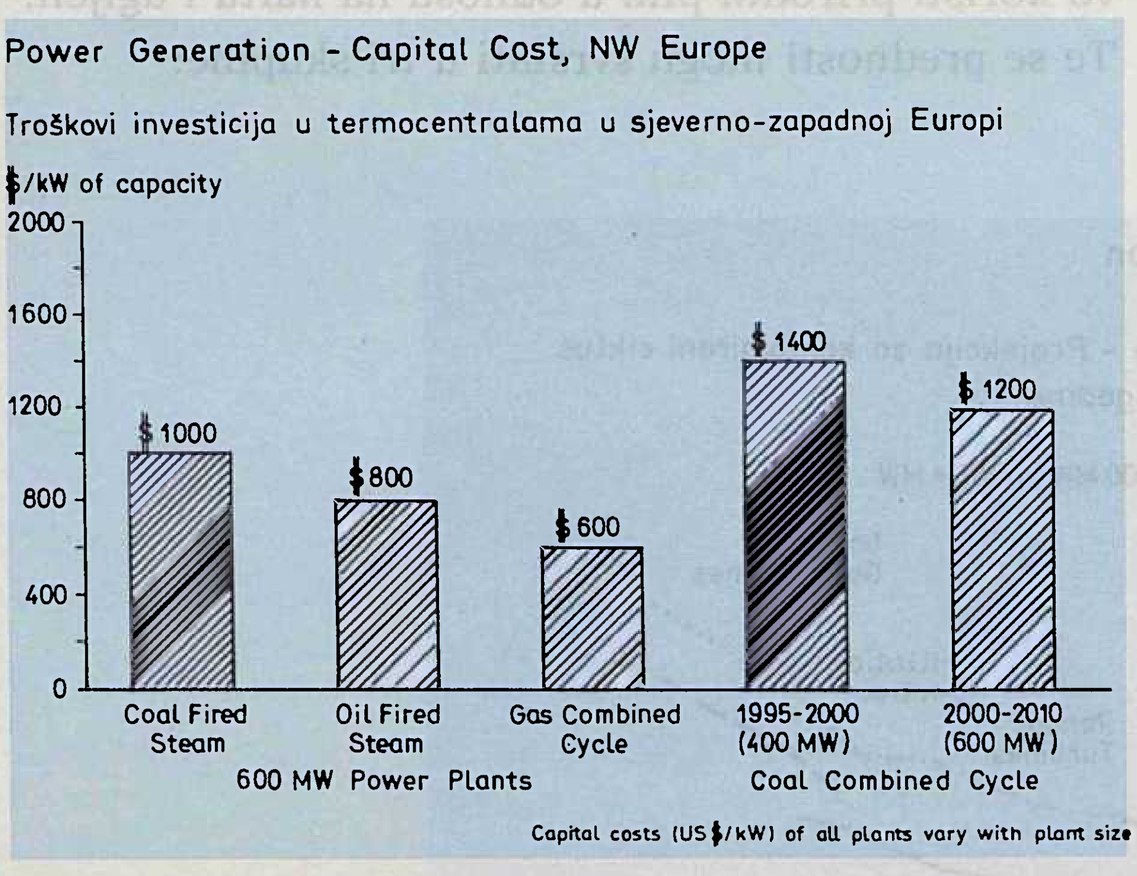
Izvor: Gainey, B. W. — The Role of Combined Cycle Technology in Power Generation — WEC — 15th Congress Madrid, 20 – 25 1992, str. 69.

Grafikon 3.



Izvor: Gainey, B. W. The Role of Combined Cycle Technology in Power Generation WEC — 15th Congress 20 – 25. rujna 1992.

Grafikon 4.



Izvor: Gainey, B. W. — The Role of Combine Cycle Technology in Power Generation, WEC — 15th Congress, Madrid, 10 – 25. rujna 1992.

- poboljšanje učinkovitosti (graf. 2)
- emisija CO_2 zavisna od vrste goriva i učinkovitosti, (graf. 3)
- troškovi investicija u termoelektrane različitoga kapaciteta koje se koriste ugljenom, naftom ili prirodnim plinom.

ZAKLJUČAK

Dosadašnji razvoj pokazuje da se promijenio stav u pogledu upotrebe prirodnog plina kao goriva u proizvodnji električne energije, posebno u Zapadnoj Europi. Evo zbog kojih razloga:

- tehnološki napreci bitno su povećali termodinamičnu i ekonomsku učinkovitost termoelektrana koje se koriste prirodnim plinom kao gorivom
- promjena pravno institucionalnih propisa i ukidanje zabrane o korištenju prirodnog plina kao goriva u termoelektranama
- sve veća briga o zaštiti životne sredine, gdje upotreba prirodnog plina kao »čistog« goriva ima znatne prednosti
- zasićenje tržišta prirodnim plinom u sektoru industrije i opće potrošnje u najrazvijenim zemljama na svijetu
- raspolaganje golemim pričuvama prirodnog plina
- neizvjesnost proizvodnje električne energije ako se kao gorivo koristi ugljen, posebno u zemljama EZ (Velika Britanija, Njemačka i dr.)
- privremena obustava izgradnje nuklearnih termoelektrana u svijetu s izuzetkom Francuske te Japana, Južne Koreje i dr.

LITERATURA

[1] Commission of the European Communities, »A View to the Future«, Brussels, rujna 1992, str. 79, 80, 81, 84, 14, 15, 16, 17.

[2] BP Statistical Review of World Energy, London, lipnja 1993. i 1994, str. 34, 22, 24.

[3] VLADIMIR BAUM, »Growht in Asian Power Switches Focus to Financing«, Petroleum Economist, London, Vol. 61, No 2, February 1994., p. 6.

[4] Dr. DUŠKO ČORAK, ZDRAVKO MUŽEK, VLADIMIR JELAVIĆ, »Metodologija usmjeravanja energetske opskrbe urbane sredine«, Energija — 34, broj 5, str. 355 – 363, Zagreb, listopada 1985.

[5] DANIEL SOLANO, »Petrochemials Worldwide — A New Ball Game«, Oil and Enterprise, Paris, No-17, prosinac 1984, str. 15 – 17.

[6] Towards a Philosophy and Practice of Energy Policy Making Energy. Studies Review, Canada, Vol. 1, No 2, 1989, str. 133, 134.

[7] RADMILO PROTIĆ, »Power supply policy of the EC countries on the Verge of the 21st century«, Nafta, Zagreb, 44, No 9 September 1993, p. 495.

[8] Natural gas Prospects and Policies — OECD, Paris 1991, str. 81, 163.

[9] Prof. dr. ANDO i dr., »Efficient Use Energy Utilising High Technology — Conversion Energy from Primary to Secondary Form«, WEC — 15th Congres, Madrid 20 – 25. rujna 1992.

[10] GAINEY, B. W., »The Role of Combined Cycle Technology In Power Generation«, W. E. C. 15 th Congress, Madrid 20 – 25. rujna 1992, str. 67, 68, 69, 72.

[11] LEE H. M., »Global Coal Prospect«, 15th WEC Madrid, 20 – 25. rujna 1992.

[12] N. A. HOLT, D. M. GOLDEN i I. M. TORRENS, »The Future Coal — based Power Plant: An Integrated Processing Facility«, »WEC — 15th Congress, Madrid 20 – 25. rujna 1992, str. 2.

TRENDS OF NATURAL GAS CONSUMPTION AS A FUEL OF THERMO-POWER PLANTS

The paper points out the needs of natural gas usage change when producing electric energy. Those changes are caused by environmental requirements, availability and price of gas, as well as by temporary suspension of the nuclear fuel usage.

DIE TENDENZ DAS ERDGAS ALS BRENNSTOFF FÜR KRAFTWERKE ZU VERWENDEN

Der Artikel deutet auf die Verschiebung in der Verwendung von Erdgas zugunsten der Stromerzeugung hin. Die Ursachen dafür liegen sowie in den Umweltschutzvorderungen, der Verfügbarkeit und der Preisgestaltung des Erdgases, als auch in der einstweiligen Einstellung der Nutzung des nuklearen Brennstoffes.

Naslov pisca:

Prof. dr. Radmilo Protić
41000 Zagreb, Dobri dol 54,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 08 – 31.

Svjetski dan kakvoće

Pojam **kakvoća** označava skup značajki proizvoda, procesa ili usluge koje se odnose na pogodnost za namjenu ili pogodnost za uporabu ili na sukladnost sa zahtjevima. Ovaj pojam se ne koristi da bi se izrazio stupanj savršenstva u komparativnom smislu. Kakvoća proizvoda, procesa ili usluge nije slučajna, već je rezultat niza poduzetih mjera u poduzeću s unaprijed utemeljenim ciljevima.

U sustavnom načinu rada i poslovanja, uz potrebu za normiranjem nekih proizvoda i procesa, pojavila se i potreba za prosudbom kakvoće. Da bi se u javnosti pojačala svijest o značenju kvalitete u gospodarstvu i privatnom životu, organizacije za kakvoću Amerike (ASQC), Europe (EOQ) i Japana (JUSE) pokrenule su obilježavanja jednoga dana u godini kao **Svjetskog dana kakvoće.** Tako se **drugi četvrtak u mjesecu studenome,** a to je **ove godine 14. studenoga,** obilježava kao Svjetski dan kakvoće. U Americi i Japanu ovaj dan je prerastao u mjesec kakvoće, pa se organiziraju mnogi prigodni stručni skupovi uz dodjelu nagrada za kakvoću.

Povijest bavljenja kvalitetom i povijest normizacije blisko su povezane. Tako je u Velikoj Britaniji već početkom ovog stoljeća, 1901. godine, izdana prva britanska norma. U vrlo kratkom vremenu su te prve norme pokazale svoju opravdanost u svezi s kakvoćom proizvoda, procesa i usluga.

To je i dovelo do razvoja normi o sustavu osiguranja kakvoće. Osnivaju se čitavi sustavi nacionalnih normi i institucije, koje preuzimaju brigu u vezi s izradom i primjenom normi.

Međunarodna organizacija za normizaciju — ISO (International Organization for Standardization) izdala je niz normi, ISO 9000 do ISO 9004, iz područja kakvoće. Normni niz ISO 9000 do ISO 9004 priznati je temelj sustava kvalitete koji se zahtijeva u prosudbi usklađenosti proizvoda na svjetskom tržištu. Radi preglednosti niz se može podijeliti u nekoliko skupina:

a)	Rječnik kakvoće	ISO 8402
b)	Norme za upravljanje i osiguranje kakvoće	ISO 9000, ISO/DIS 9000-1, ISO 9000-2, ISO 9000-3, ISO 9000-4
c)	Sustavi kakvoće	ISO 9001, ISO/DIS 9001, ISO 9002, ISO/DIS 9002, ISO 9003, ISO/DIS 9003
d)	Elementi za upravljanje i osiguranje kakvoće	Iso 9004, ISO/DIS 9004-1, ISO 9004-2, ISO 9004-3, ISO 9004-4, ISO/DIS 9004-5, ISO/DIS 9004-7
e)	Smjernice za sustave prosudbe kakvoće	ISO 10011-1, ISO 10011-2, ISO 10011-3
f)	Zahtjevi sustava osiguranja kakvoće za mjernu opremu	ISO 10012-1
g)	Smjernice za izradu priručnika kakvoće	ISO/DIS 10013

Osim tih normi iz područja kakvoće primjenjuju se i europske norme niza EN 45000, koje obuhvaćaju sustav ovlašćivanja, certificiranja i ispitivanja, te norme i propisi za upravljanje kakvoćom organizacija:

— Europske organizacije za normizaciju (CEN) — Serija EN 29000 — EN 29004 (preuzete norme ISO 9000)
— International Atomic Energy Agency (IAEA)
— Safety Series No 50-C-QA of Nuclear Power Plants
— MIL Q-9858 A — Quality Program Requirements for Industry — 1963
— A QAP — Series 1 — 9 — Allied Quality Assurance Publication for Industry — Series NATO — norme za osiguranje kakvoće
— 10 CER 50, App. B — Quality Assurance criteria for Nuclear Power Plants — američki standardi sustava kakvoće za nuklearne elektrane
— ANSI N 45 — 2 — norme Američkog nacionalnog instituta za normizaciju
— CSA — Z 299 — norme kanadske organizacije za normizaciju
— BS 5750, part 1 — 6 — britanske nacionalne norme za sustav kakvoće iz 1979. godine (od kojih se razvio ISO 9000)
— DIN (Deutsches Institut für Normirung E.V.) — DIN EN 45 020 (Allgemeine Fachausdrücke und deren Definitionene betreffend Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten)

Mr. Slavica Barta-Koštrun

VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

60 GODINA OD PRVOGA ELEKTROTEHNIČKOGA KONGRESA U ZAGREBU

Elektrifikacija u Hrvatskoj između dva svjetska rata vrlo je slabo napredovala. Stanovit je zamah započeo nakon završetka prvoga svjetskoga rata i osnutka nove države. No izbijanjem svjetske ekonomske krize, početkom tridesetih, on je zaustavljen. Ne samo da je elektrifikacija stagnirala i nije napredovala, već je nastupilo osjetno nazadovanje. Premda je potrošnja bila ionako skromna, ponegdje je pala i za 20%. Postoji podatak da je srednji potrošak električne energije po stanovniku i godini, gledajući cijelu državu, samo 56 kWh. U Zagrebu je bio najveći sa 128 kWh. Da kočenje elektrifikacije bude još veće pobrinula se i država, uz banovinu i općine, svojim nametima. Od 1932. propisana je trošarina od 70 para po kWh, što je procentualno najviše opteretilo industriju i obrt. Gdjegdje je to bilo ravno gotovo udvostručenju cijene energije. Povećana je taksa na baždarenje električnih brojila i ukinute povlastice za uvoz elektromaterijala. Posebno je visoka trošarina bila na električne žarulje. Loše je utjecao i nedostatak kapitala i slab interes investitora na ulaganje u elektroprivredu, posebno elektrifikaciju sela. No unatoč tim mnogim nepovoljnim okolnostima u Hrvatskoj je bilo najviše značajnih inicijativa da pitanje elektrifikacije krene s mrtve točke. Centri takvih nastojanja bile su veće elektrane, osobito ona zagrebačka, kao i Klub strojarskih i elektrotehničkih inženjera UJIA, sekcija Zagreb i Savez električnih centrala Savske banovine. Kako nije bilo nikakvih državnih statistika o elektroprivredi i električnim postrojenjima, upravo Klub u Zagrebu izdaje 1925. »Popis električnih centrala Jugoslavije«. No mnogo detaljniji popis električnih postrojenja izlazi 1933, opet u Zagrebu, pod imenom »Statistika električnih centrala Kraljevine Jugoslavije«.

Vrlo su niski potrošci (npr. u Zagrebu dvosobni stan troši prosječno mjesečno 5 kWh, podatak iz 1935), a Zagrebačka elektrana kao jedna od najbolje iskorištenih u državi ima iskorištenje od 2 400 sati godišnje. U takvim prilikama pojedina veća elektroprivredna poduzeća osnivaju posebne odjele za propagandu radi uporabe električne energije i povećanja potroška.

Posebno važno nastojanje da se nađe najbolji put za plansku elektrifikaciju zemlje, uzimajući u obzir tadašnje privredne, financijske i političke prilike, bilo je iskazano na I. elektrotehničkom kongresu koji je ujesen 1934. organizirao Savez električnih centrala Savske banovine prigodom glavne godišnje skupštine Saveza električnih poduzeća Kraljevine Jugoslavije. Da se pak potakne i popularizira elektrifikacija, priređena je u sklopu jesenjskog Zagrebačkog zbora (Zagrebačkog velesajma) elektrotehnička izložba. Na njoj je slikama, dijagramima i maketama prikazano stanje i prijedlozi planova za elektrifikaciju Hrvatske. Elektroindustrija, iako još vrlo skromna, pokazala je svoje mogućnosti. Posebno je bio zapažen tvornički postupak na poluautomatima ugradnje metalne niti u staklene balone žarulja, te vakumiranje i zataljivanje koje se odvijalo pred očima posjetitelja izložbe.

Elektrotehnički kongres održan prije 60 godina u Zagrebu bio je prvi takav skup na kojemu je široki krug stručnjaka raspravljao o unapređenju elektrifikacije i elektroprivrednim problemima. Kako se problemi izneseni na kongresu nisu rješavali (npr. zakon o elektrifikaciji nije nikad donesen, a neki tek polovično, kao smanjenje nekih dažbina), velik dio elektroprivrednika smatrao je da još nije sazrelo vrijeme za široku elektrifikaciju. Međutim, ipak se krenulo naprijed kad je 1937. osnovano Banovinsko električno poduzeće.* Ono je preuzelo proizvodnju, prijenos i veću razdiobu električne energije na području Savske bonovine (poslije Banovine hrvatske) sa zadatkom da kao javno poduzeće provodi široku plansku elektrifikaciju. Osnivači poduzeća su smatrali da se široka elektrifikacija ne može smatrati unosnim profitabilnim poslom, već kulturnom misijom u zaostaloj zemlji.

B. M.

PROSLAVA DANA ELEKTROPRIVREDE

U povodu 28. kolovoza, Dana elektroprivrede, u Šibeniku je održana konferencija kojoj su prisustvovali predstavnici elektroprivrede. Županije, grada i drugi uzvanici. Istaknuto je da je za Dan elektroprivrede izabran datum kada je prije 99 godina u Šibeniku proradila prva hidroelektrana na Jarugi, ali i prva u ovom dijelu Europe.

Na konferenciji je istaknuto da puštanjem u pogon »otočne veze i remontom termoelektrane Rijeka, elektroenergetski sustav zapadne Hrvatske u cijelosti zadovoljava potrebe i da je interventnim programom hrvatske vlade situacija znatno poboljšana.

Gosti iz Zagreba i njihovi šibenski domaćini obišli su i prvu našu hidroelektranu Jaruga, koju je izgradila tvrtka »Šupuk i sin« 1895. godine.

I. R.

ISPORUKA OPREME — PROIZVODNJA PODUZEĆA »KONČAR«

Poduzeće »Končar elektrodistribucija« Zagreb ugovorilo je s Českom elektroprivredom »ČEZ« u Pragu isporuku trofaznoga energetskog transformatora. Vrijednost zaključene opreme je 2,85 milijuna DEM, obuhvaća isporuku, montažu i puštanje transformatora u pogon u roku 19 mjeseci od dana zaključenog ugovora. Končar je taj posao dobio u jakoj međunarodnoj konkurenciji u kojoj je sudjelovalo 15-ak svjetskih proizvođača transformatora.

Treba istaknuti da je hrvatska elektroindustrija ugovorila isporuku kabelske opreme koju će isporučiti tvornica »Elka«. Vrijednost ugovorene opreme iznosi otprilike 25 milijuna DEM.

I. R.

BRIGA ZA NUKLEARNI OTPAD

Sredinom kolovoza u Zagrebu je održan sastanak predstavnika Agencije za posebni otpad i Agencije RAO Ljubljana. Te su institucije osnovane 1991. godine, a osnovni im je cilj traženje trajnog rješenja za nisko i srednje radioaktivni otpad iz nuklearne elektrane Krško.

---

* O osnivanju BEP-a vidjeti Energiju god. 41 (1992), br. 2.

Direktori ovih agencija složili su se o važnosti razmjene iskustva i stalnog informiranja javnosti, što je posebice važno zbog demokratizacije procesa odlučivanja o izboru lokacije i izgradnje potrebnih pratećih objekata.

I. R.

NOVA TEHNOLOGIJA U RIJEČKOJ RAFINERIJI

INA i njemačka tvrtka Mannes-mann KTI nedavno su u Zagrebu potpisali ugovor o projektu uvođenja najsuvremenije tehnologije u riječku rafineriju koja će omogućiti izdvajanje sumpora iz sirove nafte pri preradi u dizelska goriva i plinska ulja.
Planirana vrijednost cijelog projekta je oko 65,6 milijuna DEM, a rok za dovršenje planiran je na 26 mjeseci. U sklopu tog projekta ugovor predviđa i znatnu isporuku opreme proizvedene u Hrvatskoj. Potpisivanju ugovora bio je prisutan i veleposlanik Njemačke u Republici Hrvatskoj, kao i naši vodeći čelnici INA-e.

I. R.

KREDIT ZA HRVATSKU ELEKTROPRIVREDU

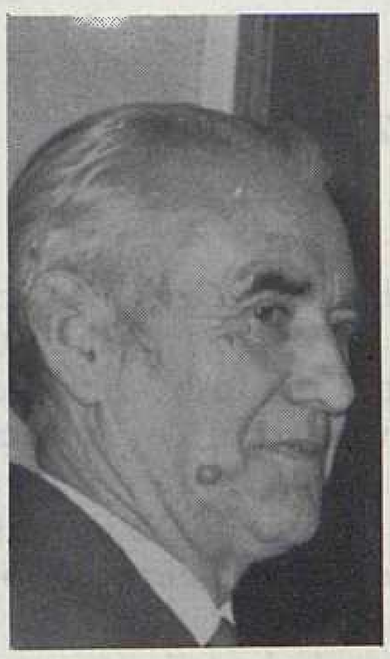
Republika Hrvatska dobila je dio kredita od Svjetske banke u iznosu 128 milijuna dolara. Kredit će se koristiti za obnovu elektroprivrede. Već je napravljen i plan investicija u koje ulaze i sredstva kredita.
Novac će se uložiti na objekte prijenosa — 110 kV trafostanicu Pag, te za dalekovod Zadar – Bilice (dva puta po 110 kV). Za objekte na području »Elektrojuga« Dubrovnik i rekonstrukciju niskonaponske mreže toga područja. Za izvedbu će se raspisati međunarodni natječaj. Za trafostanicu na Pagu potrebno je desetak mjeseci rada, a za uspostavu veze Zadar – Bilice također toliko. To je ujedno i trenutačno najslabija spona u elektroenergetskom sustavu Hrvatske. Na Pagu valja dovršiti drugu fazu »otočne veze«, a dalekovod Zadar – Bilice trebao bi prenijeti struju prema Šibeniku. Ovaj kredit izuzetno je dobro došao Hrvatskoj elektroprivredi jer su posljedice razaranja goleme, a cijeli sustav mora raditi sigurno i kvalitetno.

I. R.

SIEMENS DAROVAO ELEKTRI ZADAR TRAFOSTANICU

Nakon puštanja u rad otočne veze, koju je potkraj srpnja pustio u pogon predsjednik Republike dr. Franjo Tuđman, u pogon je u Zadru uključena i TS od 10 kV koju je darovao austrijski Siemens. Tom su činu prisustvovali predstavnici Siemensa i Hrvatske elektroprivrede te drugi uzvanici.
Darovana trafostanica vrijedna je više od 100 000 DEM, a njome će se koristiti domaćinstva u jednom zadarskom naselju.
Predstavnik Siemensa istaknuo je da je ovim darom želio pomoći zadarskom području u obnovi ratom uništenih elektropogona.

I. R.



IN MEMORIAM

Tih i nenametljiv, kakav je bio za života, umro je **IVAN RADMAN,** djelatnik Instituta od njegova osnutka i zaneseni pregalac u radu časopisa »Energija«.
Gotovo cijela plejada prvih stručnjaka Instituta utonula je u nepovrat zaborava, samo iznimno uz doličan nekrolog. Samo ponekima održano je slovo nad otvorenim grobom. Nelagoda zbog te pojave sa svakim je novim gubitkom rasla, da bi se čaša prelila kada je nestalo i skromnoga, neupadljivog i uvijek nazočnoga suradnika Instituta Ivana Radmana, koji je u sklopu svog djelokruga rada nesebično pomagao svima. Zato je ovaj napis — oproštaj od Ivana Radmana — ujedno i oproštaj od onih čijim je stručnim i znanstvenim uspjesima i on pridonio svojim svakidašnjim radom, savjesno, točno i pravodobno obavljenim poslovima koji se zamjećuju samo ako izostanu.
Krhka zdravlja, stalno ugrožavane neizmjerne životne volje, često nepriznat, obavljao je svoj posao mirno i vedro, pun blagog humora i satire bez zlobe, u svakidašnjoj suradnji s okolinom. Neobično komunikativan, stalno je brinuo o društvenim vijestima, najprije u »Elektroprivrednom biltenu«, koji je šireći se i razvijajući se, prerastao u časopis »Energija«. U tomu je bio neumoran, uporno nastojeći dobiti prigodne napise sudionika važnih događaja — otvaranja novih objekata, savjetovanja i kongresa ili pak nekrologa istaknutih suradnika Instituta i Elektroprivrede. Malokad je, nažalost, bilo pravoga odziva.
Posljednjih je dana već kao sjena prolazio hodnicima Instituta. Vrijeme je učinilo svoje i brojne nove osobe koje su ga susretale nisu ga više prepoznavale. Prorijedili su se suradnici iz »njegovih« dana, a ni oni nisu uvijek imali vremena da mu upute koju ljubaznu riječ. Nakraju su ti posjeti sasvim izostali. To nije ostalo neprimijećeno, ali smo svi očekivali da se opet pojavi »Bendžo boj«, kako su ga mnogi nazivali, iskazujući mu time svoje simpatije. No umjesto toga došla je samo kratka obavijest: umro je Ivan Radman.
I tako je ovaj nekrolog Ivanu Radmanu ujedno i nekrolog svim umrlim članovima Instituta, od prvih priznatih stručnjaka do svih kasnijih, koji su dostojno pronijeli ugled Instituta u stručnoj javnosti, a kojih se nismo navrijeme sjetili.
Svima koji su ga poznavali ostat će u trajnoj uspomeni.

Fedor Šprung

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

FINANCIJSKE POTEŠKOĆE RUSKIH NUKLEARKI

Teško ekonomsko stanje u ruskom gospodarstvu odrazilo se i na financijsko stanje u nuklearnim elektranama. Prema izjavi potpredsjednika ruskoga državnoga koncerna za nuklearnu energiju Evgenija Ignatenka, dugovi državne elektroprivrede nuklearnim elektranama za isporučenu energiju iznosili su u veljači 1994. oko 390 milijuna DEM. Zbog toga elektrane nisu mogle kupovati gorivo ni isplaćivati plaće. Osobito je tažak položaj triju velikih nuklearki koje opskrbljuju Moskvu i Petrograd. U središnjoj Rusiji 80% potrebne električne energije dobavljaju nuklearne elektrane. Koncern za nuklearnu energiju preporučio je elektranama da snize proizvodnju za 30%, kako bi uštedjele gorivo. Neke su pak elektrane morale biti isključene.
Prema pisanju agencije Itar-Tass, u 9 ruskih nuklearnih elektrana, s ukupno 29 reaktora, nastale su poteškoće. Elektrana Novovoronježž morala je stati jer osoblje nije moglo biti isplaćeno. Popravak petog reaktora, predviđen za siječanj, nije mogao započeti jer nije bilo novca za rezervne dijelove.

ETZ, god. 115 (1994), br. 5

Mrk.

FRANCUSKI BRUTREAKTOR PONOVNO U POGONU

Francuski brzi oplodni reaktor (Brutreaktor) »Superphemix« vjerojatno će 1994. ponovno ući u pogon. Sada se razmatra ne bi li on mogao, osim proizvodnje električne energije, služiti za zbrinjavanje radioaktivnog otpada. Taj reaktor snage 1200 MW najveći je reaktor takve vrste u svijetu. Građen je između 1974. i 1985. u Creys Malville na Rhoni, a stajao je 8,4 milijarde DEM. Zbog mnogih pogrešaka morao je biti često isključivan iz pogona, a od srpnja 1990. potpuno je isključen. Razlog ponovnog ulaska u pogon nije samo tehnička dotjeranost i poboljšanje, već i mogućnost za zbrinjavanja nuklearnog otpada. No prvi pokusi u tom području neće moći početi prije 1998.

ETZ, god. 115 (1994), br. 5

Mrk.

ISTRAŽIVAČKI PROJEKTI EZ

Prvi je put Europska zajednica objavila popis svih svojih znanstvenih i tehnoloških istraživačkih i razvojnih projekata. Katalog obuhvaća ugovorne partnere i istaknute osobe za 1 800 projekata. Do sada su zainteresirani morali takve informacije tražiti po mnogobrojnim edicijama koje je izdala EZ. Daljnja mogućnost za analizu aktivnosti EZ pruža banka podataka CORDIS (Communitij Rechearch and Development Information Service). Korištenje ovih podataka je besplatno.

ETZ, god. 115 (1994), br. 5

Mrk.

RAZVOJ DOBIVANJA SIROVE NAFTE

Glavni proizvođači sirove nafte u 1993. bili su Saudijska Arabija, SAD i Rusija. Na te tri zemlje, prema »Petroleum Economist«, otpada više od trećine svjetske proizvodnje od 3 169 milijuna tona. Dok je u Saudijskoj Arabiji i SAD proizvodnja sirove nafte pala za 2% do 3% prema 1992, taj je pad u Rusiji iznosio 14%. Taj su pad iskoristile zemlje OPEC-a i povećale proizvodnju za 1,5%. Time je njihov udio na tržištu iznosio 41,5%.

ETZ, god. 115 (1994), br. 6

Mrk.

U SAD SE POVEĆAVA UPOTREBA TRANSFORMATORA S AMORFNOM JEZGROM

Transformatori s jezgrom od amorfnog metala predstavljeni su na Svjetskoj konferenciji o ekologiji 1992. u Rio de Janeiru kao vrlo povoljni u pogledu štednje energije i zaštite okoliša. Tada je prognozirano da bi takvi transformatori do godine 2000. mogli zauzeti 25% tržišta, čime bi se uštedjelo 9 milijardi kWh i smanjila emisija od 1,9 t štetnih tvari. Ti su transformatori razvijeni u američkom razvojnom institutu EPRI (Electric Power Research Institute) i 1986. dani na tržište. Američka elektroprivreda već je ugradila 350 000 do 400 000 transformatora s amorfnom jezgrom. Japan je sklopio ugovor za 32 000 uređaja kao pokus.
Amorfni se metal dobije veoma brzim hlađenjem, tako da nema dovoljno vremena za stvaranje kristala. U takvom metalu atomi trebaju manje energije da reagiraju u izmjeničnim magnetskim poljima. Zbog toga se gubici praznog hoda smanjuju za 66% u usporedbi s danas upotrebljavanim limovima. Prihvati li američka elektroprivreda navedenu tehniku, prema mišljenju EPRI, godišnje bi se moglo uštedjeti 0,5 milijardi USD. Za sada su ovakvi transformatori još 15% do 65% skuplji, ali se računa da bi usavršavanjem tehnologije mogli biti čak jeftiniji od standardnih.

ETZ, god. 115 (1994), br. 5

Mrk.

DESET NOVIH NUKLEARKI U SVIJETU

U svijetu je u tijeku prošle 1993. godine ušlo u pogon 10 novih nuklearki. Od toga 4 u Japanu, a ostale u Kini, Francuskoj, Indoneziji, Kanadi, Rusiji i SAD. Kako su u Velikoj Britaniji ugašene dvije, a u SAD jedna nuklearna elektrana, prirast je 7. Na taj način je u svijetu u pogonu 425 nuklearki koje daju 17% svjetske proizvodnje električne energije.

ETZ, god. 115 (1994), br. 7/8

Mrk.

HIBRIDNO VOZILO S PLINSKOM TURBINOM

Švedska tvrtka Volvo i ABB izradile su probni hibridni auto koji će vrlo malo zagađivati okoliš. Vozilo ima malu plinsku turbinu koja daje manje ispušnih plinova nego današnji motori s unutarnjim izgaranjem, a tjera visokoturažni električni generator. Pri brzini od 100 000 min^{-1} daje snagu 20

kW. Pokusi su pokazali da vozilo postiže snagu koja se malo razlikuje od snage postojećih benzinskih motora. Hibridni auto može se kretati energijom iz baterije, samo plinskom turbinom ili plinskom turbinom i baterijom.
Turbina napaja trofazni motor s automatskim reduktorom prigona. Višak električne energije napaja preko istosmjernog pretvarača konvencionalnu nikal-kadmijsku bateriju. Čisti baterijski pogon može svladati daljinu 85 km u gradu i 95 km na autocesti. Kad je baterija samo 20% puna, automatski se ukopčava plinska turbina i počinje se puniti. Jedno punjenje gorivom dostatno je za rad turbine na putu 670 km. Pri tome je potrošak 5,2 do 6,0 na 100 km. Nakon 30-godišnjeg razvoja plinska turbina postaje konkurentna motorima s pomičnim klipom. Još nije donesena odluka o proizvodnji i približnoj prodajnoj cijeni novog uređaja.

ETZ, god. 115 (1994), br. 7/8

Mrk.

RECIKLAŽA ODBAČENIH ELEKTROAPARATA

U Selmu (Njemačka) proradilo je poduzeće za reciklažu starih odbačenih električnih aparata. Godišnji kapacitet prerade iznosi 100 000 hladnjaka, 200 000 televizijskih cijevi i 15 000 tona drugih električnih aparata. U poduzeće je investirano 12 milijuna DEM. Nakon rastavljanja starih aparata dobivat će se 35 tona frakcija materijala, koji će se kao sekundarna sirovina vratiti u proizvodnju. Osim toga, uklonit će se opasni materijali kao ugljični fluorovodik iz hladnjaka i teški metali iz televizijskih cijevi.

ETZ, god. 115 (1994), br. 6

Mrk.

AZIJSKA ZRAKOPLOVNA INDUSTRIJA

Na azijsko-pacifičkom prostoru, zbog gospodarske konjunkture, raste zračni promet kao nigdje u svijetu. Zrakoplovi se dobavljaju iz zapadnih industrijskih zemalja, no zbog vlastite proizvodnje Zapad se pomalo istiskuje. Tradicionalno veliki proizvođači zrakoplova kao Boeing, Britich Aerospace i Airbus osjećaju se ugroženima od industrije Japana, Kine, Malazije i Južne Koreje npr. zbog kooperacije sa zapadnim proizvođačima i dobavljačima.
Zapadnoeuropska avioindustrija i njihovi kooperanti ne smiju zanemariti azijsko tržište. Ponajprije treba s azijskim partnerima osnovati suradnju na načelu »Joint Ventures«. Dugoročno gledano, ne može se isključiti da će dalakoistočne tvrtke u gradnji zrakoplova istisnuti europske i američke i zauzeti svjetsko tržište barem u nekim tipovima zrakoplova. Stoga se zrakoplovna industrija mora, po mogućnosti, razvijati međunarodno, da bude prisutna u azijskom prostoru.

ETZ, god. 115 (1994), br. 7/8

Mrk.

RUSKO-NJEMAČKI KONZORCIJ ZA GRADNJU ELEKTROLOKOMOTIVA

Njemačka tvrtka AEG zaključila je s ruskim državnim željeznicama i tvornicom lokomotiva u Novočerkasku ugovor o kooperaciji u gradnji električnih lokomotiva za pogon izmjeničnom strujom. Od 1998. izgradit će se godišnje oko 200 lokomotiva. One će biti vrlo robusne, pogodne za teške uvjete vuče. Bit će sposobne da voze pri vanjskoj temperaturi od −50 °C do +40 °C, uz snijeg i pješčani vjetar. Brzine će iznositi 300 km/h, a vrijednost, po komadu, 6 milijuna do 11 milijuna DEM. Ruske će državne željeznice trebati oko 500 lokomotiva, a kao potencijalni kupci očekuju se Kina i Tajvan. Ruski bi partner izrađivao mehaničku komponentu i preuzeo završnu montažu, a AEG dobavio električnu opremu. Prodajom lokomotiva trećim zemljama omogućilo bi se plaćanje elektroopreme.

ETZ, god. 115 (1994), br. 6

Mrk.

NOVI BRUTREAKTOR U POGONU U JAPANU

Dok je u ožujku 1994, u Engleskoj (Dounreay) obustavljen rad brutreaktora snage 270 MW, u pogonu od 1976, u Japanu je ušao u pogon prvi reaktor tog tipa. Brzi oplodni reaktor »SNR Mojou« ima snagu 660 MV, a izgrađen je na zapadnoj obali otoka Honšu. Unatoč brojnih protesta, Japan je razvijao tehniku brutreaktora. Zemlja pokušava na sve načine smanjiti energetsku ovisnost o inozemstvu. Danas Japan mora uvoziti 99% energije.
Gledajući samo ekonomski, šanse za primjenu oplodnih reaktora znatno su se smanjile posljednjih godina zbog velikog pada cijena urana. One su pale od 100 USD po kilogramu na 20 USD. Osim toga, zbog dodatnih sigurnosnih uređaja SNR reaktor bio je skuplji nego što je bilo predviđeno. Sada u Japanu radi 45 LWR reaktora koji su upola jeftiniji od brutreaktora. Vlada se, međutim, nada da će serijskom proizvodnjom znatno sniziti cijenu, pa za perspektivu ustraje na razvoju brutreaktora.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 11

Mrk.

KORISNOST PLINSKO-PARNIH ELEKTRANA DO 60 %

Korisnost temoelektrana na kameni ugljen u zapadnom dijelu Njemačke iznosi u prosjeku 38%. To su većinom starija postrojenja kojima su prigrađeni uređaji za pročišćavanje dimnih plinova, što je zbog povećane vlastite potrošnje smanjilo neto korisnost. Nove pak takve termoelektrane imat će korisnost 41% do 43% s izgledom da se dosegne 45%. Time bi se emisija CO_2 smanjila za 15% do 16%. Termoelektrane na smeđi ugljen postižu manju korisnost, no nove termoelektrane, planirane za istočni dio Njemačke (blokovi 800 MW), postići će vjerojatno 40%, što je svjetski vrh. Danas u narudžbama termoelektrana prevladava plinsko-parna tehnika, takve elektrane imaju iskorištenje goriva do 55%. No daljnjim usavršavanjem plinskih turbina i poboljšanom toplinskom tehnikom postoji nada da se postigne korisnost i 60%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 11

Mrk.

MIŠLJENJE NIJEMACA O NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Njemački institut za demoskopiju proveo je opširnu anketu kako bi dobio mišljenje stanovništva o nuklearnim elektranama. Za daljnji rad postojećih nuklearki odnosno izgradnju novih izjasnilo se 77% ispitanika. 40% ih traži da se postojeće zamijene novima i modernijima, a samo 24% tražilo

je njihovu obustavu. U slučaju prestanka rada nuklearki stanovništvo se boji da će se povećati cijena struje i uvoz energije. 37% ih je spremno podnijeti tu žrtvu. 46% se boji pomanjkanja struje, a samo 6% bi to prihvatilo.
U vezi s obnovljivom energijom kao energetskom osnovom 63% se izjasnilo za energiju sunca, 52% za energiju vjetra, a 49% za energiju vode kao idealno rješenje. Za ostale izvore energije glasalo je manje od 50%. Najmanje ih je bilo za ugljen, samo 19%.
Kao idealnu osnovu za dobavu električne energije 26% ispitanika smatralo je nuklearne elektrane, a 54% da će one u budućim desetljećima dati znatan doprinos proizvodnji. Dok je početkom devedesetih godina samo 29% stanovništva zapadnoga dijela Njemačke bilo uvjereno da industrijska zemlja ne može bez nuklearki, danas se taj broj popeo na 41%. Broj onih koji smatraju da su nuklearne elektrane garancija energetske nezavisnosti zemlje od inozemstva povećao se od 33% na 49%.

ETZ, god. 115 (1994), br. 9

Mrk.

KINA OD IZVOZNIKA POSTALA UVOZNIK MINERALNIH ULJA

Nakon dugog vremena u 1993. Narodna Republika Kina postala je od izvoznika uvoznik nafte i derivata. Njezin izvoz tih proizvoda je pao, prema prethodnoj godini, za 13,9% odnosno na 23 milijuna tona. Istovremeno je porastao uvoz za 72%, tj. na 33 milijuna tona. Polovica te količine bili su naftni derivati. Ukupna kineska proizvodnja sirove nafte u 1993. godini iznosila je 143,8 milijuna tona.

RTZ, god. 115 (1994), br. 9

Mrk.

ŠVEDSKA SE BOJI MANJKA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prema najnovijem izvještaju Švedskog ureda za gospodarski i tehnički razvoj (NUTEK), do 2005. godine moglo bi u Švedskoj nastati manjak električne energije ako se gospodarstvo ponovno podigne. S obzirom na zaključak da će se nuklearne elektrane obustaviti do godine 2010, unapređivani su obnovljivi izvori energije, kao energija biomase, te energija sunca i vjetra. Do sada se, međutim, pokazalo, da su takvi izvori unatoč subvencijama nedostatni.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 6

Mrk.

EDF I BUGARSKA POJAČAVAJU SURADNJU U ELEKTROPRIVREDI

Francusko elektroprivredno poduzeće EDF potpisalo je s bugarskim Elektrokomitetom i državnom elektroprivredom NEK ugovor o suradnji za sljedeće tri godine. Ovaj ugovor obuhvaća u prvome redu pogon i modernizaciju nuklearne elektrane Kozloduj i kooperaciju s bugarskom elektroprivredom. Nadalje, ugovorom je predviđeno povećanje pogonske sigurnosti nuklearnih postrojenja. U okviru francusko-bugarske suradnje već se od 1991. sredstvima EU doprinijelo radovima za stavljanje u pogon bloka I i II NE Kozloduj, u prvom redu sigurnosnim uređajima na bazi europskih standarda. Osim toga, od 1993. pomagat će se NEK-u u području menažmenta i organizacije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 6

Mrk.

ELEKTROVOZILA U FRANCUSKOJ

Sredinom prosinca 1993. započeo je velik pokus praktične upotrebe elektrovozila u gradu La Rochelle u Francuskoj (vidi Energija, god. 42 (1993), br. 2). U prometu će biti 50 osobnih elektrovozila, a pokus će trajati 18 mjeseci. Ta osobna vozila proizvele su PSA Peugeot Citroen. Za sada imaju prototipovi nikal-kadmijeve baterije, što im omogućuje u gradskom prometu daljinu dosega 75 km i maksimalnu brzinu 90 km/h. Planira se da bi 1995. započela serijska proizvodnja tih vozila. Cilj je ovog razvoja da proizvodnja u 2000. godini dosegne više od 50 000 komada. Pri ovim količinama troškovi proizvodnje, bez baterija, iznosili bi približno kao za dizelske verzije istoga tog tipa vozila.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 6

Mrk.

PERSPEKTIVE ELEKTROAUTOMOBILA

Prigodom izložbe cestovnih elektrovozila u Würzburgu (Njemačka), gdje je izlagalo više proizvođača, uz mogućnost pokusnih vožnji, posjetitelji su mogli stvoriti određene sudove, koji bi se mogli svesti na ove zaključke:

1. proizvođači se trude da proizvedu elektroautomobile kojima mogu izaći na tržište.
2. Kola su prikladna kao dvosjedi za vožnju na malim udaljenostima, ali još imaju mnogo nedostataka.
3. Sve primijenjene baterije mogu bez punjenja zadovoljiti doseg vožnje od 70 do 120 km.
4. Punjenje baterija traje 6 do 10 sati, što je predugo.
5. Nabavna cijena elektrovozila još je neprihvatljiva.
6. Današnji će korisnik automobila prihvatiti elektroauto, tek kada mu takvo vozilo bude prava alternativa sadašnjemu. To bi značilo da će se moći voziti na dugim prugama uz jednaku snagu, jednak utrošak vremena, uz jednake, a možda i niže troškove.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 9/10

Mrk.

MODERNIZACIJA MADŽARSKE ELEKTRIČNE MREŽE

Madžarska je elektroprivreda (MVMT) dobila 20 milijuna ECU od Europske investicijske banke (EIB) da poboljša razdiobu snage u električnoj mreži modernizacijom uređaja i ugradnjom centralnoga daljinskog upravljanja. Za to potrebna oprema sadrži kompjutorski upravljene signalne generatore, a kod krajnjih potrošača odgovarajuće prijamnike s pomoćnim uređajima. Te će mjere pridonijeti racionalnoj potrošnji energije i time omogućiti da se obustave zastarjele elektrane koje zagađuju okoliš. Za prvu fazu realizacije projekta EIB je već 1990. dala iznos od 15 milijuna ECU.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 9/10

Mrk.

STRUJA IZ VODOVODA I PLINOVODA

Plin i pitka voda dovode se iz daljine pod visokim tlakom, a prije dovođenja do potrošača tlak treba sniziti. Pri tome se ova energetska razlika može koristiti za dobbivanje električne energije. Na primjer, u Njemačkoj je 1992. bilo 67 takvih uređaja čija je proizvodnja električne energije bila vezana na javnu mrežu. Te je godine proizveden 91 GWh i predan javnoj mreži.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 12

Mrk.

CIJEVNE TURBINE ZA ARKANZAS

Za najveću hidroelektranu s cijevnim agregatima od 1986. godine u SAD, koju gradi Arkanzas Electric Cooperative Corporation, Little Rock, Arkanzas, naručena su tri velika cijevna agregata. Snaga pojedinoga turbinskog agregata iznosi 35 MW, dok je promjer rotora turbina 7 000 mm. Hidroelektrana je smještena 30 kilometara uzvodno od ušća Arkansasa u Mississippi. Puštanje u rad elektrane predviđeno je za 1998. godinu. U izboru isporučitelja prevagu je odnijela suvremenija tehnologija, kao što je, na primjer, konstrukcija rotora turbina uz pomoć računala.

Technical Rewiew Sulzer, 2/1994

E. H.

REGULACIJA RAZINE I PROTOKE PROTOČNIH HIDROELEKTRANA

Kod protočnih hidroelektrana službeno odobreno propuštanje vode osnovni je parametar za projektiranje. Stvarne količine vode znatno odstupaju u tijeku godine u skladu s vremenskim uvjetima. To također utječe i na razinu rijeke. Regulacija razine i protoke, kakva je npr. instalirana u hidroelektrani Laufenburg, održava razinu rijeke u odobrenom području i optimira proizvodnju energije elektrane na osnovi aktualnih rubnih uvjeta. Uz automatsko pokretanje i zaustavljanje agregata to omogućuje nesmetan pogon elektrane bez osoblja.
Sustav automatske regulacije razine i protoka instaliran u hidroelektrani Laufenbburg pušten je u rad 1991. godine. Ta hidroelektrana izgrađena je na rijeci Rajni od 1908. do 1914. godine. U strojarnici je bilo 10 dvojnih Francisovih turbina (nominalne snage ukupno 48 MW), a brana je izvedena s 4 otvora sa po 2 tablasta zatvarača.
Godine 1988. počela je opsežna rekonstrukcija elektrane, pa su agregati zamijenjeni s 10 novih Straflo turbinsko-generatorskih grupa (nominalne snage ukupno 110 MW), a ugrađeni su i novi uređaji vođenja prošireni automatskim sustavom regulacije razine i protoke rijeke. Regulacija razine i protoka treba kao poseban sustav raditi toliko daleko koliko je to moguće odvojeno od sustava vođenja elektrane te promjene razine gornje vode ograničiti na pojas od $+/-5$ cm s obzirom na odobreno stanje razine. Osim toga, regulacija u normalnim uvjetima smije promjene dotoka vode proslijediti u nizvodno područje samo u izglačanom obliku. Drugi je zadatak optimirati proizvodnju energije na osnovi aktualnih uvjeta. To se postiže tako da se voda koja dotječe pravovremeno uvodi u strojeve. Ako dotok prekorači maksimalan kapacitet turbina, višak se odvodi uz pomoć zapornica. Kad se smanji dotok, najprije se zatvore zapornice, a zatim otvori turbina pretpodešenjem privodnoga kola, odnosno lopatice rotora smanje protok na odgovarajuću mjeru.
No treba ispuniti i ostale zahtjeve. Tako pokretanje i zaustavljanje agregata mora teći bez ručnih zahvata, zapornice se automatski otvaraju i zatvaraju, broj regulacijskih radnji zapornica ili vodećih odnosno rotorskih lopatica mora biti sveden na najmanju mjeru te se pri izboru agregata i zapornice mora voditi briga o prioritetima.
Svi navedeni uvjeti su odgovarajućim konceptom i odgovarajućom opremom i softwareom uspješno riješeni i povezani sa sustavom vođenja elektrane, uzimajući u obzir primjenu istovrsnih sustava računala i sastavnih elemenata, tako da je regulacija razine i protoka homogeno uklopljena u sustav vođenja elektrane, što sve olakšava pogon i održavanje.

Siemens Power Journal, 1. Jahrgang, Dezember 1992

E. H.

USPJEŠNO ISPITANE GORIVNE ĆELIJE

Poslije više godina intenzivnog rada, potkraj 1992. godine uspješno je završen razvoj Polymer-Elektrolyt-Membranske (PEM) gorivne ćelije te proizveden prototip. PEM-gorivne ćelije iz kemijskih reakcija vodika s kisikom do vodene pare proizvode istosmjernu struju. Elektrolit se sastoji od specijalne umjetne tvari koja propušta samo jezgre vodika (protone).
Dokazana snaga jednog modula ove vrste gorivnih ćelija iznosi sada oko 34 kW uz napon 52 V. Stupanj korisnosti doseže 59% pri nominalnom teretu, a do 69% pri djelomičnom opterećenju, što je danas svjetski maksimum.
U sljedećem koraku modul će se serijski razvijati. Već danas je moguće predvidjeti znatan potencijal razvoja s obzirom na povećanje snage uz istu veličinu elementa.
PEM gorivne ćelije u budućnosti bi mogle postati sastavnim dijelom elektroprometa u gusto naseljenim područjima već i zbog toga što ne ispuštaju štetne tvari.

Siemens Power Journal, 1/93

E. H.

AUTOMATIZIRANE MALE HIDROELEKTRANE SU EKONOMIČAN I ZA OKOLIŠ PRIKLADAN IZVOR ENERGIJE

Za male hidroelektrane relativno malih snaga skupi strojni i upravljački uređaji obično nisu ekonomični. Moderni sustavi upravljanja i elektrotehnički sustavi ipak se mogu prilagoditi i uvjetima starijih hidroelektrana. Ti sustavi obuhvaćaju upravljanje, regulaciju, zaštitu i automatiku te omogućuju siguran pogon bez posade. Elektrana Tharand pokazuje da se i starije male hidroelektrane mogu opremiti modernom tehnikom i ekonomično se koristiti.
Hidroelektrana Tharand je puštena u pogon 1926. godine. Koristi se vodom rječice Weisseritz u blizini Dresdena putem akumulacije Klingberg. Ta akumulacija ponajprije služi za opskrbu Dresdena sirovom vodom, a kao drugo za proizvodnju energije. Elektrana je priključena na mjesnu mrežu 10 kV. U elektrani su dvije spiralne Francisove turbine po 850 kW, protoka po 1,6 m^3/s i pada 68 m. Iz donjega kompenzacijskoga bazena voda se tunelom odvodi u Dresden, a višak vode se prelijeva u korito rijeke Weisseritz.
Godine 1966. zamijenjeni su rotori turbina novim od nehrđajućeg čelika, promijenjeni su svornici i ležaji, a instalirana je također sasvim jednostavna automatika. Godine 1989. generatori 1 000 kVA sa 3000 V 2-fazno premotani na 6 300 V 3-fazno.

U prvo vrijeme su se sve manipulacije obavljale na temelju naloga telefonskim putom (pokretanje, zaustavljanje, podešenje otvora turbina i sl.). Godine 1991. je odlučeno da se elektrana modernizira, s tim da bi to obuhvatilo turbinsku regulaciju, zaštitu stroja, uzbudu i razvodno postrojenje i da se omogući automatski pogon bez posade. U slučaju ispada mreže elektranama može raditi u otočnom radu i opskrbljivati bliske potrošače.

Za automatski pogon elektrane regulacija razine donje vode predstavlja mjeru količine vode koja se uzima iz donjeg bazena te je potrebna automatika za pokretanje i zaustavljanje agregata. Za takve zadatke prikladan je programabilni automat (npr. SIMATIC S5-115 U) u kojem su ostvarene funkcije ručnog upravljanja, automatika, iskapčanje djelovanjem zaštita, javljanje opasnosti, automatska sinkronizacija, kao i regulacija razine i turbine.

Uređaji automatike hidroelektrane Tharand omogućuju:

— ručno upravljanje s ploče stroja
— automatski pogon bez regulacije razine i
— automatski pogon s regulacijom razine; agregati se automatski prilagođavaju u ovisnosti o razini vode (pokretanje i zaustavljanje, opterećivanje i rasterećivanje).

Normalnom pogonu elektrane nadređeni su nalozi sistema zaštite. Električne pogreške momentalno zaustavljaju agregat, dok to mehaničke obavljaju nakon rasterećenja generatora.

Bitna karakteristična veličina jest potreba sirove vode grada Dresdena, koja utječe na razinu vode u donjemu kompenzacijskom bazenu turbina. Promjene razine prati regulacija i korigira ih količinom vode kroz turbine. Stoga je u uređaju automatike svakog agregata softwareovski paket koji sadrži elemente formiranja zadane vrijednosti razine, stvarne vrijednosti razine i PID regulator. Pada li razina u donjem kompenzacijskom bazenu, povećava se količina vode koja dotiče, pri čemu se uključi agregat odnosno otvori privodno kolo. Kada raste razina, zatvara se privodno kolo, odnosno zaustavlja se jedan agregat. Ako se pojave smetnje u elektrani ili u vodopskrbnoj mreži, regulacija razine otvori sapnicu slobodnog mlaza uništavača energije i suvišna voda se preko preljevne zapornice donjeg bazena odvodi u rječicu Weisseritz.

Turbinski regulator je jednostavne izvedbe, integriran u uređaj automatike.

Zaštite su svedene na najnužnije, i to kako mehaničke, tako i električne.

Uzbuda je tiristorska, jednostavne izvedbe, napajana direktno na sinkroni generator prigrađenoga pomoćnog uzbudnika.

S obzirom na starost elektrane bilo je nužno provesti i potpunu rekonstrukciju rasklopnog postrojenja 10 kV, u koje su, među ostalim, ugrađene učinske vakuumske sklopke.

Elektrana Tharand je nakon izvedenih radova modernizacije predana pogonu u srpnju 1992. godine, a primjer je kako i starije male hidroelektrane uz pomoć moderne tehnike mogu biti osposobljene za ekonomičan pogon.

Siemens Power Journal, 2/93

E. H.

SOLARNA POSTAJA ZA PUNJENJE ELEKTROVOZILA STRUJOM

U mjestu Tampa u Floridi puštena je u pogon prva solarna postaja za punjenje elektrovozila u SAD. U vršnim satima to postrojenje daje do 20 kW, što je dovoljno za punjenje 12 elektrovozila. Navedeno 20-kW solarno postrojenje također je vezano na mjesnu elektrodistributivnu mrežu u koju daje višak struje. Postaja će također služiti za testiranje i ocjenjivanje vozila voznog parka i za lokalni promet u uvjetima koje postavlja Florida.

Ovu postaju za punjenje elektrovozila projektirao je i razradio College of Engineering Univerziteta South Florida u suradnji s Florida Power Corporation. Financijski je projekt uglavnom pomogao U.S. Department of Energy i Florida Energy Office.

Također se i u drugim saveznim državama razmatra zakon koji se temelji na zakonu nulte emisije (Zero Emission Law) države Kalifornije. Odredbe koje sadrži ovaj zakon i koje se odnose na kakvoću zraka uvjetuju da dva posto svih novih vozila koja će se do 1998. godine prodati u Kaliforniji moraju voziti bez ispuštanja štetnih tvari. Ovaj uvjet ispunjavaju sada samo elektroautomobili. Očekuje se da će u 2003. godini u Kaliforniji biti godišnje prodano gotovo 200 000 vozila koja voze ne ispuštajući štetne tvari.

Siemens Power Journal, 2/93

E. H.

SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

SAVJETOVANJE O PROBLEMATICI VANJSKE I UNUTARNJE PRENAPONSKE ZAŠTITE U OBJEKTIMA ENERGETSKE I INFORMACIJSKE TEHNIKE (Maribor 1994)

Slovensko društvo za geoelektriko, statično elektriko in strelovode, Maribor i Tehniška fakulteta Maribor održali su 31. ožujka i 1. travnja 1994. u dvorani Tehničkog fakulteta u Mariboru dvodnevno savjetovanje o navedenoj tematici. Osnovni je cilj bio nastavak prakse održavanja takvog oblika razmjene mišljenja u problematici upotrebe pripisa i standarda što se rabe sada — u prijelaznoj fazi — kao i u budućnosti, kada će se strogo koristiti IEC standardi na koje obavezuje članstvo u toj organizaciji. Tehnički fakultet kao suorganizator savjetovanja prikazat će pak tom prilikom novosti razvoja djelatnosti u tom području.

Temeljni sadržaj savjetovanja činili su ovi referati, predavanja i prikazi (u prijevodu na hrvatski):

1. **Razvojni putovi elektronske tehnologije**
   Vladimir Sokolov, dipl. ing., »Mikrosoft«, d.d., Ljubljana

2. **Izvedba variostora na osnovi ZnO u široj uporabi**, dr. Maks Babuder, EI »Milan Vidmar«, Ljubljana
3. **Brzi zaštitni elementi sastavljeni u funkcionalnom sklopu** mr. Vladimir Murko, »Iskra zaščite«, Ljubljana
4. **Uporaba propisa i standarda u pogonskoj praksi u prijelaznom vremenu i definiranje konkretnih zahtjeva** Marjan Kern, dipl. ing., Ministarstvo za gospodarske dejavnosti, Ljubljana
5. **Rad USM na propisima i standardima za zaštitu od munje i prenapona** Peter Palma, dipl. ing., Urad za standardizacijo in meroslovje, Ljubljana
6. **Usmjerenja slovenske standardizacije** Anton Pogačnik, dipl. ing., Urad za standardizacijo in meroslovje, Ljubljana
7. **Prikaz problematike izvođenja pripisa i standarda u PTT organizacijama i konkretnog rješenja za prijelazno razdoblje** Peter Mraz dipl. ing., Ministarstvo za promet in zveze, Republiška uprava za telekomunikacije, Ljubljana
8. **Prikaz upotrebe standarda IEC u europskim državama i kod nas** dr. ing. Peter Hasse, »Dehn & Söhne«, Neumarkt, SRD dr. ing. Jože Pungeri, »NOVUM«, Ljubljana
9. **Prikaz praktičnog izvođenja zaštite od prenapona i izvođenja unutarnje i vanjske zaštite od munje u skladu s novim zahtjevima IEC standarda** Boris Žitnik, dipl. ing., »Elektro« Maribor
10. **Prikaz i predstavljanje djelatnosti tehničkog fakulteta Maribor** dr. ing. Jože Voršič
11. **Revitalizacija objekata dravskih elektrana** Ladislav Tomšič, dipl. ing.
12. **Informacijsko i telekomunikacijsko povezivanje u centru vođenja i obrade podataka objekata dravskih elektrana prema izvedenom projektu revitalizacije** Ferdo Valenčak, dipl. ing.

Nakon drugoga dana organiziranje posjet i razgledavanje HE Fala, najstarije veće hidroelektrane u Sloveniji, gdje je urađena prva faza revitalizacije elektrana na rijeci Dravi.
Savjetovanju je prisustvovalo 65 prijavljenih sudionika i veći broj studenata Tehničkog fakulteta u Mariboru.
O cjelokupnoj tematici vrlo širokog opsega problematike zaštite od udara munje vođena je vrlo živa i opsežna rasprava i izmjena iskustava — uz brojna pitanja.
U prvom predavanju, uz brojne i vrlo informativne informacije u dijagramima i videosnimkama, prikazan je najnoviji program praćenja munja i udara, s posebnim senzorima, u SAD.
Prof. dr. M. Babuder dao je u svom predavanju dosta opširan prikaz svoje doktorske disertacije (obranjene u Zagrebu) o vrlo povoljnim karakteristikama ZnO-varistora za zaštitu od udara munje u elektroenergetskoj tehnici, posebice na dalekovodima. Osnovni zaključak može se izraziti tako »da je odzvonilo« konvencionalnim odvodnicima u suvremenim sustavima zaštite.
U referatu mr. V. Murka vrlo je potanko i s brojnim dijagramima i ilustracijama prikazan niz kombinacija različitih zaštitnih elemenata za zaštitu od udara munje, posebice u objektima i sustavima s osjetljivim elektronskim uređajima.
U referatima iz područja standardizacije dan je prikaz tekućeg stanja i rada na izradi propisa i standarda u oblasti zaštite od munja. Možda treba naglasiti zajednički zaključak da još nisu dokraja jasno određeni svi putovi i načini izrade propisa i standarda (osim osnovnog usmjerenja da će se primijeniti zahtjevi IEC-a) kao i to da je valjanost JUS-standarda i propisa produžena do kraja 1995. godine.
Suautor prikaza uporabe standarda IEC-a u Europi (dr. ing. P. Hasse) na žalost nije zbog spriječenosti došao ali je poznati praktičar zaštite od munja, posebice u elektroenergetskim sustavima i uređajima, Dr. J. Pungerl dao kraći osvrt na tu tematiku.
B. Žitnik predstavio je pak vrlo detaljno, i uz brojne ilustracije, zahtjeve, uvjete i mogućnosti praktične izvedbe cjelokupne zaštite od udara munje u skladu s novim IEC standardima IEC 1024.
Kao informacijsko »gradivo« i toj temi, kao i samog savjetovanja, sudionici su dobili knjigu tog autora (B. Žitnika) s naslovom »Zunanja in notranja zaščita pred prednapetostnimi«.
Knjiga ima 190 stranica, 144 slike, izdanje je Slovenskog društva za geoelektriku, statičku elektriku i gromobrane (1994. god.). U knjizi su podrobnije obrađena ova poglavlja: Uzroci opasnosti za uništenje elektronskih elemenata. Pregled uzroka prenapona s granicama parametara. Koncept zaštite od utjecaja udara munje i od prenapona. Vanjska zaštita od udara munje. Izjednačenje potencijala. Unutarnja zaštita od prenapona. Zaštita od prenapona u srednjonaponskim mrežama. Sistem zaštite od prenapona. Zaštita od prenapona u NN mrežama i uređajima. Zaštita telekomunikacijskih uređaja i sustava od prenapona. Zaštita računalskih uradaja i sustava. Potrebni uvjeti uspješnog izvođenja zaštite od prenapona. Sistematika izvođenja prenaponske zaštite i kontrola.
Posebice treba spomenuti glavne sadržaje pitanja i rasprava o prektičnim problemima zaštite od munja. Još ima nedoumica o uzemljivanju i povezivanju s drugim instalacijama TV antena; predloženo je čak da se tom problemu posveti zaseban referat na sljedećem savjetovanju. Još i dalje se u praksi pojavljuje problem koordinacije izvođača objekata i izvođača instalacija — posebice električnih i zaštitnih. Dosta je bilo i pitanja o cijeni sigurne zaštite od munje, i to i manjih objekata — najviše, dakako, samostojećih kuća.
Za prikaz djelatnosti Tehničkog fakulteta u Mariboru vrijedno je spomenuti da ima oko 3 000 studenata, što predstavlja oko 40 % Sveučilišta u Mariboru.
Za revitalizaciju elektrana na rijeci Dravi zanimljivo je pak navesti da je riječ o suvremenom projektu uz međunarodnu pomoć, kao i to da je projektom predviđeno povećanje snage elektrana od 11 % godišnje.
Ovaj prikaz tematike predavanja, referata i prikaza kao i rasprava oproblematici tog savjetovanja može svakako poslužiti elektroenergetskim stručnjacima i djelatnostima u predmetnom području elektrotehničke prakse i znanosti u našoj republici kao poticaj za slične akcije i rad u području zaštite od udara munje. To toliko više sa stajališta uvijek prisutne opasnosti od čak razornih djelovanja munje — kao što je bilo u primjeru 11 udara munja u Rogoznici početkom ožujka 1994. god. s vrlo teškim posljedicama i štetama gotovo katastrofalnog značenja, o čemu je već dosta detaljno izvijestio. A. Sekso iz »Instituta za elektroprivredu« u »Vjesniku« (u ožujku i travnju 1994. god.).

Dr. Zvonimir Krulc, Zagreb

UDK 621.31

ENJAAC 43 (6) — (1994) 323 – 418

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 43 (1994) Zagreb 1994 Br. 6

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Đuro *Stanković,* dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zdenka *Jelić,* prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Slavica *Barta,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb — Anđelko *Dujmović,* dipl. inž., Direkcija za distribuciju, Osijek — Bruno *Šaina,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Prijenosno područje Opatija — Marijan *Kovač,* dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, PP Primorskog sliva, Tribalj — mr. Damir *Subašić,* dipl. inž., Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko *Cvetković,* dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić,* prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. Goran *Granić,* dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl,* dipl. inž. — »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić,* dipl. inž. — »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković,* dipl. inž. — »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić,* dipl. inž. i Dasenko *Baldasari,* dipl. inž. — »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović,* dipl. ecc., Mladen *Mandić,* dipl. ecc. i Marijan *Magdić,* dipl. ecc. — »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša,* dipl. inž. — »Informatika«, Nikola *Lastrić,* dipl. inž. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko *Mališ* — Lektor — Lingvistic Adviser: Vladimir *Strojny,* prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko,* dipl. inž.

Redakcija završena 1994 — 12 — 06

SADRŽAJ

Tonković Z.: Značenje »Otočne veze 110 kV« Melina /Senj. . . Zadar (Pregledni članak) 327

Tomasović I. — Šaina B. — Čerina P.: Izbor podmorskih i kopnenih energetskih kabela »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak) 335

Perak I. — Bobanović A.: Podmorski optički kabel za Otočnu vezu (Pregledni članak) 345

Savićević J.: Podmorski i podzemni energetski kabeli 110 kV u projektu Otočna veza (Pregledni članak) 349

Đurđević D.: Projektiranje dalekovoda »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak) 359

Čerina P. — Mijić M. — Živković B.: Transport i polaganje podmorskih kabela »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak) . 373

Čerina P. — Despot I. — Krnić F.: Polaganje kopnenog kabela 110 kV Bili Brig — TS Zadar 1 (Pregledni članak) 379

Rumora I. — Saša S.: Telekomunikacijski sustav za vođenje objekata »Otočne veze 110 kV« iz CDU Bilice (Pregledni članak) 383

Čerina P. — Šaina B.: Utjecaj načina polaganja podmorskih jednožilnih kabela na elektrokoroziju metalnog plašta (Pregledni članak) 389

Čerina P. — Senjanović P.: Snimanje položenih podmorskih kabela »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak) 393

Tollerz O.: ABB — visokonaponski kabeli (Pregledni članak) . . 397

Čerina P. — Delavia N. — Šaina B.: Oprema za popravak i polaganje podmorskih kabela (Pregledni članak) 403

Iz strane stručne literature 407

Fotografije na omotnoj strani i u člancima
PETAR ČERINA

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Avenija Vukovar 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 625-328 i 625-111/328, telefax: 041/530-604

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 40 DEM, a za poduzeća i ustanove 80 DEM (za studente 20 DEM). Cijena pojedinog broja u prodaji 8 DEM.

Pretplata je iskazana u DEM, a uplaćuje se u dinarskoj protuvrijednosti na dan uplate.

Za inozemstvo $ 95 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI.
   Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A—4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove.** Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
   — **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
   — **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
   — **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
   — **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.
   Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originaljnaja naučnaja rabota, original scientific, paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

— ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
— ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenie, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionaljnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su: Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

RIJEČ GENERALNOG DIREKTORA HEP-a



Ovaj specijalni broj ENERGIJE posvećen je Otočnoj vezi koja na naponu 110 kV povezuje TS 400 / 220 / 110 kV Melina sa Zadrom preko otoka Krka, Raba i Paga.

Moglo bi se postaviti pitanje zašto ovoj vezi posvetiti specijalni broj kada to i nije prva otočna veza realizirana u nas. Pa ipak zato ima nekoliko razloga. Prvenstveno ta veza je spojila odvojeni dio dalmatinskog elektroenergetskog sistema s ostalim dijelovima Hrvatske i omogućila dvostruko napajanje područja Zadra, tako teško pogođenog redukcijama tijekom domovinskog rata. Ova veza je zatim realizirana u izvanredno kratkom roku i teškim ratnim uvjetima pri čemu nije bilo zanemarivo iskustvo iz već realiziranih otočnih veza. Nadalje, iako forsirana kao interventni objekt, ova se veza uklapa u dugoročni plan razvoja hrvatskog elektroenergetskog sistema što joj daje naročiti značaj u uvjetima ograničenih financijskih mogućnosti HEP-a.

Konačno ovaj specijalni broj ENERGIJE ostaje kao trajni dokument jedne uspjele akcije HEP-a i izvanrednog zalaganja svih sudionika, od naših iseljenika, koji djelomično financiraju ovaj projekt, do projektanata, domaćih i stranih isporučilaca opreme i izvođača radova. Specijalisti će sigurno naći interesantna rješenja kako u području kabelske tehnike, tako i u području nadzemnih vodova, postrojenja, kontrole i telekomunikacija.

Damir Begović

ZNAČENJE OTOČNE VEZE 110 KV MELINA/SENJ ... ZADAR

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

Iznose se i interpetiraju rezultati modelskih analiza utjecaja »otočne petlje«, tj. zatvaranja kraka mreže 110 kV preko sjevernojadranskih otoka i njezine potpore s kontinenta na opskrbu južne Hrvatske električnom energijom.

Ključne riječi: mreža 110 kK, opskrba otoka električnom energijom.

1. UVOD

Zatvaranje grane 110 kV preko sjevernojadranskih otoka Krka, Raba i Paga i njihovo povezivanje s kontinentalnom mrežom — analogno onom preko Brača, Hvara i Korčule — nalazi se, s različitim intenzitetom i varijantama, u srednjoročnim planskim dokumentima već barem desetak godina.

Razina dosegnutog konzuma i njegovo značenje donijeli su napon 110 kV na Lošinj (1989) i na Rab (1993), oba otoka koji se radijalno napajaju s Krka. Postojali su s druge, »splitske« strane TS 110/35+20 kV Nin (1990), s nepotpunim značenjem u mreži, kao i 20-ak km DV 110 kV između Novalje i Paga (izgrađenog 1980), u pogonu pod 10 kV (kao jedinstven slučaj u tadašnjoj jugoslavenskoj mreži). Nerazvijena mreža godinama je sprečavala razvitak otoka Paga (držeći ga na oko 8 MVA: ne dopuštajući nove priključke). U taj kompleks ulazio bi i DV 110 kV Lički Osik-Karlobag u pogonu pod 35 kV (od svoje izgradnje 1981).

Potreba da se pomogne u opskrbi električnom energijom južne Hrvatske — koja se zbog posljedica srpske okupacije i prekinutog jedinstva prijenosne mreže u rujnu 1991. našla izolirana u otočnom pogonu — promijenila je postojeće planove i nametnula prvenstvo izgradnji i konzistentnom zatvaranju poteza Rab — Nin — Zadar.

Stoga je na brojnim stručnim savjetima višestrano prostudirana i prodiskutirana evolucija otočnog podsistema. U novim okolnostima time se omogućuje: (a) sigurnost (iz perspektive ratne ugroženosti) i dvostrano napajanje zadarskog i paškog konzuma, za koje će, doduše, trebati rekonstruirati potez Bilice — Zadar, (b) rasterećenje elektrana u tom izoliranom dijelu sistema (s proizvodnjom potpuno ovisnom o hidrologiji), (c) plasman eventualnih viškova (ne treba zaboraviti injekciju HE Dubrovnik i sanaciju HE Peruča), (d) kvalitetna rezerva Rabu.

No od idejnog rješenja do puštanja u pogon — koji se očekivalo potkraj srpnja 1994. — protekle su tri godine. Od sjednice i načelne odluke Upravnog odbora HEP-a 27. VII. 1991. intenzivno se odvijalo nekoliko paralelnih studijskih, istražno-pripremnih, projektantskih i investicijsko-financijskih aktivnosti, (koje su omogućile da se u kolovozu 1993. »otočna veza« uvrsti u interventni program hrvatske Vlade i da UO HEP-a odnose odluku o izgradnji.

U ovom izlaganju žele se iznijeti samo rezultati zaključne studije »Značenje grane Karlobag — Novalja za »otočku petlju« Melina — Nin« Instituta za elektroprivredu i energetiku (Zagreb, listopada 1993) [1], koja je iz perspektive konačnog rješenja rekapitulirala spoznaje prijašnjih tematskih radova 1991-93, prije svega »Studije izvedivosti 110 kV veze od TS 400/220/110 kV Melina preko otoka Krka, Raba i Paga do TS 110/35 kV Zadar 1« (s dopunama) iz studenoga 1991. i »Energetsko-pogonskih prilika u relevantnom dijelu elektroenergetskog sustava u slučaju izgradnje DV 220 kV Senj — Zadar — Bilice« iz ožujka 1993. **Iz cjelovitog rješenja ispitivanog u [1] lako se prelazi na neposredno aktualnu tzv. »nultu etapu« odspajanjem »ličke grane«.**
Kada ovaj prilog bude objavljen, već će se moći ponašanjem mreže i mjerenjima iz »živoga pogona« verificirati rezultati koje ovdje iznosimo.

2. ELEKTROENERGETSKE PODLOGE

2.1. Potrošnja

Promatrana je ostvarena potrošnja i njezina očekivana neposredna budućnost:
za kontinentalnu Hrvatsku (koja nema veći utjecaj na promatrani, primorski dio sistema) prema studiji »Razvoj prijenosne mreže na području Elektroprivrede Hrvatske u razdoblju 1988/89–2010. godine« Instituta za elektroprivredu i energetiku, 1990. (uzet je presjek potrošnje nazivne 1990. (maksimalnu istodobnu potrošnju Hrvatske 2 600 MW), te
za primorsku Hrvatsku — prema ostvarenim (neistodobnim) maksimalnim potrošnjama 1992 — orijentacijski prema »Izvještaju o poslovanju u 1992. godini« Direkcije za upravljanje i prijenos Hrvatske elektroprivrede i »Elektroenergetskoj bilanci za 1993. godinu« Hrvatske elektroprivrede.

Prema tim očekivanjima ukupna je potrošnja splitskog prijenosnog područja oko 500 MW.

Raspodjela potrošnje po modeliranim čvorištima uže promatranoga dijela sistema dana je u tablici 1.

Tablica 1.

	MW	Mvar
Crikvenica	19	7
Vinodol	18	7
Krk	13	5
DINA	18	6
Lošinj	10	4
Senj	3	1
Rab	10	4
Novalja	6	2
Otočac	10	5
Karlobag	2	1

	MW	Mvar
Biograd	9	4
Nin	10	4
Zadar	37	15*
Bilice	81	25
Meterize	44	18
Sućidar	77	31
Kaštela	54	22
Trogir	15	6
Kraljevec	1	1
Makarska	17	7
Sinj	21	9
Dugi Rat	70	30
Nerežišća	10	4
Starigrad	10	4
Komolac	25	10
Ston	12	6**
Blato	10	4
Dalmacija	503	200

* Nisu uključene kondenzatorske baterije (4 × 4,16 Mvar).
**S davanjem Hercegovini. U egzaktnom modelu trebalo bi potrošnji »splitskog« područja pridodati još i Opuzen.

Ostali dio potrošnje Hrvatske modeliran je na razini čvorišta superponirane prijenosne mreže prema rezultatima i modifikaciji već navedena studije »Razvija prijenosne mreže...«

2.2. Proizvodnja

U uže promatranome primorskom dijelu sistema proizvodnja je polazno pretpostavljena gotovo točno prema onoj u doba maksimalne potrošnje 1992. (31. XII. 18. sati: maksimalna potrošnja Hrvatske 2 070 MW), ali s jednim generatorom HE Dubrovnik uključenim u međuvremenu (tablica 2).

Dakle, elektroenergetski otok »splitskoga prijenosnog područja« polazno je uravnotežen (što uključuje gubitke u prijenosnoj mreži) prema sadašnjoj realnoj situaciji.

Angažiranje jalove snage određeno je na temelju zabilježenoga naponskog profila u nekim generatorskim čvorištima pri maksimalnoj potrošnji sistema. Spomenimo da se u postrojenju DINA Omišalj nalaze gneratori za podmirivanje vlastite potrošnje izostane li napajanje iz prijenosne mreže: 2 × 14 MVA, cos ∅ = 0,8, kojima interveniramo u nekim pogon-

Tablica 2.

	MW	Mvar
HE Vinodol	80	0
HE Senj	216	33
HE Sklope	23	0
TE Rijeka	203	0

	MW	Mvar
HE Orlovac	150	30
HE Đale	16	0
HE Zakučac	270	90
HE Dubrovnik	80	0
Dalmacija	516	120

skim stanjima (pri preopterećenju kabela Crikvenica — Krk).

U TS 110/35 kV Zadar postoje na niženaponskoj strani priključene kondenzatorske baterije 4 (ispravno 3) × 4,16 Mvar, a u TS 220/110/10 kV Bilice priključeno je na tercijar 5 × 13,5 Mvar.

3. MREŽA

Modelirano je aktualno stanje mreže 380 kV i 220 kV na području Hrvatske i Slovenije (s potrošnjom osječkoga prijenosnog područja reduciranom na Mraclin), te mreža 110 kV kvarnersko-ličkoga dijela riječkoga prijenosnog područja (s otocima) i cijeloga splitskog područja. Taj je model prikazan na sl. 1.

Podmorski kabeli između otoka Raba i Paga te Paga i kopna pretpostavljeni su polazno 3 × (1 × 300) Cu s umreženim polietilenom (XLPE), a kabelska dionica trase Nin — Zadar 1 kao XLPE 3 × (1 × 100) Al[1].

4. ISPITIVANJA

Prijenosna mreža ispitivana je na izloženom modelu elektroenergetskog sistema računskim strojem.

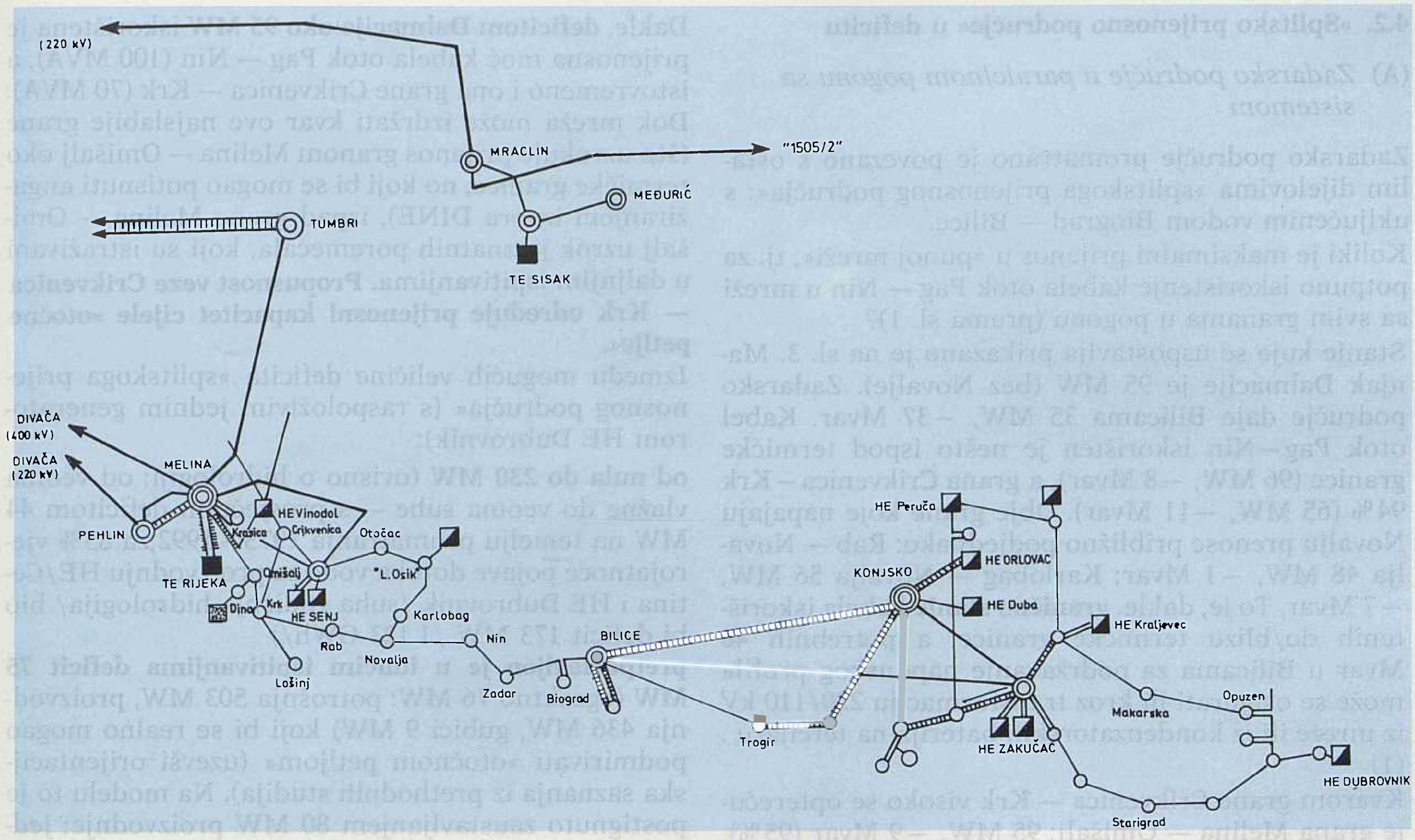
Provjeravana je deterministički prema uobičajenom kriteriju ispada jedne grane sistema (n-1), što je primjereno promatranom problemu.

Prema prirodi zadatka glavni su uvjeti koje sistem mora zadovoljavati pri neraspoloživosti (kvaru) jedne grane mreže sljedeći:

— naponi u čvorištima moraju ostati u dopuštenim granicama: 95 kV — 123 kV, 198 kV — 245 kV, 360 kV — 420 kV
— opterećenje vodiča ne smije prelaziti termičku granicu;
za nadzemne vodove (i presjeke u promatranom podsistemu):

150/25 Al/Č	440 A	85 MVA,
240/40 Al/Č	605 A	115 MVA,
150 Cu	480 A	90 MVA,

[1] Napomenimo da su upravo prema rezultatima »srodne« studije [1] pojačani presjeci kabela između otoka Paga i kopna (Nina i Karlobaga). [2] Dodajmo još jednu argumentaciju za veći presjek: eventualni izvoz energije iz Dalmacije.



Slika 1. Modelirana mreža

a za kabele uzeti su podaci proizvođača, koje navodimo za prijenosno limitirajuću dionicu grane:

150 Cu 365 A 70 MVA (Crikvenica – Krk)

300 Cu 525 A 100 MVA (»otočna petlja«: Melina – Nin)

1 000 Al 740 A 140 MVA (Nin – Zadar 1).

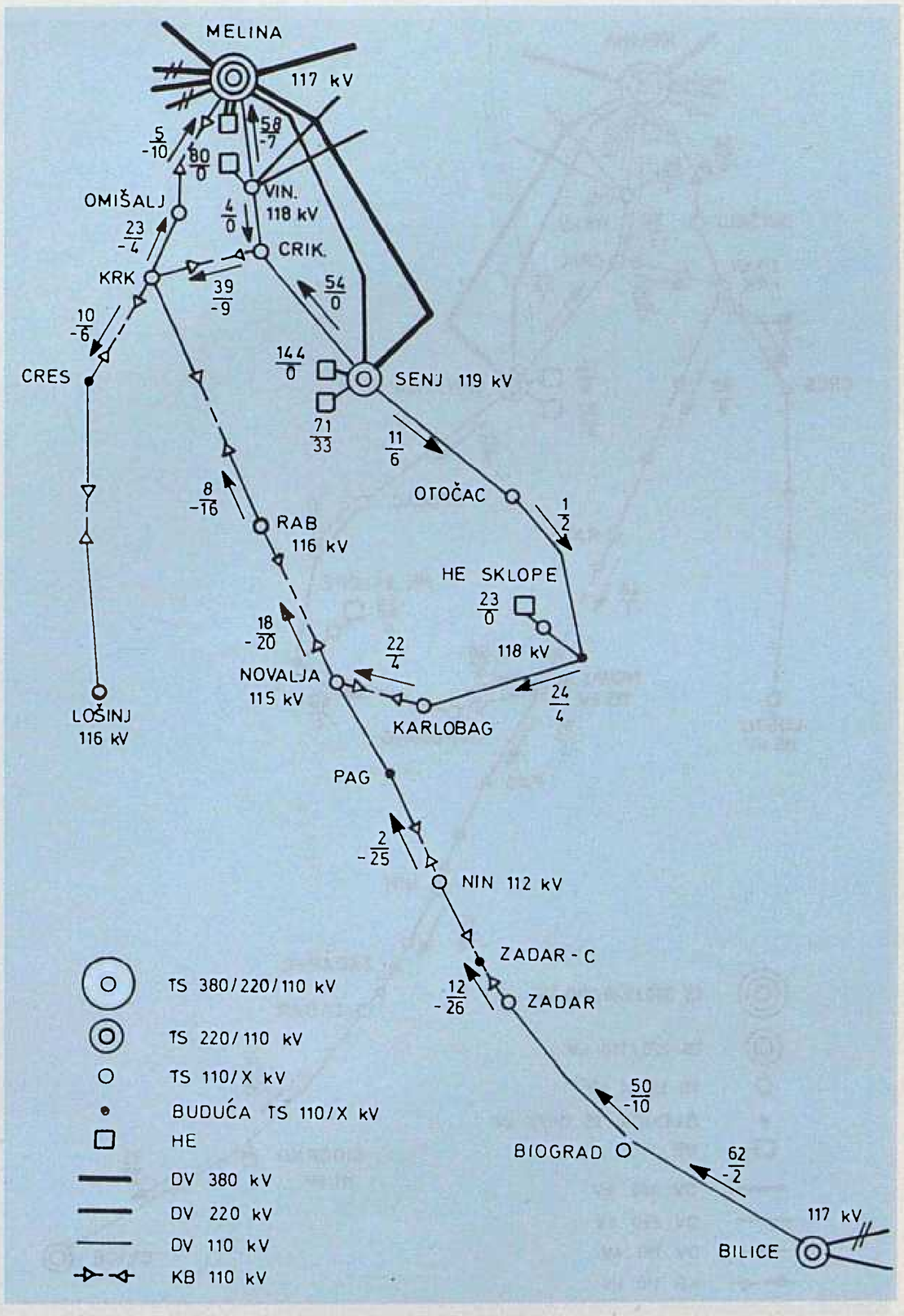
4.1. Uravnotežena bilanca »splitskoga prijenosnog područja«

Početno su nove grane »otočne petlje« i potpore iz Karlobaga interpolirane u sistem s uravnoteženom bilancom splitskoga prijenosnog područja (egzaktno je višak Dalmacije 2 MW: potrošnja 503 MW, proizvodnja 516 MW, računski gubici na modelu 11 MW (sl. 2).

Prema očekivanju, u ovakvom stanju sistema praktički nema razmjene granom Novalja — Nin. Vod Bilice — Biograd iskorišten je 73%.

Ako ne bi bilo potpore »otočne petlje«, opterećenje voda Bilice — Biograd bilo bi oko oko termičke granice pri ispadu grane između Krka i Raba (konzum čvorišta na potezu Biograd — Rab: 72 MW): 80 MW, 34 Mvar; posljedice isključivanja preopterećenog voda su jasne.

Iz ovog ispitivanja slijedi zaključak o sigurnosnoj ulozi grane Karlobag — Novalja (kao rezervi za granu Krk — Rab, ali jednako tako i za napajanje ličkog područja).



Slika 2. »Puna mreža«, uravnotežena bilanca Dalmacije

4.2. »Splitsko prijenosno područje« u deficitu

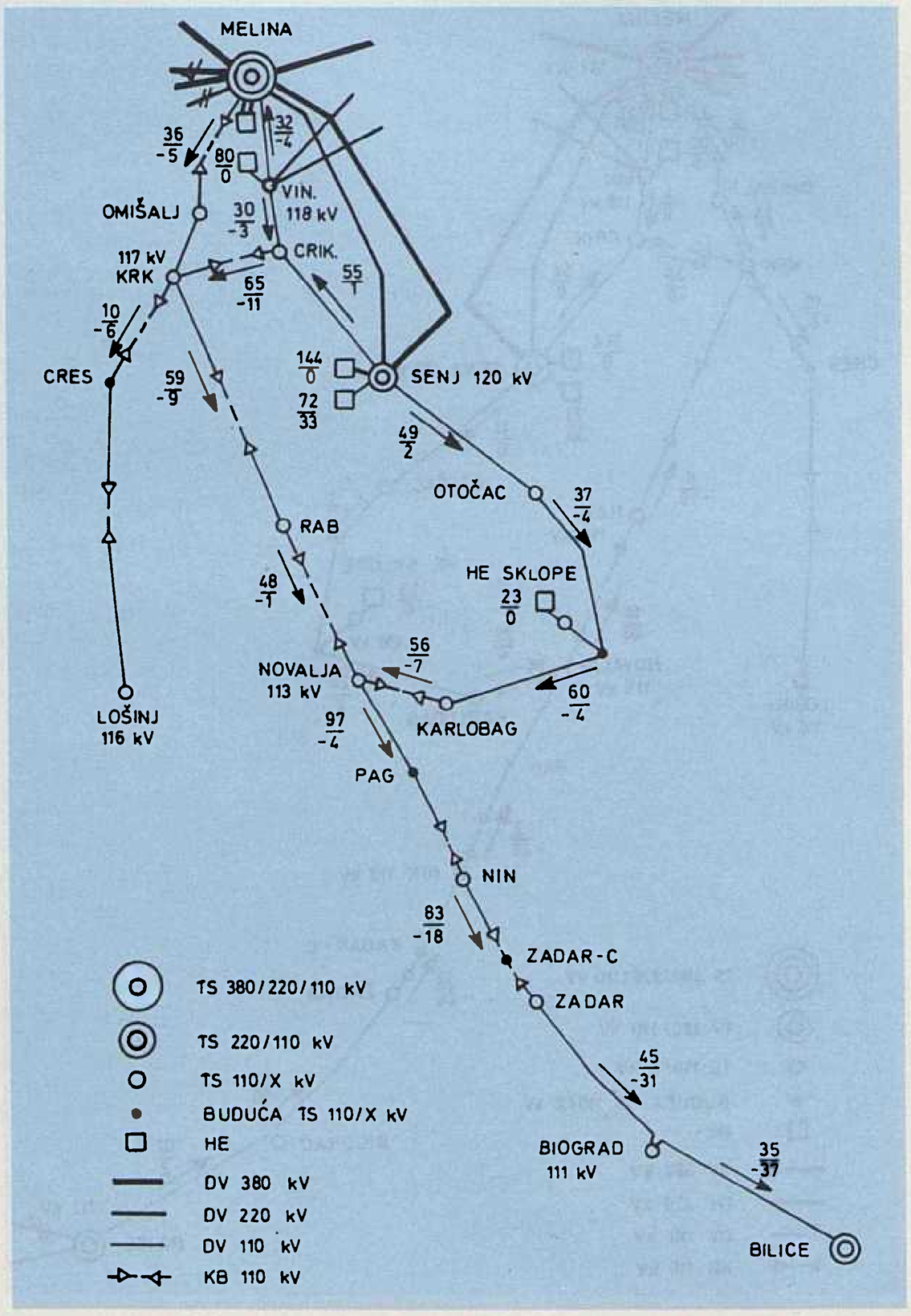
(A) *Zadarsko područje u paralelnom pogonu sa sistemom*

Zadarsko područje promatrano je povezano s ostalim dijelovima »splitskoga prijenosnog područja«: s uključenim vodom Biograd — Bilice.

Koliki je maksimalni prijenos u »punoj mreži«, tj. za potpuno iskorištenje kabela otok Pag — Nin u mreži sa svim granama u pogonu (prema sl. 1)?

Stanje koje se uspostavlja prikazano je na sl. 3. Manjak Dalmacije je 95 MW (bez Novalje). Zadarsko područje daje Bilicama 35 MW, −37 Mvar. Kabel otok Pag−Nin iskorišten je nešto ispod termičke granice (96 MW, −8 Mvar), a grana Crikvenica−Krk 94% (65 MW, −11 Mvar). Obje grane koje napajaju Novalju prenose približno podjednako: Rab — Novalja 48 MW, −1 Mvar; Karlobag — Novalja 56 MW, −7 Mvar. To je, dakle, **granično stanje** kabela iskorištenih do/blizu termičke granice, a potrebnih 40 Mvar u Bilicama za podržavanje naponskog profila može se osigurati ili kroz transformaciju 220/110 kV iz mreže ili iz kondenzatorskih baterija na tercijaru . (1)

Kvarom grane Crikvenica — Krk visoko se opterećuje grana Melina — Omišalj: 95 MW, −9 Mvar (95%), a ako ne bi radile HE Sklope onda je i 5% preopterećena (105 MW, −6 Mvar).



Slika 3. »Puna mreža«, maksimalni prijenos u Dalmaciju

Dakle, **deficitom Dalmacije oko 95 MW** iskorištena je prijenosna moć kabela otok Pag — Nin (100 MVA), a istovremeno i ona grane Crikvenica — Krk (70 MVA). Dok mreža može izdržati kvar ove najslabije grane (što uzrokuje prijenos granom Melina — Omišalj oko termičke granice, no koji bi se mogao potisnuti angažiranjem izvora DINE), ispad grane Melina — Omišalj uzrok je znatnih poremećaja, koji su istraživani u daljnjim ispitivanjima. **Propusnost veze Crikvenica — Krk određuje prijenosni kapacitet cijele »otočne petlje«.**

Između mogućih veličine deficita »splitskoga prijenosnog područja« (s raspoloživim jednim generatorom HE Dubrovnik):

od nula do 230 MW (ovisno o hidrologiji: od veoma vlažne do veoma suhe — s prosječnim deficitom 44 MW na temelju promatranja 1973 – 1992;za 85% vjerojatnoće pojave dotoka vode za proizvodnju HE/Cetina i HE Dubrovnik /suha godišnja hidrologija/ bio bi deficit 173 MW /1 123 GWh/)

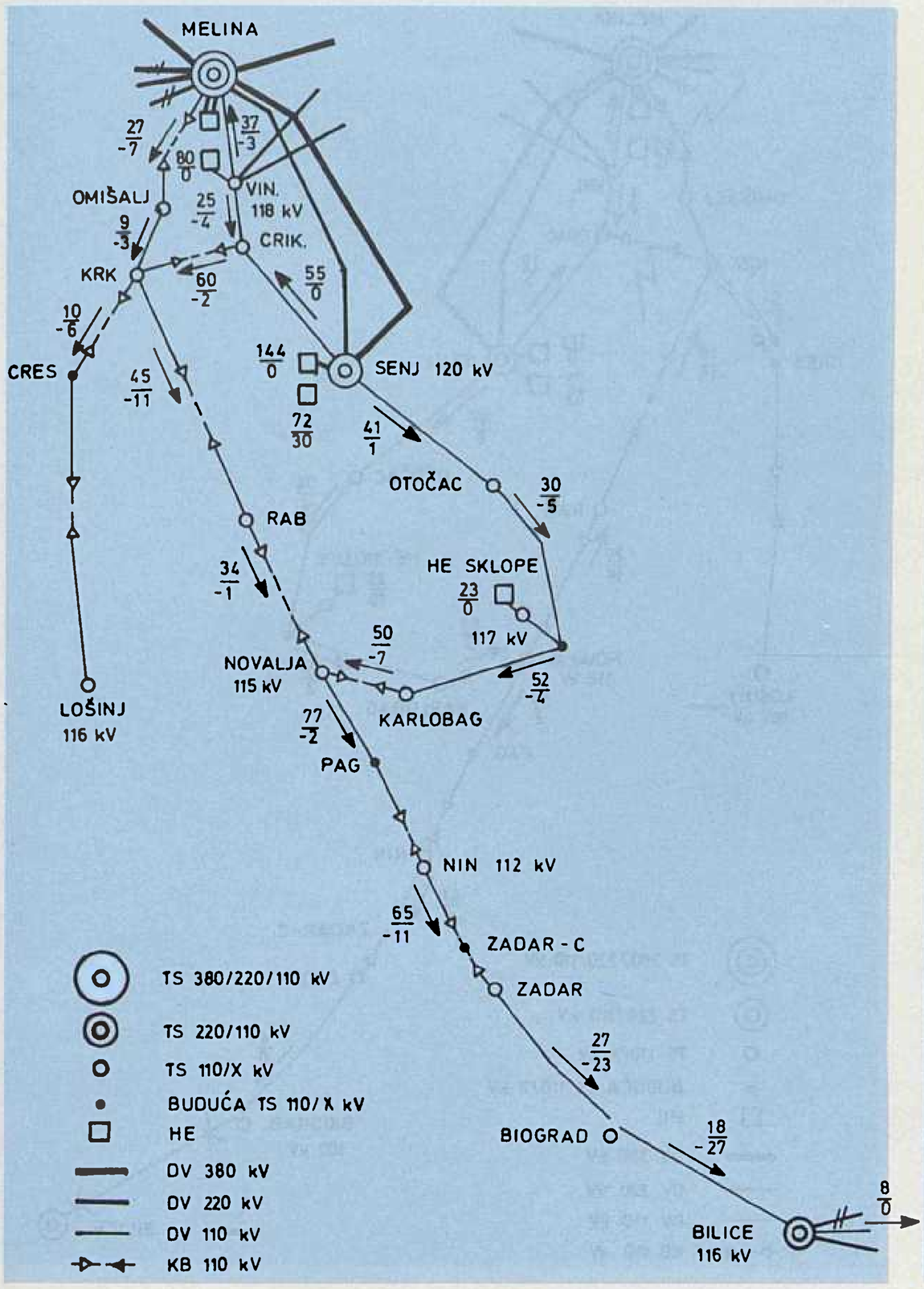
pretpostavljen je u idućim ispitivanjima deficit 75 MW (egzaktno 76 MW: potrošnja 503 MW, proizvodnja 436 MW, gubici 9 MW) koji bi se realno mogao podmirivati »otočnom petljom« (uzevši orijentacijska saznanja iz prethodnih studija). Na modelu to je postignuto zaustavljanjem 80 MW proizvodnje: jednog generatora u HE Orlovac ili neraspoloživošću HE Dubrovnik (napon u Komolcu time odmah pada na 89 kV, pa je kao prefirirana uzeta prva mogućnost).

Na promatranom potezu uspostavljaju se tokovi snaga i naponi kako je prikazano na sl. 4 (analogna sl. 3, samo za manji deficit Dalmacije).

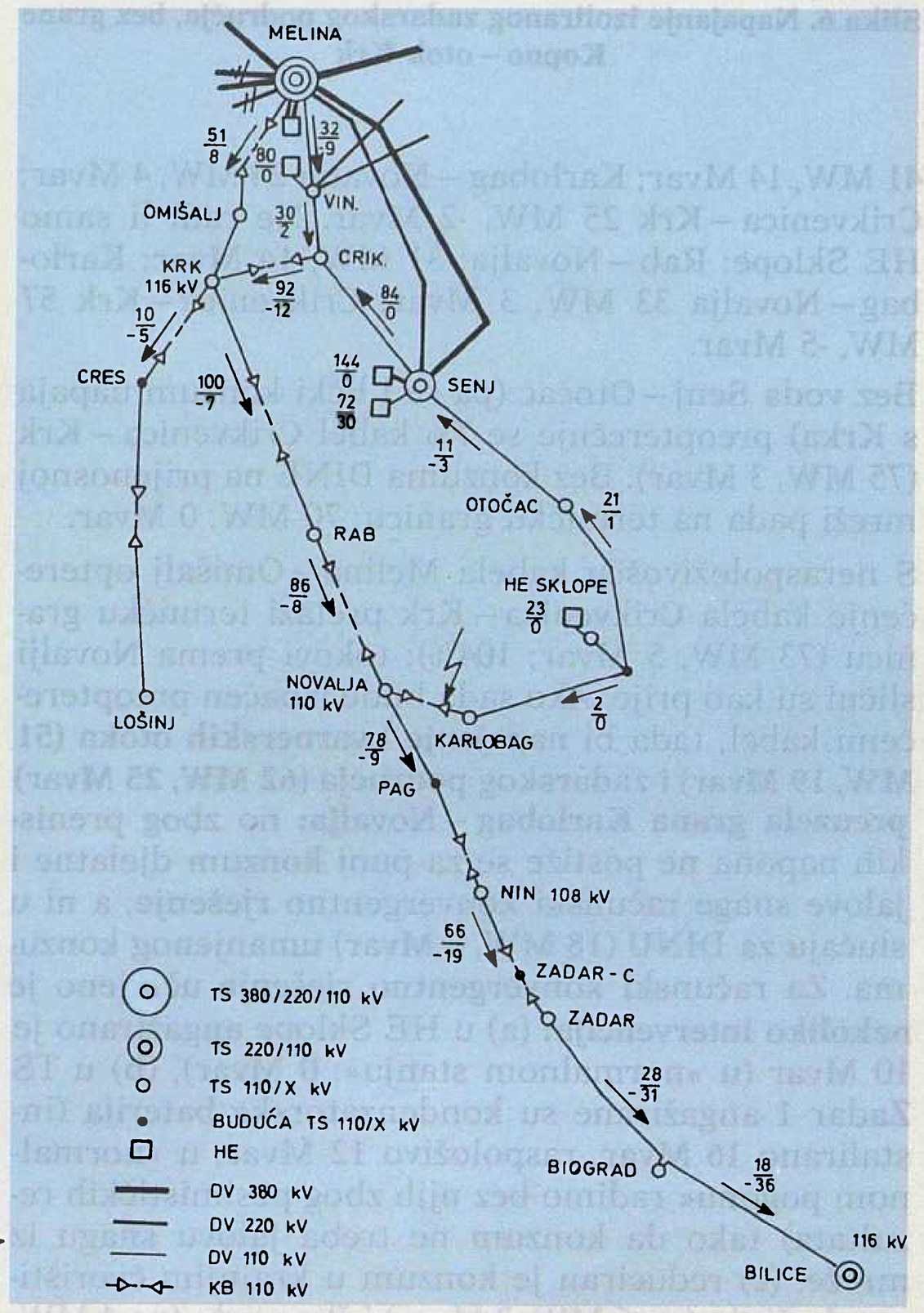
Kakav je utjecaj HE Sklope? Ako nisu angažirane pada prijenos granom Karlobag – Novalja na 40Mvar, a za toliko se povećava na grani Rab – Novalja: 44 MW, -2 Mvar (no sada je već kabel Crikvenica – Krk iskorišten 91%: 62 MW, -11 Mvar). Povećan je i prijenos vodom Senj – Otočac: 55 MW, 2 Mvar.

U stanju prema sl. 4, evidentno je da će za ispadom grane Melina – Omišalj biti isključena grana Crikvenica – Krk: u ovakvoj situaciji ne postiže se računski konvergentno rješenje[2]. Uključivanjem kondenzatorskih baterija u Zadru (kompenzirana imaginarna komponenta konzuma TS Zadar 1) i podmirivanjem potrošnje DINE vlastitim izvorima (nema konzuma na prijenosnoj mreži) postiže se rješenje, ali je stanje pogonski neodrživo zbog preopterećenja voda Senj – Otočac 133 MW, 20 Mvar (158%) i dalje cijelog poteza do Novalje. Biograd daje Bilicama 19 MW, -41

[2] Svejedno da li se radilo o slučaju (A) ili (B), pogonski događaj od 22. VIII. 1994. potvrđuje rezultate modelskih ispitivanja o nekoordiniranoj povezanosti otoka Krka s kopnom (na što se upozorava već 1986, od studije »Prijenosna mreža na području »Elektroprivrede« Rijeka u razdoblju 1986—2000. godine«, Institut za elektroprivredu, 1986). Toga dana po isključenju vodnog polja Omišalj 110 kV u TS Krk »i prekida veze Melina – Krk sav teret Dalmacije i otoka prolazi kabelom Crikvenica – Krk koji radi preopterećenja ispada iz pogona« (iz szvještaja). Nadstrujna zaštita na kabelu Crikvenica – Krk bila je postavljena je na 390 A (74 MVA) uz vrijeme isključenja 3 sek. Preudešenjem zatezanja vremenskog člana zaštite na kabelu Crikvenica – Krk na 20 min i signalom upozorenja koji slijedi nakon 3 sek (bez isključivanja prekidača) problem nije riješen, nego samo odgođen.
Ne znamo opterećenja, ali imamo za ilustraciju dijagram opterećenja za srijedu 10. VIII. u vodnom polju Pag u TS Rab: maksimum je 45 MW (između 11 i 12 sati).



Slika 4. »Puna mreža«, deficit Dalmacije 75 MW



Slika 5. Deficit Dalmacije 75 MW, bez grane Karlobag – Novalja

Mvar. Mrežu je potrebno sekcionirati (u Biogradu: sa smanjenjem prijenosa za konzum Biograda i davanja Bilicama pao bi prijenos ispod termičke granice).

Iz prijašnjih ispitivanja jasno je da sistem može izdržati ispad grane Crikvenica – Krk; pri sada promatranom deficitu Dalmacije od 75 MW bilo bi: Melina – Omišalj 81 MW, -12 Mvar; Karlobag – Novalja 56 MW, -9 Mvar; Senj – Otočac 49 MW, 1 Mvar. Ima rezerve i za neangažiranje HE Sklope: Senj – Otočac 63 MW, 2 Mvar.

Kvar na vodu Senj – Crikvenica podiže prijenos vodom Senj – Otočac na 52 MW, 0 Mvar (61%), a ako ne rade HE Sklope na 66 MW, 1 Mvar (78%). Toliko je iskorištena i grana Novalja – Nin.

Konačno, ako izostane potpora iz Karlobaga, preopterećena je 31% grana Crikvenica – Krk, sl. 5; njezinim isključenjem preopterećuje se 47% grana Melina – Omišalj (157 MW, -1 Mvar). Pokrivanje potrošnje DINE vlastitim izvorima ne eliminira ovo opterećenje: ostaje 26% (87 MW, -14 Mvar). To pokazuje da bi, za slučaj kada nema potpore »otočke petlje«, mrežu trebalo sekcionirati (otvaranje voda Biograd – Bilice). Bez grane **Karlobag – Novalja bilo bi moguće pokrivati oko 50 MW deficita Dalmacije (bez Novalje)**, uz podmirivanje konzuma DINE vlastitim izvorima: Crikvenica – Krk 72 MW, -16 Mvar (106%), Krk – Rab 68 MW, -10 Mvar (69%), Bilice – Biograd 8 MW, 18 Mvar (što znači da bi se ova veza mogla i otvoriti uz angažiranje kondenzatora u Zadru).

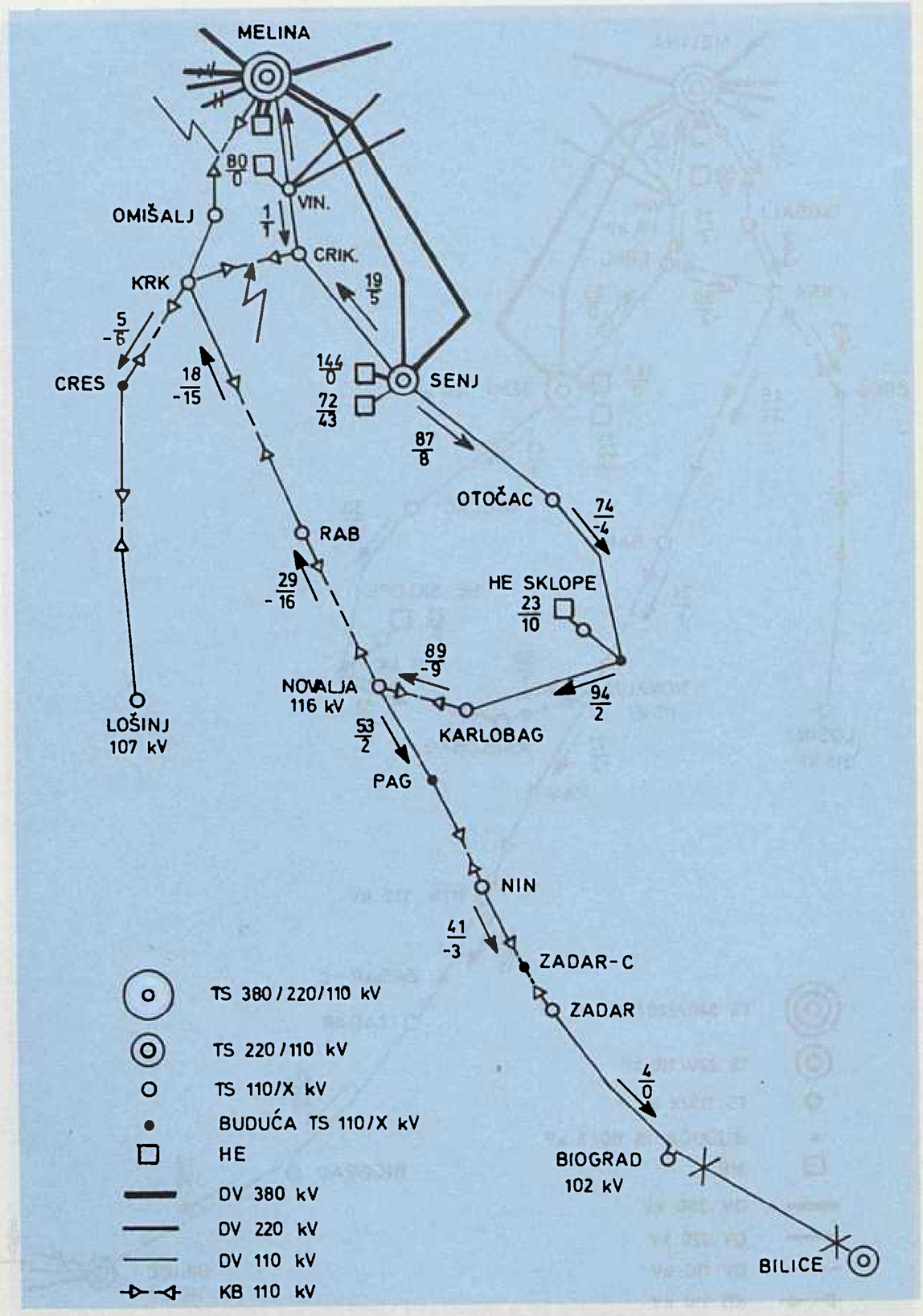
Koliko je najveći deficit Dalmacije moguće podmirivati prema kriteriju (n-1)? S obzirom na najslabiju granu, tj. prijenos granom Crikvenica – Krk (ispad grane Melina – Omišalj), pokazuje se da je to deficit Dalmacije oko 60 MW; praktički to je konzum zadarskog područja (u djelatnoj snazi; Bilice podupiru jalovom snagom).

Ako nema potpore granom Karlobag – Novalja i uz neraspoloživost grane Melina – Omišalj moguće je podmiriti deficit Dalmacije od oko 30 MW: Crikvenica – Krk 71 MW, -12 Mvar (bez konzuma Omišlja na prijenosnoj mreži), Bilice – Biograd 28 MW, 10 Mvar.

(B) *Sekcionirana mreža: zadarsko područje nema vezu s Bilicama*

Prekine li se veza s Bilicama (neraspoloživ vod Bilice – Biograd), dakle zadarsko se područje napaja s Paga, napon u Biogradu je 103 kV (u Zadru nisu uključene kondenzatorske baterije), Novalja daje Ninu 58 MW, 22 Mvar (Rab – Novalja: 22 MW, 13 Mvar; Karlobag – Novalja 43 MW, 3 Mvar). Grana Crikvenica – Krk iskorištena je 79% (54 MW, -6 Mvar).

Ako ne rade hidroelektrane HE Senj, HE Sklope i HE Vinodol dolazi do preraspodjele: Rab – Novalja:



Slika 6. Napajanje izoliranog zadarskog područja, bez grane Kopno – otok Krk

41 MW, 14 Mvar; Karlobag – Novalja 24 MW, 4 Mvar; Crikvenica – Krk 25 MW, -2 Mvar. Ne radi li samo HE Sklope: Rab – Novalja: 31 MW, 14 Mvar; Karlobag – Novalja 33 MW, 3 Mvar; Crikvenica – Krk 57 MW, -5 Mvar.

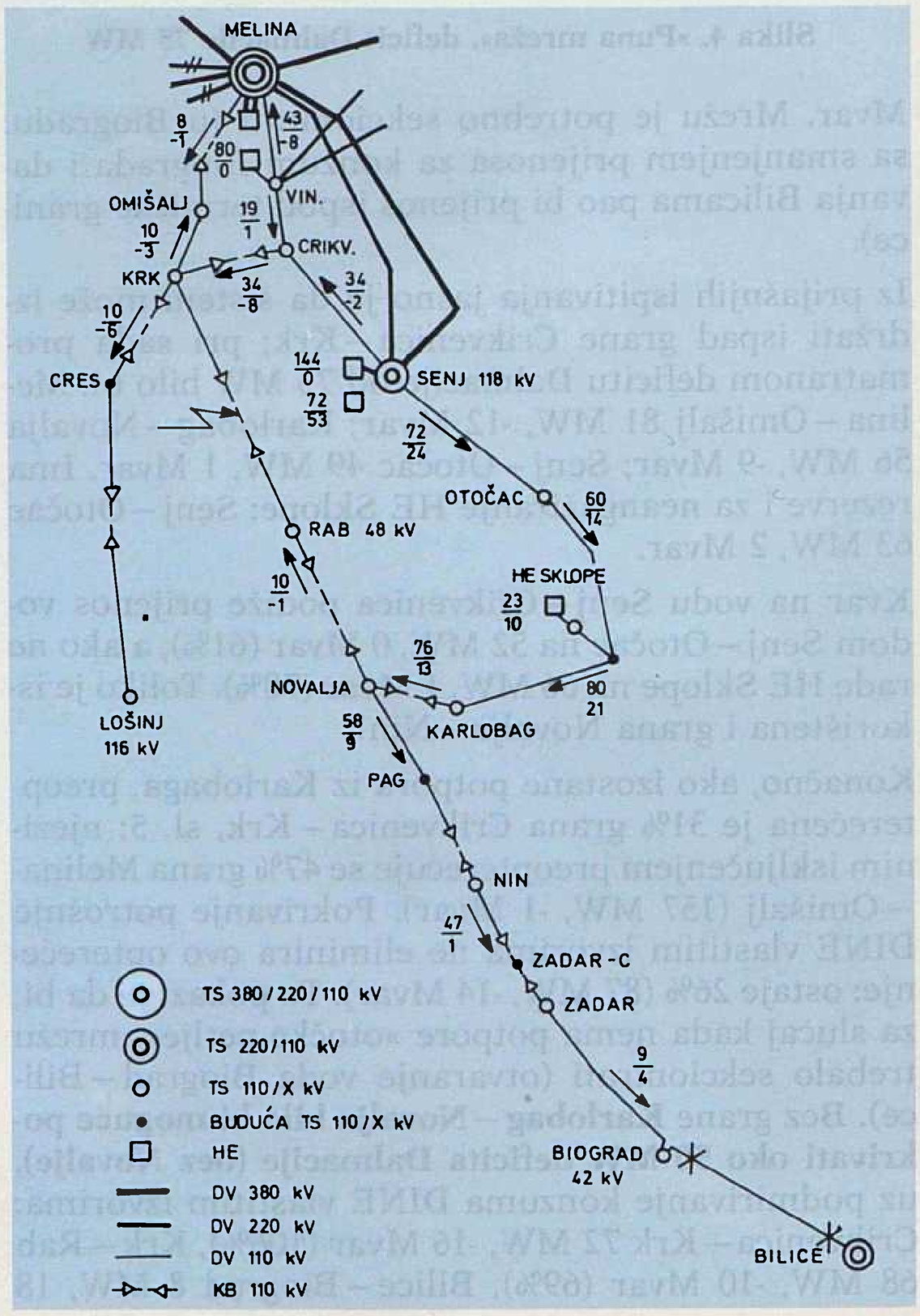
Bez voda Senj – Otočac (pa se i lički konzum napaja s Krka) preopterećuje se 7% kabel Crikvenica – Krk (75 MW, 3 Mvar). Bez konzuma DINE na prijenosnoj mreži pada na termičku granicu: 70 MW, 0 Mvar.

S neraspoloživošću kabela Melina – Omišalj opterećenje kabela Crikvenica – Krk prelazi termičku granicu (73 MW, 5 Mvar; 104%); tokovi prema Novalji slični su kao prije. Ako sada bude izbačen preopterećeni kabel, tada bi **napajanje kvarnerskih otoka (51 MW, 19 Mvar) i zadarskog područja (62 MW, 25 Mvar) preuzela grana Karlobag – Novalja:** no zbog preniskih napona ne postiže se za puni konzum djelatne i jalove snage računski konvergentno rješenje, a ni u slučaju za DINU (18 MW, 6 Mvar) umanjenog konzuma. Za računski konvergentno rješenje učinjeno je **nekoliko intervencija:** (a) u HE Sklope angažirano je 10 Mvar (u »normalnom stanju«: 0 Mvar), (b) u TS Zadar 1 angažirane su kondenzatorske baterija (instalirano 16 Mvar, raspoloživo 12 Mvar; u »normalnom pogonu« radimo bez njih zbog pesimističkih rezultata) tako da konzum ne treba jalovu snagu iz mreže, (c) reduciran je konzum u krajnjim čvorištima: Lošinju (na 5 MW, 2 Mvar) i Biogradu (na 4 MW, 1 Mvar). U ovakvoj elektroenergetskoj situaciji 3% prelazi termičku granicu prijenos vodom Senj – Otočac: 87 MW 8 Mvar, dok su najniži naponi: Biograd 102 kV, Lošinj 107 kV. (sl. 6).

Dakle, uz nešto reducirani konzum krajnjih čvorišta i podmirivanje DINE vlastitim izvorima te angažiranje kondenzatorskih baterija u TS Zadar 1, grana Karlobag – Novalja je rezerva za gubljenje obiju veza otoka Krka s kopnom (ispad grane Melina – Omišalj, i, posljedično, preopterećenje i isključenje grane Crikvenica – Krk).

U svakom slučaju osigurava granu Krk – Rab: bez nje ne dobiva se za osnovno stanje računski konvergentno rješenje. Potrebna je kompenzacija u Zadru (uključivanje kondenzatora): prijenos vodom Senj – Otočac je 72 MW, 24 Mvar (89%), a napon u Biogradu 92 kV (sl 7).

U drugoj seriji ispitivanja željelo se dobiti informaciju o situaciji bez grane Karlobag Novalja. Napon u Biogradu pada na 92 kV (s uključenim zadarskim kondenzatorskim baterijama: na 104 kV) a prijenos kabelom Krk – Rab je 79 MW, 23 Mvar (82%); preopterećen je kabel Crikvenica – Krk 82 MW, 3 Mvar (117%). Trebalo bi uključiti agregate za podmirivanje potrošnje DINE, i tada pada prijenos granom Crikvenica – Krk na 50 MW, -8 Mvar; 73%).



Slika 7. Napajanje izoliranog zadarskog područja, bez grane Krk – Rab

Prema tome, i u »normalnom stanju« grana Karlobag – Novalja bitno rasterećuje napajanje Krka (i dalje Raba i zadarskog područja).

5. ZAKLJUČAK

U studiji utjecaja potpore »otočne petlje« (Melina . . . Nin) s kopna (iz Karlobaga) rekapitulirane su spoznaje o mogućem doprinosu i značenju otočne veze 110 kV Melina/Senj . . . Zadar. U ovom Zaključku sažimamo glavne rezultate modelskih ispitivanja.

1. Testiranje sistema provedeno je s uravnoteženom potrošnjom i proizvodnjom Dalmacije (kao u otočnom pogonu), sa zadarskim područjem u paralelnom radu s ostalim dijelom sistema.
   Grana Karlobag – Novalja osigurava mrežu već pri ovoj uravnoteženoj bilanci Dalmacije za slučaj izostanka napajanja sa strane Raba, kada bi se sav zadarsko-ninski i rapski konzum (ukupno 72 MW) napajao iz Bilica.
   Isto tako osigurava i lički konzum za slučaj kvara voda Senj – Otočac.

2 **Pri planiranoj izgrađenosti mreže »otočna petlja« + potez Otočac – Novalja, u svim granama u pogonu moguće je podmirivati deficit Dalmacije do oko 100 MW (sa Novaljom).** To je maksimalni deficit koji bi se još mogao alimentirati ovakvom konfiguracijom — jer se potpuno iskorištavaju prijenosne mogućnosti kabela Crikvenica – Krk i otok Pag – Nin.
   Bez potpore »otočne petlje« iz Karlobaga maksimalno se može zadovoljiti deficit Dalmacije oko 60 MW (praktički konzum zadarskog područja).

3. Primjena kriterija (n-1) apriorno znači nižu razinu opterećenja mreže, pa je polazno pretpostavljen 25% manji deficit od onog maksimalnoga koji bi se još mogao napajati planiranom mrežom: 75 MW.
   Najprije je ispitano stanje sa zadarskim područjem u paralelnom radu s ostalim dijelom sistema (uključen vod Bilice – Biograd).
   Najteži kvar je ispad grane Melina – Omišalj koji povlači isključenje one Crikvenica – Krk (zbog preopterećenja). I kada se postigne računski konvergentno rješenje, stanje nije pogonski održivo zbog preopterećenja voda Senj – Otočac: problem se rješava izoliranjem zadarskog područja od ostatka Dalmacije.

4. Zbog mogućih razmjena zadarsko područje → ostali dio »splitskog prijenosnog područja«, koje utječu na opterećenje grana iz čvorišta ishodišnog napajanja (ponajprije ona Crikvenica – Krk, ali i Senj – Otočac), **treba mrežu sekcionirati otvaranjem voda Bilice – Biograd.**

5. I u sekcioniranoj mreži neraspoloživost kabela Melina – Omišalj uzrokuje preopterećenje kabela Crikvenica – Krk. Njegovim isključenjem preuzela bi napajanje kvarnerskih otoka (51 MW, 19 Mvar) i zadarskog područja (62 MW, 25 Mvar) grana Karlobag – Novalja. Za postizanje računski konvergentnog rješenja intervenirano je: (a) angažiranjem pune jalove snage HE Senj/110 kV i HE Sklope (u »normalnom stanju«: 0 Mvar), (b) uključenjem kondenzatorskih baterija u TS Zadar 1 (instalirano 16 Mvar, raspoloživo 12 Mvar; u »normalnom pogonu« radimo bez njih zbog pesimističkih rezultata), tako da konzum ne treba jalovu snagu iz mreže), (c) reduciranjem konzuma u krajnjim čvorištima (Biograd i Lošinj), te (d) podmirivanjem DINE vlastitim izvorima.

6. **Slijedi da je grana Karlobag – Novalja rezerva za gubljenje obiju veza otoka Krka s kopnom, te, ispitivanja pokazuju, jednako tako i za kvarove na potezu Krk – Novalja. Ona osigurava vezu riječkog i zadarskog područja.**

7. Promjene u angažiranju hidroelektrana uzrokuju samo preraspodjele tokova na granama koje napajaju otok Krk; sa HE Sklope mijenja se samo opterećenje voda Senj – Otočac.

8. U usporedbi tih rezultata s onima u studiji »Energetsko-pogonske prilike u relevantnom dijelu elektroenergetskog sustava u slučaju izgradnje DV 220 kV Senj – Bilice«, 1993. (u daljem tekstu: [3]) treba voditi brigu o različitim elektroenergetskim ulaznim podacima.

   Konzum zadarskog područja u [3] je 84 MW (Zadar 48, Biograd 16, Nin 10, Novalja 10), a u [1] 62 MW (Zadar 37, Biograd 9, Nin 10, Novalja 6). Ta razlika osjeća se na razmjeni vodom Bilice – Biograd: u [3] 4 MW, 25 Mvar, u novoj studiji [1] -18 MW, 36 Mvar (sl. 6).

   Što se tiče prijenosa kopno – otok Krk treba imati na umu da je u [3] angažirana HE Senj/110 kV 72 MW (sl. 6: 144 MW), veći je konzum Vinodola (16 MW), Crikvenice (24 MW) i Senja (12 MW) nego li u novoj studiji [1] (18, 19, 3, respektivno), a poseban utjecaj ima davanje HE Vinodol zagrebačkom području (HE Vinodol – Delnice 38 MW, 14 Mvar; HE Vinodol – Gojak 3 MW, 3 Mvar).
   U [3] ograničena je prijenosna moć kabela Crikvenica – Krk s 85 MVA (kao nadzemni vod s vodičima Al 150 mm²), a u novoj studiji [1] je korektnije limitirana bakrenom dionicom kabela (70 MVA).

   Uzevši u obzir sve te razlike, kritička interpretacija rezultata obiju studija navodi na iste zaključke.

   I iz »Studije izvodivosti 110 kV veze od TS 400/220/110 kV Melina preko otoka Krk, Rab, i Pag do TS 110/35 kV Zadar 1«, 1991 (s dopunama) mogu se deducirati slični zaključci imajući na umu da je u njoj modelirana nazivna 1995. i da je promatran neoštećeni sistem (Obrovac, s vodovima prema Zadru i Lici). U tom presjeku potrošnje (tada određenom prema očekivanjima iz »Mogućih scenarija razvoja Hrvatske elektroprivrede«, prema kojima je maksimalni konzum zadarskog područja bio 91 MW) i uklopnom stanju (prema kojem dobiva zadarsko područje 28 MW iz Obrovca) prijenos granom Novalja – Nin bio je 55 MW, 36 Mvar. To navodimo jer se u

prvim valorizacijama zatvaranja »otočne petlje« baratalo s tih 50-ak MW injekcije prema ovoj studiji iz 1991.

9. Za potpuniju sliku o utjecaju predviđenih pojačavanja mreže »otočna petlja« + Senj – Karlobag – Novalja na naponski profil pilotski su ispitani režimi minimalnih opterećenja, i to tako da je konzum promatranog podsistema naprosto prepolovljen. Pokazuje se da u nepotpunom »grafu« mreže (kvarovi) napon lako bježi visoko preko maksimalno dopuštenih 123 kV. Visoki napon u HE Senj, pa i u Melini, zatim mogućnosti kvarova pri spojenim kondenzatorima u TS Zadar, . . .
Za takvu mogućnost imamo i upozorenje iz pogona: s naponom u TS Nerežišća pri otvorenoj vezi Dugi Rat – Nerežišća, kada je taj napon bio 120 kV — do preko 130 kV noću!
Trebat će, dakle, eksploataciji »otočne petlje« (sklopne manipulacije) obratiti najveću pažnju i iz planerskih aspekata prijeći u pogonske.

10. Ostaje potreba ispitivanja raspodjele tokova snaga u »predratnoj« mreži (zbog paralelnih pravaca mreže 380 kV, 220 kV, i nadzemne i kabelske 110 kV). Može se očekivati znatno manji prilog potpore iz Karlobaga (što je dosada i odgađalo ovu granu na krajnje planske horizonte).
Dalje će trebati ispitati reverzibilnost »otočne petlje«: u dosadašnjim radovima istraživana je samo moguća injekcija snage u energetski otok južne Hrvatske, i to za stanje maksimalne potrošnje.
Adaptacijom HE Dubrovnik i rekonstrukcijom DV 110 kV Komolac – Ston kao i sanacijom brane HE Peruča (da ne spominjemo HE/Neretva) realno su mogući energetski viškovi u južnoj Hrvatskoj — i postavit će se pitanje kako ih iskoristiti (sekcioniranje?) ili izvesti (u »krutu mrežu«?).
Upravo bi ovaj izvoz u »krutu mrežu« bilo zanimljivo ispitati: je li moguć paralelni pogon južne Hrvatske i UCPTE posredovanjem samo »otočne petlje«.

Napomena

Ovaj je referat pripremljen, prema [1], prije izgradnje i stavljanja u pogon dionica otočne elektroenergetske magistrale; sada je moguće dati i kronologiju i nešto od pogonskih iskustava.
TS 110/35 kV Novalja počela se graditi 9. X. 1993. i puštena je u pogon 13. VII. 1994.
Od 23. VI. do 10. VII. 1994. polagani su kabeli koji povezuju otok Pag s otokom Rabom i s kopnom: najprije Rab – Pag, pa Pag-kopno (na zadarskom pravcu), i konačno kabelska dionica »ličke veze«.
»Otočna veza 110 kV«, kako je u HEP-u zvan cijeli projekt, puštena je u pogon 26. VII. 1994. u TS Zadar 1.
»Lička veza« 110 kV Senj . . . Karlobag . . . Novalja dijelom je realizirana (kabelska dionica), a dijelom u projektu.

THE ROLE OF 110 kV ISLAND CONNECTION MELINE / SENJ . . . ZADAR

The results of model analysis of the island connection, that is the influence of the closure of the 110 kV network branch from the continent to the Nothern Adriatic islands on the electric energy supply of Southern Croatia, are given and disccused.

DIE BEDEUTUNG DER 110 kV »ÜBER – INSELN – VERBINDUNG« MELINA /SENJ . . . ZADAR

Vorgezeigt und ausgelegt werden die Ergebnisse der am Modell durchgeführten Einwirkungsanalysen der Erstellung der »Inselnmasche«, dh. der Koppelung eines Zweiges des westkroatischen 110 kV Netzes mit einem Zweig des südkroatischen 110 kV Netzes über die nordadriatischen Inseln, zwecks Unterstüzung der Stromversorgung Südkroatiens vom Binnenland her.

Naslov pisca:

Mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d. — Zagreb
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 16.

LITERATURA

[1] »Značenje grane Karlobag . . . Novalja za »otočnu petlju« Melina . . . Nin«, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, listopada 1993.

[2] I. TOMASOVIĆ, B. ŠAINA, P. ČERINA: »Izbor podmorskih i kopnenih energetskih kabela 110 kV otočne veze«, — 1. simpozij o energetskim kabelima HK CIGRE, Split, 1994, R-1.03.

IZBOR PODMORSKIH I KOPNENIH ENERGETSKIH KABELA 110 kV »OTOČNE VEZE«

Ivo Tomasović, Zagreb — Bruno Šaina, Opatija — Petar Čerina, Split

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

»Otočna veza 110 kV« kojom se povezuje prijenosna mreža 110 kV sjevernog i srednjeg dijela našeg Jadrana u svojoj prvoj etapi osim ostalih elektroenergetskih objekata obuhvaća polaganje energetskih 110 kV kabela:

— Podmorski kabel o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt. Deda)
— Podmorski kabel o. Pag (Selina) — Kopno (Kulina)
— Podmorski kabel Kopno (u. Koromačina) — o. Pag (u. Toreta)
— Podzemni kabel Bili Brig – Zadar Centar – Zadar 1.

Ukupna dužina podmorskih trasa iznosi približno 20.1 km, a podzemne trase oko 4.7 km. U članku su opisane konstrukcije nuđenih kabela renomiranih europskih proizvođača, te podrobno značajke kabela odabranih ponuđača.
Također su prikazani rezultati rutinskih specijalnih ispitivanja u tvornici proizvođača.

Ključne riječi: podmorski i kopneni kabel, XLPE, istraživački radovi, kabelski pribor.

UVOD

Jedna od posljedica domovinskog rata i neprijateljskih razaranja jest prekid elektroenergetskih veza između dalmatinskog područja i zapadnoga dijela Republike Hrvatske. Dalekovodi 400 kV Melina – Obrovac – Konjsko, 220 kV Brinje – Konjsko, 110 kV Otočac – Lički Osik – Gračac izvan su funkcije, znatno oštećeni i neizvjesna je mogućnost njihova popravka i ponovnog pogona.

Sasvim je prirodno da je u Hrvatskoj elektroprivredi promovirana ideja o ostvarenju elektroenergetske veze preko slobodnog teritorija kojom će se djelomično supstituirati objekti razoreni u ratu ili oni pod neprijateljskom kontrolom na okupiranim područjima.

Sretna je okolnost što su studijska istraživanja, pa i neki od istražnih radova, obavljeni prije pet do deset godina, kada se računalo s objektima »otočne veze« za potrebe razvoja otoka, pa je to omogućilo skraćenje pripremnih radova i realizaciju u kratkom roku.

Iz 1. i 2. slike vidljivo je da »otočna veza 110 kV« povezuje glavni elektroenergetski čvor na području Rijeke TS 400/220/110 kV Melina sa Ts 110/35 kV Zadar 1. Budući da je dio objekata izgrađen prije, utvrđeno je da za ostvarenje te veze treba u »nultoj« etapi izgraditi ove objekte:

— DV 110 kV TS Rab — o. Rab (u. Vašibaka)
— podmorski 110 kV kabel o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt. Deda); dužine 11,2 km
— DV 110 kV o. Pag (rt. Deda) — TS 110 kV Novalja
— TS 110/35 kV Novalja
— podmorski 110 kV kabel o. Pag (Selina) — Kopno (Kulina); dužine 2,5 km
— proširenje TS 110/35 kV Nin za dva vodna polja 110 kV
— podzemni 110 kV kabeli Bili Brig —TS Zadar Centar – TS Zadar 1; dužine 4,7 km
— proširenje TS 110/35 kV Zadar 1 za jedno vodno polje 110 kV
— zamjenu zaštitnog užeta užetima s ugrađenim optonitima na dalekovodima 110 kV između TS 110/35 kV Novalja i Bili Brig
— optički kabel od TS 110/35 kV Rab do TS 110/35 kV Zadar 1.

Izgradnjom ove etape omogućuje se prijenos 60 – 70 MW na područje Zadra.

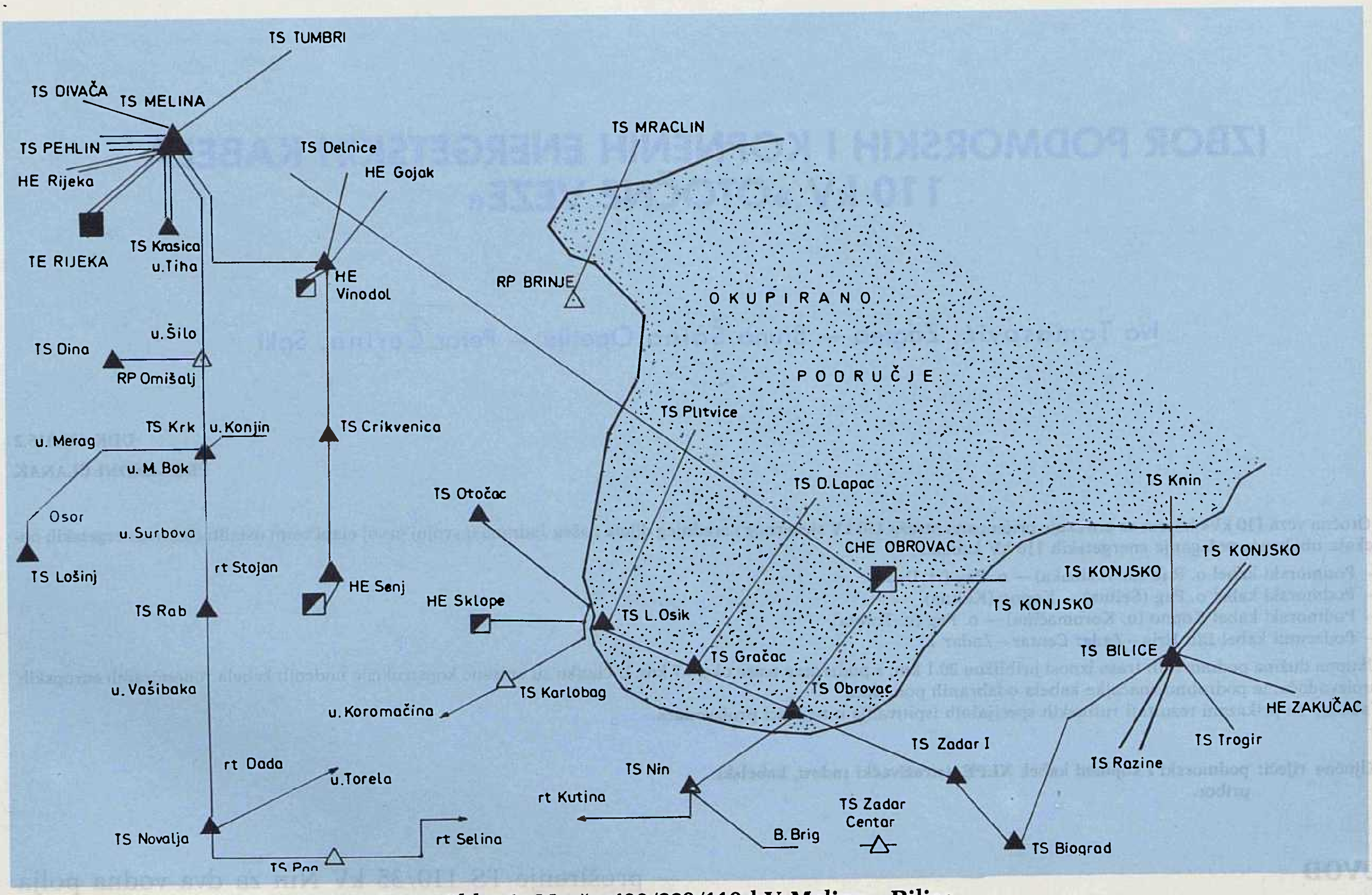
U toku pregovaranja s potencijalnim isporučiteljima kabela izrađena je studija o značenju veze Karlobag —Novalja za »otočnu petlju« 110 kV Melina . . . Nin.

Iz zaključka studije izlazi da se izgradnjom »bočne veze« može prenijeti preko o. Paga do 104 MW, što znači da se može zadovoljiti uz šire područje Zadra i konzum prema Biogradu i Šibeniku.

Na temelju takvih spoznaja ugovoren je i podmorski kabel (dužine 2,6 km) za dionicu Kopno (u. Koromačina) —o. Pag (u. Toreta) kao dio 110 kV veze TS Karlobag – TS Novalja. Naknadno je ugovoren i podmorski kabel (dužine 3,8 km) Kopno (Bibinje) — o. Ugljan (Gnjoišće) kao dio buduće 110 kV otočne veze između Lošinja i Zadra.

Na donošenje odluke o proširenju opsega isporuke utjecala je i povoljna cijena kabela te niski troškovi polaganja zajedno s ostalim kabelima, jer bi pojedinačno polaganje znatno povećalo ukupnu cijenu isporuke podmorskog kabela.

Izgradnjom prve etape »otočne veze 110 kV« omogućuje se:



Slika 1. Mreža 400/220/110 kV Melina – Bilice

— povezivanje ratnim razaranjima razdvojenog elektroenergetskog sustava Hrvatske
— prijenos električne energije oko 100 MW, od čega za zadarsko područje i otok Pag otpada oko 65 MW, a ostalo na područje Šibenika
— prijenos električne energije iz Dalmacije u razdoblju velike proizvodnje hidroelektrana u sjeverni dio elektroenergetskog sustava Hrvatske osobito uz pojačanje veze 110 kV Zadar — Šibenik)
— rasterećenje sustava Dalmacije u sušnom razdoblju i mogućnost akumuliranja energije
— uklapanje ovog projekta u dugoročni program razvoja prijenosne mreže toga područja,
— neovisnost o neprijateljskim ucjenama do oslobođenja privremeno okupiranih područja.

Ukupna dužina podmorskih trasa je približno 20,3 km odnosno duljina kabela (jednožilnih) oko 61 km, te podzemne trase u Zadru 4,7 km i kabela oko 14 km.

Duljina zračnih vodova je 74 km, od toga novoizgrađenih 36 km, ne računajući zračne vodove »bočne veze« Lika – Karlobag – Novalja.

Ukupna cijena projekta »nulte« iznosi oko 43 milijuna USA $.

Osim izgradnje »bočne veze« Lika – Karlobag – Novalja, potrebno je izgraditi novu 110 kV vezu Zadar – Biograd – Bilice, čime će sve unaprijed opisane mogućnosti »otočne veze 110 kV« doći do punog izražaja.

1. OSNOVNA TEHNIČKA SVOJSTVA TRAŽENIH I PONUĐENIH KABELA

Za potencijalne isporučioce kabela izrađen je ponudbeni elaborat (tender) kojim su utvrđeni osnovni zahtjevi i tehnička svojstva podmorskih i kopnenih kabela.

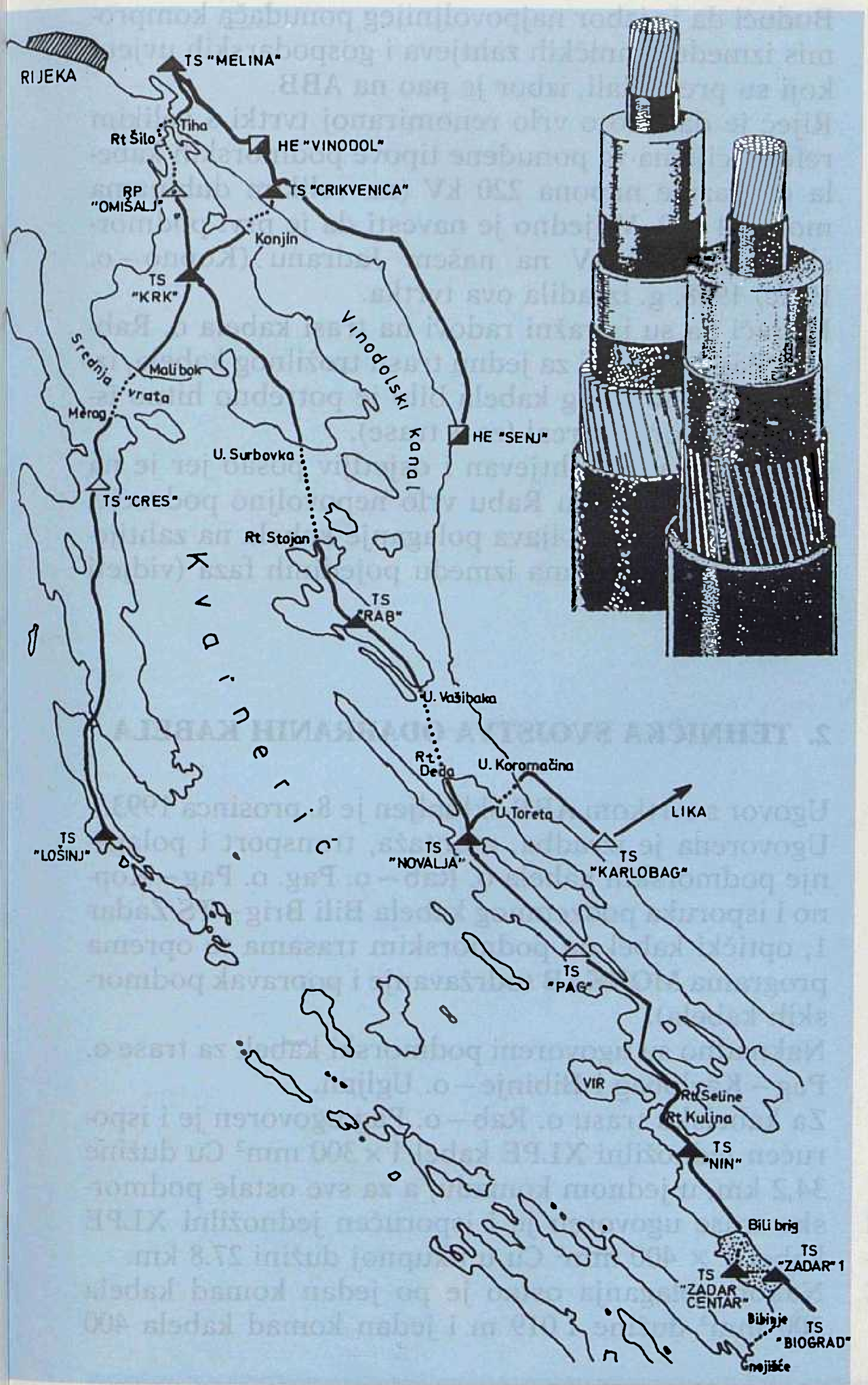
Uvjeti na mjestu polaganja podmorskih kabela

— nazivni napona mreže	110 kV
— najviši pogonski napon	123 kV
— podnosivi udarni napon (1,2/50 u sek)	550
— prijenosna snaga	100 MVA
— struja jednopolnog kratkog spoja	17,8 kA
— struja tropolnog kratkog spoja	31,5 kA
— trajanje kratkog spoja	1 sek
— klizna staza	3,5 cm/kV
— standard	IEC.

Za vezu o. Rab – o. Pag (u. Vašibaka – rt Deda) tražen je trožilni uljni, a za vezu o. Pag – kopno (rt Selina – rt Kulina) jednožilni kabeli s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE)

Razlozi za takvo opredjeljenje HEP-a bili su dužina kabela, dubina mora i dosadašnja iskustva.

Trasa kabela o. Rab – o. Pag dugačka je 1 200 m, a najveća dubina mora je 110 m. Trasa kabela o. Pag – kopno dugačka je 2 500 m, a najveća dubina mora 17 m.



Slika 2. Otočna veza 110 kV

U našem podmorju prethodno je položeno osam 110 kV trožilnih, uljnih podmorskih kabela raznih dužina i dubina polaganja i samo jedan XLPE kabel o. Cres – o. Lošinj kojemu je podmorski dio oko 400 m na najvećoj dubini od 7 metara.

Dosad nismo imali ni jedan kvar na podmorskom dijelu 110 kV kabela polaganih od 1968. (kopno – o. Brač) do 1987. godine (o. Krk – o. Rab). Održavanje ovih kabela svodi se samo na kontrolu pritiska ulja i povremeni obilazak i pregled opreme u kabelskim kućicama.

Referencije svjetski renomiranih proizvođača podmorskih kabela neusporedivo su bogatije za uljne kabele nego za kabele s čvrstim dielektrikom.

Na kraćoj dionici na maloj dubini mora (o. Pag – kopno) predviđeni su jednožilni kabeli s izolacijom od umreženog polietilena. Za ovakav izbor postoji i tehničko i gospodarsko opravdanje.

Fenomen deformacije olovnog plašta kod velikih dubina mora i ove vrste kabela za ovaj slučaj ne predstavlja problem. Glede cijena uljnih kabela, velik dio čini uljni sustav s cijenom koja je malo ovisna o dužini kabela, tako da su za kratke dionice (do približno 5 km) cijene uljnih kabela veće nego za kabele s čvrstim dielektrikom.

Od ostalih uvjeta važno je napomenuti da je za vezu o. Rab – o. Pag zatražen isti presjek za podmorski i kopneni dio kabela (300 mm²). Zbog različite toplinske vodljivosti mora i zemlje za uljni kabel kopneni dio kabela izrađuje se s bakrenim vodičem, a morski s aluminijskim. Mjesto spajanja je tvornički izrađena fleksibilna spojnica koja se pri polaganju obvezatno smješta u more u blizini izlaza kabela na kopno.

Za XLPE kabel prednost je dana kabelu s bakrenim vodičem presjeka 400 mm².

Za podzemni kabel Bili Brig – Zadar Centar – Zadar 1 tražen je kabel s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE) za prijenosnu snagu 130 MVA.

Osnovni tehnički podaci za podzemni kabel

— vrsta kabela	jednožilni sa izolacijom od umreženog polietilena (XLPE)
— dužina trase	4.7
— dužina kabela	14.250 km
— nazivni napon mreža	110 kV
— najviši pogonski napon	123 kV
— podnosivi udarni napon (1.2/50 μs)	550 kV
— prijenosna snaga	130 MVA
— struja tropolnog kratkog spoja	31,5 kA
— struja jednopolnog kratkog spoja	17,8 kA
— trajanje kratkog spoja	1 sek
— klizna staza	3.0 cm/kV
— standard	IEC.

Od potencijalnih ponuditelja traženo je što manji broj spojnica i rezervna duljina u jednom komadu.

Budući da su dosad položeni podzemni kabeli 110 kV u prijenosnoj mreži Hrvatske s aluminijskim vodičem presjeka 1 000 mm² takav je kabel preferiran.

Trožilni uljni kabel za vezu o. Rab – o. Pag ponudili su renomirani proizvođači kabela ALCATEL CABLE (Francuska) i ALCATEL NORGE (STK Norveška).

Neke od tehničkih karakteristika proizvođača podmorskih uljnih kabela:

	ALCATEL CABLE	ALCATEL NORGE
– tip kabela	3 × 300 Cu OF 64/110(123)	OKRA
– nominalni napon (kV)	64/110 (123)	110
– materijal vodiča	bakar	aluminij/bakar
– presjek vodiča (mm²)	300	300
– debljina izolacije (mm)	9.2	8.4
– debljina olovnog plašta (mm)	3.5	4.2
– ojačanje čelične žice promjera (mm)	7.6	5.6
– ukupni promjer kabela (mm)	131.7	124
– ukupni gubici u kabelu (W/m)	34	39.8
– masa kabela na 1000 m dužine (kg)	47 900	37 000/43 000
– najveća sila povlačenja tijekom polaganja (kN)	89.1	153

U pregovorima i rasčišćavanju tehničkih i gospodarskih pitanja dostavljena je i ponuda renomirane tvrtke ALCATEL CABLE CONTRACTING Hannover, koja je ponudila sve podmorske kabele s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE), Zamjena za olovni plašt je aluminijska pločica debljine 0.2 mm, koja se specijalnim polimerom lijepi na PE omotač debljine 4 mm.

Za takvu konstrukciju kabela tvrtka ima velike referencije, ali za napone niže od 110 kV.

Ponuda tvrtke ALCATEL CABLE ocijenjena je nepovoljnija kao tehničko rješenje, a osobito glede cijene, pa u daljnjem razmatranju nije uzimana u obzir.

Tvrtka ABB je dostavila svoju ponudu naknadno nudeći kabele s izolacijom od umreženog polietilena s karakteristikama koje će biti opisane u sljedećem poglavlju referata.

Nakon prispjelih ponuda razgovora s proizvođačima, napravljena je usporedba prednosti i mana analiziranih ponuđača:

	ALCATEL NORGE (STK)	CABLE CONTRACTING	ABB
Tehnička rješenja			
– uljni kabel	+ +	–	ne nudi
– XLPE	+ +	+	+ +
Referencije za ponuđene kabele			
– Podmorski kabel	+ +	–	+ +
– Podzemni kabel	+	+	+
Polaganje i montaža	+ +	+	+ +
Dosadašnje iskustvo za rad s ovim proizvođačima	+ +	–	+
Program morkab	+ +	–	+

Napomena: Tvrtka ABB nije ponudila uljni kabel zbog traženih rokova isporuke i zauzetosti linije s izradom podmorskog kabela Švedska – Njemačka (DC 450 kV dužine 250 km)

Budući da je izbor najpovoljnijeg ponuđača kompromis između tehničkih zahtjeva i gospodarskih uvjeta koji su prevladali, izbor je pao na ABB.

Riječ je dakako o vrlo renomiranoj tvrtki s velikim referencijama za ponuđene tipove podmorskih kabela do razine napona 220 kV (na velikim dubinama mora 84 kV). Vrijedno je navesti da je prvi podmorski kabel 110 kV na našem Jadranu (Kopno – o. Brač) 1968. g. izradila ova tvrtka.

Budući da su istražni radovi na trasi kabela o. Rab – o. Pag obavljeni za jednu trasu trožilnog kabela, izborom jednožilnog kabela bilo je potrebno hitno istražiti prošireni areal (za 3 trase).

Ovo je bio vrlo zahtjevan i osjetljiv posao jer je na poziciji bliže otoku Rabu vrlo nepovoljno područje, koje taman zadovoljava polaganje kabela na zahtijevanim udaljenostima između pojedinih faza (vidjeti sl. 3).

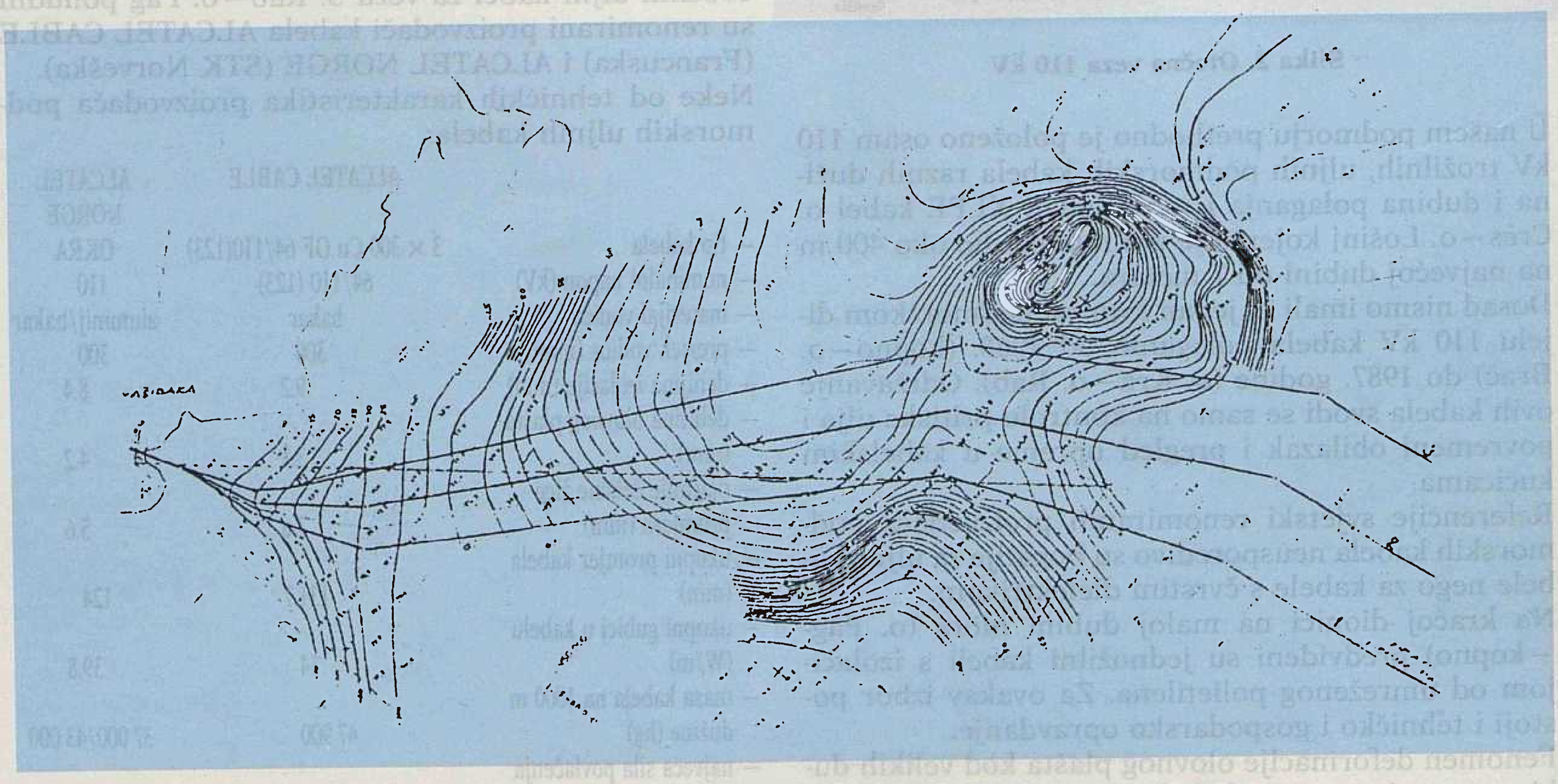
2. TEHNIČKA SVOJSTVA ODABRANIH KABELA

Ugovor s tvrtkom ABB sklopljen je 8. prosinca 1993. Ugovorena je izradba, montaža, transport i polaganje podmorskih kabela o. Rab – o. Pag. o. Pag – Kopno i isporuka podzemnog kabela Bili Brig – TS Zadar 1, optički kabel na podmorskim trasama te oprema programa MORKAB (održavanje i popravak podmorskih kabela).

Naknadno su ugovoreni podmorski kabeli za trase o. Pag – Karlobag i Bibinje – o. Ugljan.

Za kabelsku trasu o. Rab – o. Pag ugovoren je i isporučen jednožilni XLPE kabel 1 × 300 mm² Cu dužine 34,2 km, u jednom komadu, a za sve ostale podmorske trase ugovoren je i isporučen jednožilni XLPE kabel 1 × 400 mm² Cu u ukupnoj dužini 27.8 km.

Nakon polaganja ostao je po jedan komad kabela 300 mm² dužine 1 019 m i jedan komad kabela 400



Slika 3. Detalj kabelske podmorske trase kod uvale Vašibaka na otoku Rabu

mm² dužine 1 401 m, te su namotani na za to pripremljene čelične bubnjeve.

Za kopnenu trasu u Zadru ugovoren je i izrađen jednožilni XLPE kabel 1 × 1 000 mm² Al. Isporučen je na 15 drvenih bubnjeva ukupne dužine 14 250 m.

2.1. Tehnički podaci kabela

Tip	Podmorski kabel		Kopneni kabel
	FXBTV 1 × 300 Cu	FXBIV 1 × 400 Cu	AXLJ 1 × 1 000 Al
Nazivni napon Uo/U (kV)	64/110	64/110	64/110
Maksimalni pogonski napon (kV)	123	123	123
Podnosivi udarni napon (1,2/50 μs kV)	550	550	550
Frekvencija (Hz)	50	50	50
Nazivni promjer vodiča (mm)	20.4	23.0	38.0
Maksimalni otpor za istosmjernu struju 20 °C (om/km)	0.0601	0.0470	0.0291
Otpor za izmjeničnu struju pri 85 °C (om/km)	0.0778	0.0614	0.0398
Induktivitet po fazi u trolistu (mH/km)	0.42	0.41	0.36
Kapacitet po fazi (μF/km)	0.14	0.16	0.24
Struja nabijanja po fazi (A/km)	3	3.2	4.8
Maksimalni faktor gubitaka pri 20 °C i 50 Hz	0.001	0.001	0.001
Maksimalne temperature vodiča			
— stalno opterećenje	90	90	90
— u kratkom spoju	250	250	250
Struja kratkog spoja (kA)			
— 0,3 sek	78	100	170
— 1,0 sek	42,9	57	94.5
Nazivna struja (A) prema IEC 287/82:			
temperatura tla 20 °C			
temperatura mora 26 °C			
toplinski otpor tla 1,0 Km/W			
udaljenost faza u paraleli 70 mm			
ekran uzemljen na oba kraja			
— u zemlji u trolistu	570	635	820
— u zraku u paraleli	750	850	1140
— u moru u paraleli	590	645	
udaljenost 150 m			
— pojedinačno u betonskom kanalu	540	600	780
Gubici u trolistu pri nazivnoj struji 110 kV (W/m)			
— u vodič	23	25	28
— dielektrični	0.04	0.04	0.06
— u metalnom plaštu i ekranu	6	7	7
Vanjski promjer kabela (mm)	86	86	85
Minimalni polumjer savijanja (m)			
— kod polaganja	1.3	1.3	1.3
— montaže	0.9	0.9	0.85
Masa kabela (kg/m)	14	15	8.0
Maksimalna sila zatezanja vodiča (kN)	21	28	40

Smatramo da izbor različitih presjeka podmorskih kabela treba posebno komentirati. Ponudbenim elaboratom tražen je kabel prijenosne snage 100 MVA. Uz utvrđene okolne uvjete presjek 300 mm² Cu je na granici takvog zahtjeva.

Kada se na osnovi studije došlo do spoznaje o značenju »bočne veze« Lika — Karlobag — Novalja, koja omogućuje prijenos i preko 100 MVA prema Zadru i Šibeniku, kao i obratno (prijenos viškova hidroenergije iz Dalmacije), pregovori s tvrtkom ABB bili su u završnoj fazi pred potpisivanje ugovora. Razlika u cijeni kabela različitog presjeka bila je oko 7%, pa je zaključeno da se ugovori veći presjek na kraćim dionicama, gdje za to postoji i tehničko opravdanje.

Na potezu o. Rab — o. Pag, koji je mnogo dulji, neće biti prijenosa iznad 100 MVA jer to ne omogućuje podmorski kabel o. Krk — o. Rab, kao ni postojeće kabelske veze kopno — o. Krk.

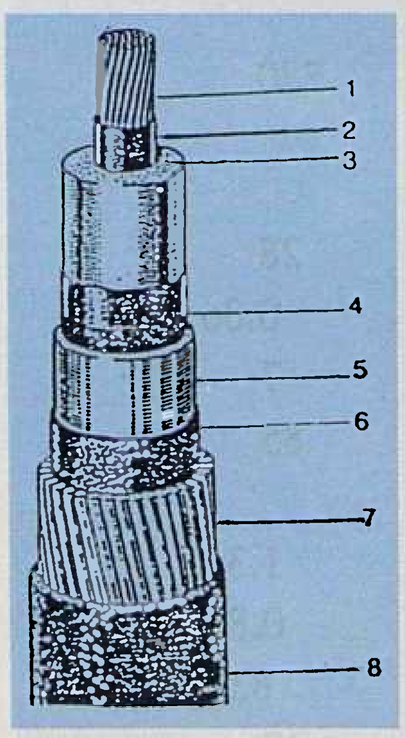
U tvornici su zbog tehnoloških razloga kabel 300 mm² i 400 mm² izrađeni s istim vanjskim promjerom, pa je izolacija na kabelu manjeg presjeka vodiča znatno deblja od propisane (vidjeti rezultate ispitivanja u sljedećem poglavlju).

Važno je također da su podmorski kabeli za oba presjeka vodiča isporučeni svaki u jednom komadu, pa su prilikom polaganja rezani na potrebne dužine i na taj se način dobio najveći komad rezervnog kabela, što je s gledišta održavanja optimalan rezultat.

Tvrtka ABB osigurava kvalitetu izrade (QA) prema ISO 9001 standardima.

2.2. Konstrukcija kabela

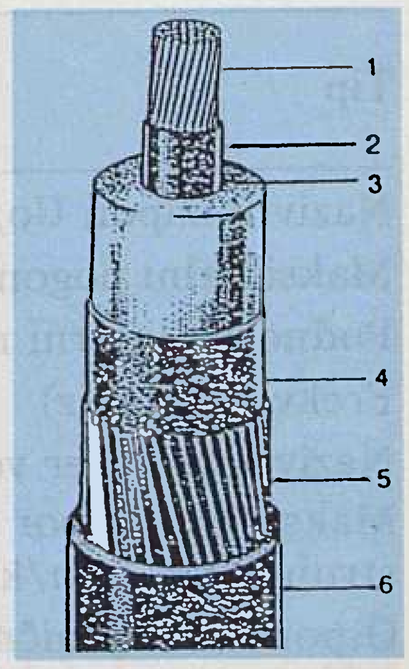
Vodič se sastoji od bakrenih žica, između kojih je »želatina« koja sprečava prodor vode uzduž vodiča.
Iznad vodiča je poluvodljivi plašt minimalne debljine 1 mm.
Izolacija je od umreženog polietilena XLPE minimalne debljine 15,5 mm, iznad koje je poluvodljivi plašt debljine 1,0 mm. Između olovne obloge (plašt) i XLPE izolacije je »bubreća« traka koja sprečava uzdužni prodor vode.
Metalna je armatura (transversalno ojačanje) od Al žice, promjera 4,0 mm. Iznad metalne armature je bitumen preko kojeg je namotano uže debljine 2,0 mm od polipropilene yarna.



1 — bakreni vodič
2 — poluvodljivi plašt
3 — izolacija XLPE
4 — poluvodljivi plašt
5 — olovni plašt
6 — poluvodljivi plašt
7 — metalna armatura Al žice
8 — vanjska zaštita
oplet od polipropilene yarna

Slika 4. Podmorski kabel

Vodič se sastoji od aluminijskih žica između kojih je »želatina« koja sprečava prodor vode uzduž vodiča.
Iznad vodiča je poluvodljivi plašt debljine 1,0 mm.
Izolacija je od umreženog polietilena XLPE minimalne debljine 15,0 mm iznad koje je poluvodljivi plašt debljine 1,0 mm.
Ekran od bakrenih žica je 1,1 mm, presjeka 95 mm².
Vanjska zaštita, plašt od polietilena je debljine 3,05 mm.



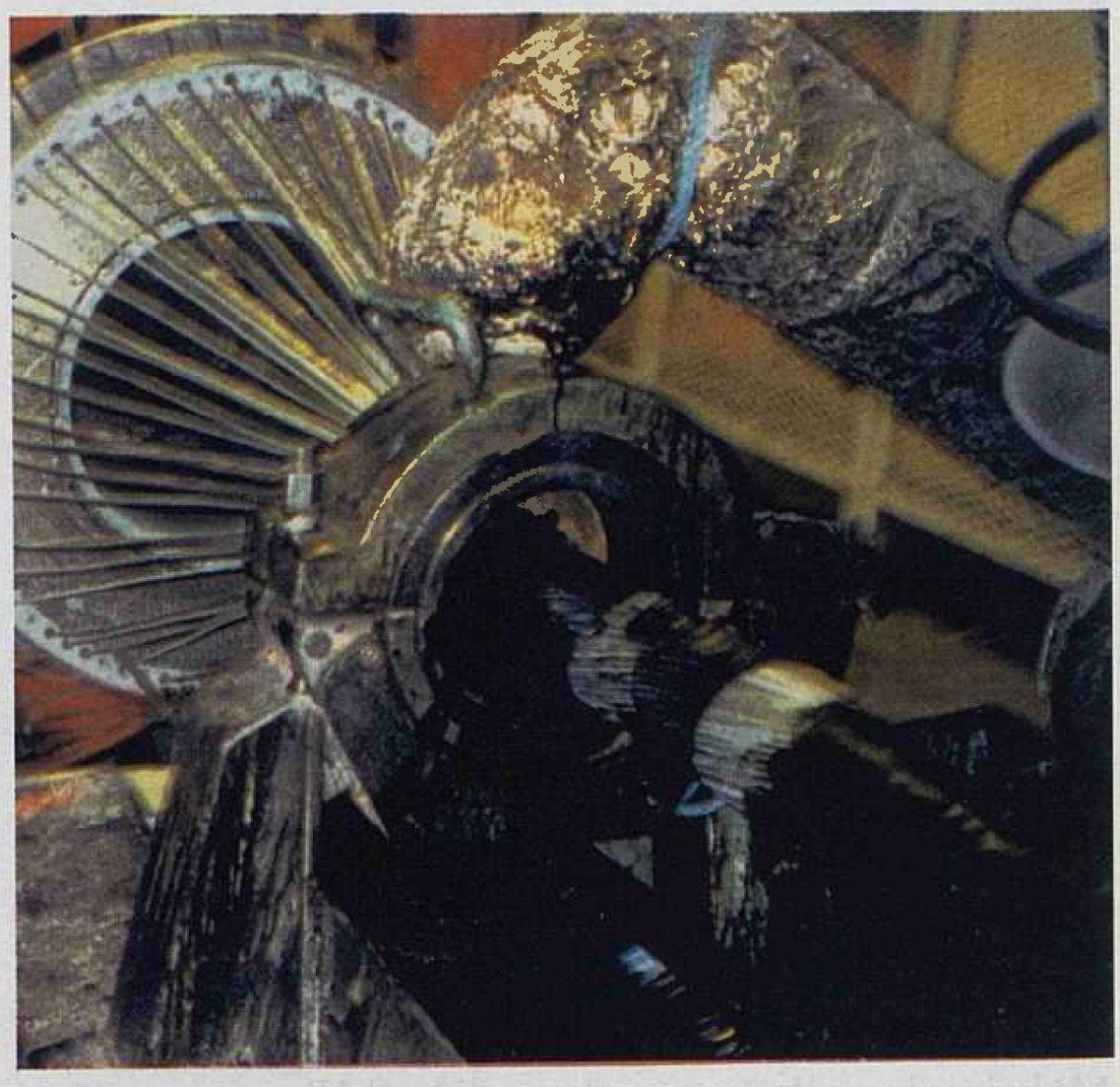
1 — bakreni vodič
2 — poluvodljivi plašt
3 — izolacija XLPE
4 — poluvodljivi plašt
5 — ekran Cu žica
6 — vanjski plašt od polietilena

Slika 5. Kopneni kabel

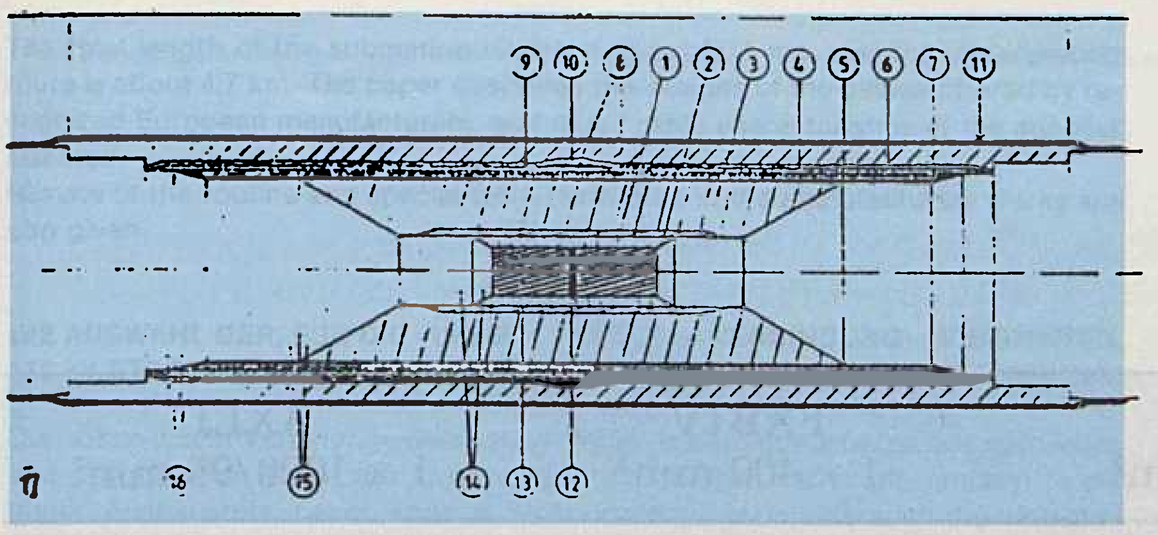
2.3. Kabelski pribor

Kompletni kabelski pribor isporučio je ABB. Ovdje samo navodimo najvažnije elemente.

— Kabelski završeci
Odabrane su jednopolne kabelske glave proizvodnje »Kabeldon« — ABB tip APEC 1452, za vanjsku montažu za napon 145 kV i klizne staze 3 800 mm s gradijentom od 4.2 kV/mm.
— Za spajanje u 110 kV oklopljeno SF6 postrojenje TS Zadar Centar odabrani su završeci, također proizvodnje »Kabeldon«, ABB tip APEGA 1703 s gradijentom od 4.3 kV/mm
— Kabelske su spojnice (samo za kopneni kabel) proizvod ABB, tip LXSB (110-245).

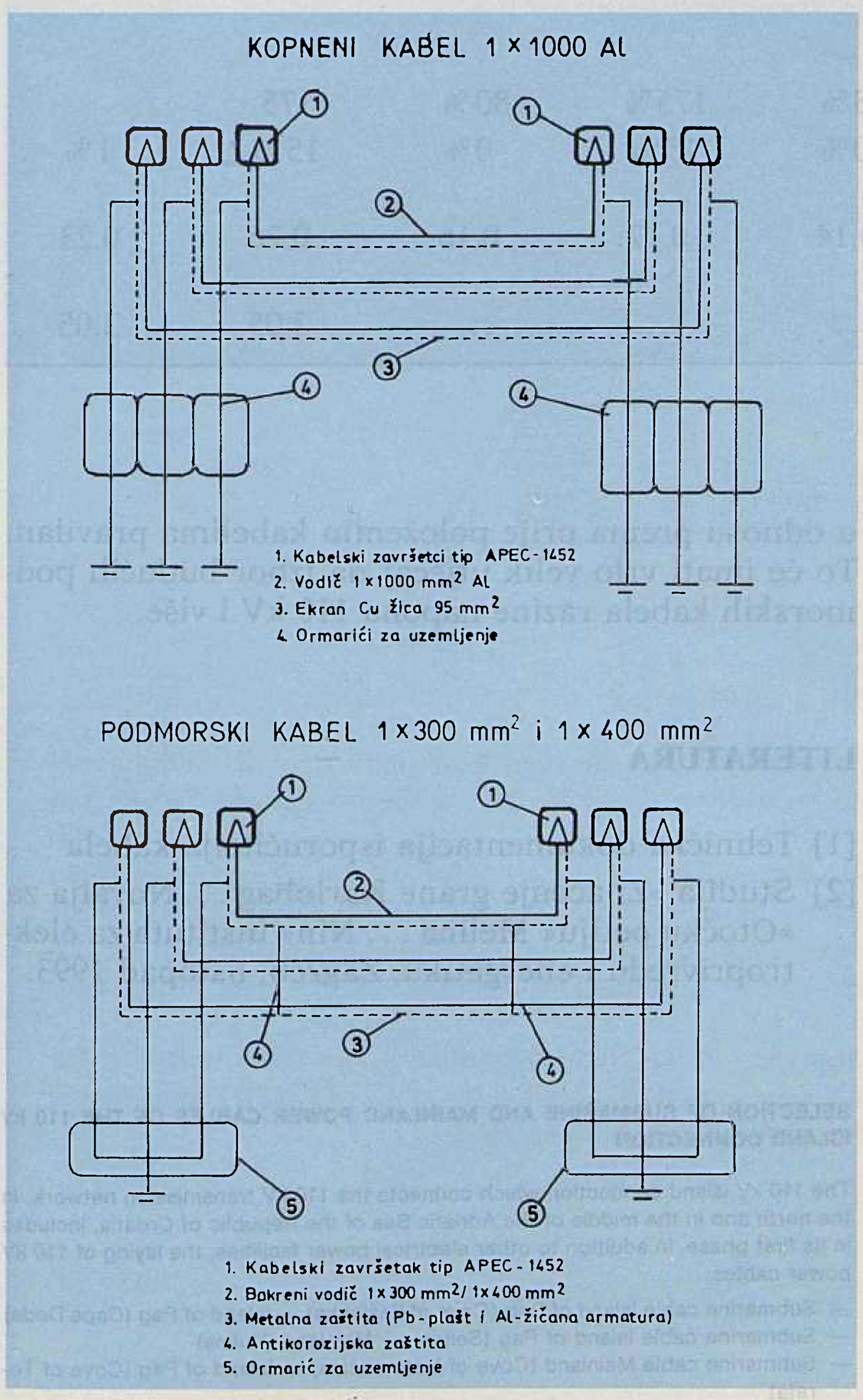


Slika 6. Podmorski kabel u završnoj fazi proizvodnje



1 — vodljiva najlonska traka
2 — vodljivi soj (namotana traka)
3 — PEX izolacija (vulkanizirana traka)
4 — vodljiva boja
5 — vodljivi papir
6 — vodljiva najlonska traka
7 — bakrena mreža
8 — PVC traka
9 — žica ekrana
10 — spojna cijev
11 — termoskupljajuća cijev
12 — mjesto vara vodiča
13 — vodič
14 — vodljivi sloj
15 — PEX izolacija
16 — vodljivi sloj
17 — vanjski plašt

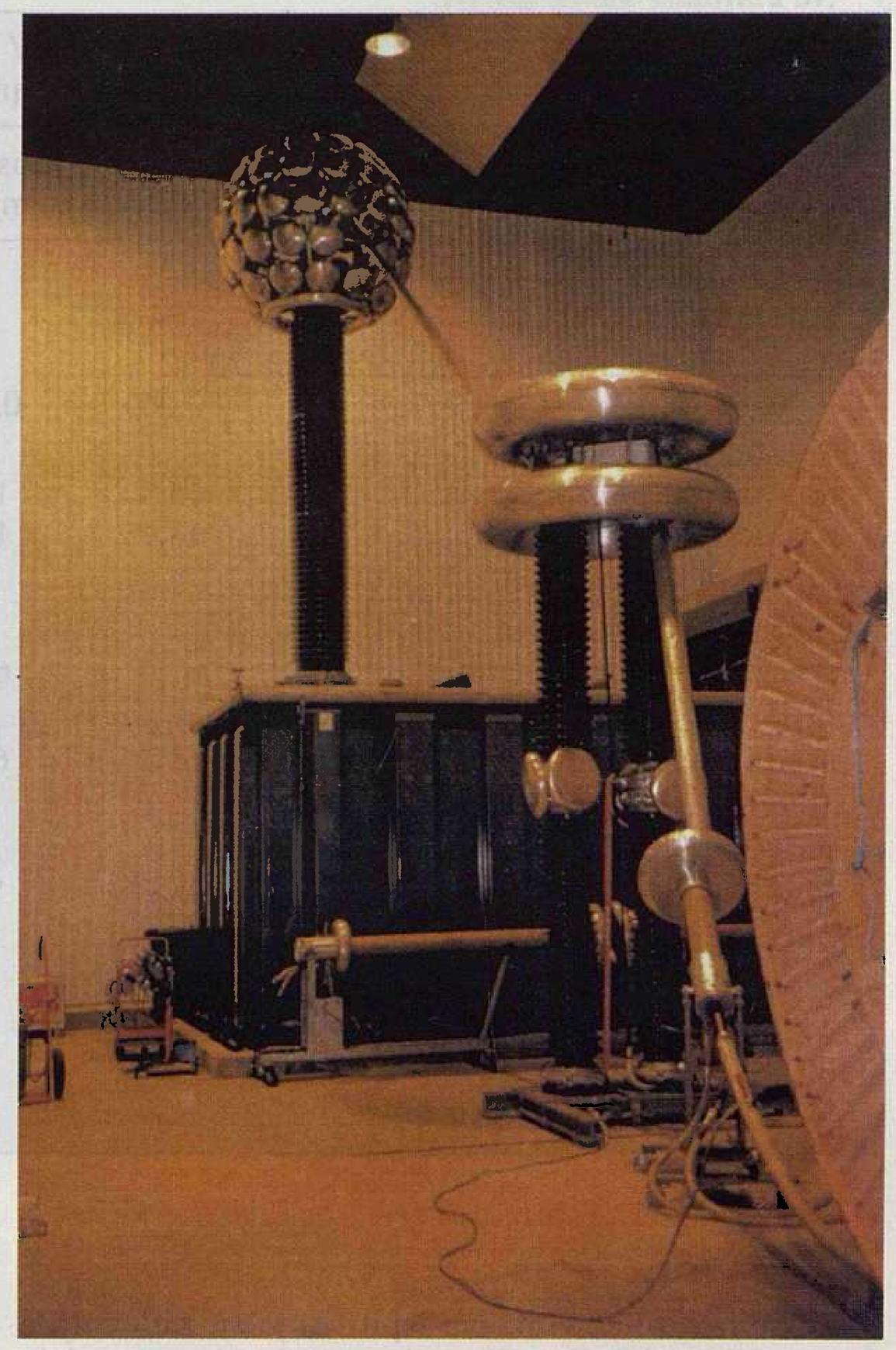
Slika 7. Kabelska XLPE spojnica LXSB 245 (110-245 kV)



Slika 8. Shema električne zaštite

3. ISPITIVANJE KABELA

Ispitivanja kabela provedena su u skladu sa standardima IEC 840.
Tipska ispitivanja nisu provedena, nego su priloženi atesti.



Slika 9. Ispitivanje kabela u VN laboratoriju ABB-a

Izvedena rutinska i specijalna ispitivanja dala su zadovoljavajuće rezultate.

3.1. Rutinska ispitivanja

— Parcijalna izbijanja
Izmjenični napon postupno je podizan do 112 kV, održavan na toj razini 10 sekundi i spušten na 96 kV. Parcijalna izbijanja bila su ispod 5 pC (ugovorena vrijednost $\leq$ 10 pC).
— Visokonaponsko ispitivanje
Kabel je stavljen pod napon 160 kV izmjenično u trajanju 30 minuta. Tijekom ispitivanja nije došlo do proboja.
— Ispitivanje plašta za kabel AXLJ 1 × 1000/95 mm² (podzemni kabel)
Napon 25 kV izmjenično je priključen između ekrana i vodljive površine PE-plašta u trajanju 1 minute. Pri ispitivanju nije došlo do proboja plašta. Ovo ispitivanje je provedeno u četiri navrata tj. ti-

jekom proizvodnje, prije ukrcaja na brod, nakon dolaska na mjesto polaganja u Zadar i nakon spajanja, a prije zatrpavanja kanala.

3.2. Specijalna ispitivanja

Tip kabela	FXBTV 1 × 300 mm²		FXBTV 1 × 400 mm²		AXLJ 1 × 1000/95 mm²	
	Vrijednost propisana/izmjerena		Vrijednost propisana/izmjerena		Vrijednost propisana/izmjerena	
Provjera vodiča						
— najmanji broj žica	34	36	53	59	53	113
Provjera električnog otpora vodiča na 20 °C						
— najveća vrijednost (oma/km)	0.060	0.0586	0.0470	0.0460	0.0291	0.0279
Debljina izolacije						
— najmanja srednja (mm)	15.5	18.1	15.5	16.7	15.0	15.8
— najmanja (mm)	13.95	17.55	13.95	15.91	13.50	15.02
Debljina olovnog plašta	2.27	2.34	2.27	2.45	. . .	. . .
Promjer olovnog plašta						
— srednja vrijednost (mm)	67.4	67.4	67.4	67.8	–	–
Promjer kabela bez olovnog plašta						
— srednja vrijednost (mm)	61.3	61.6	61.6	61.9	74.3	75.5
Ispitivanje umreženja izolacije						
— najveće istezanje pod opterećenjem 76%	175%	95%	175%	80%	175	
— najveće istezanje nakon hlađenja	15%	0%	15%	0%	15%	1%
Mjerenje kapaciteta						
— najveća vrijednost (μF/km)	0.14	0.14	0.17	0.16	0.26	0.23
Debljina PE plašta						
— Najmanja vrijednost (mm)	. . .	. . .	. . .	. . .	3.05	3.05

Kako se iz tablice vidi, sva ispitivanja su zadovoljila propisane vrijednosti, a posebno se to odnosi na debljinu izolacije kod podmorskih kabela

4. ZAKLJUČAK

Izbor 110 kV kabela »otočne veze« s obzirom na opseg i cijenu čitavog projekta osjetljiv je i zahtjevan posao, koji osim tehničkih svakako mora imati na umu i o gospodarske aspekte. Rezultat tih okolnosti su odabrani podmorski kabeli s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE), prvi u našem podmorju.

Budući da ta vrsta kabela ne zahtijeva nikakav nadzor ni održavanje (osim eventualnog nadzora antikorozivne zaštite), jedina opasnost za pouzdanost pogona prijeti od eventualnih kvarova ili mehaničkih oštećenja konstrukcije kabela.

Kako su ova četiri podmorska kabela postavljena u različitim okolnim uvjetima (duljine, dubine mora, izloženost mogućim oštećenjima od koća, sidara itd.), iskustvo će pokazati je li izbor nove tehnologije u odnosu prema prije položenim kabelima pravilan. To će imati vrlo velik utjecaj na izbor budućih podmorskih kabela razine napona 110 kV i više.

LITERATURA

[1] Tehnička dokumentacija isporučitelja kabela

[2] Studija »Značenje grane Karlobag . . . Novalja za »Otočku petlju« Melina . . . Nin« instituta za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, listopad 1993.

SELECTION OF SUBMARINE AND MAINLAND POWER CABLES OF THE 110 kV ISLAND CONNECTION

The 110 kV island connection which connects the 110 kV transmission network, in the north and in the middle of the Adriatic Sea of the Republic of Croatia, includes in its first phase, in addition to other electrical power facilities, the laying of 110 kV power cables:

— Submarine cable Island of Rab (Cove of Vašibaka) — Island of Pag (Cape Deda)
— Submarine cable Island of Pag (Selina) — Mainland (Kulina)
— Submarine cable Mainland (Cove of Koromačina) — Island of Pag (Cove of Toreta)
— Underground cable Bili Brig — Zadar Center — Zadar 1.

The total length of the submarine routes is about 20,1 km, and the underground route is about 4,7 km. The paper describes the designs of the cables offered by recognized European manufacturers, and detail cable characteristics of the supplier selected.
Results of the routine and special tests performed in the manufacturers works are also given.

DIE AUSWAHL DER, FÜR DIE »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG« BESTIMMTEN, 110 kV STROMVERSORGUNGSKABEL FÜR UNTERSEE- UND ERD-VERLEGUNG

Die »Über-Inseln-Verbidung« welche die 110 kV Übertragungsnetze des nördlichen und des mittleren Teiles des kroatischen Adriagebietes verknüpft, umfasst in der ersten Ausbaustufe, neben anderer Stromversorgungsobjekte auch die verlegten 110 kV Stromversorgungskabel:

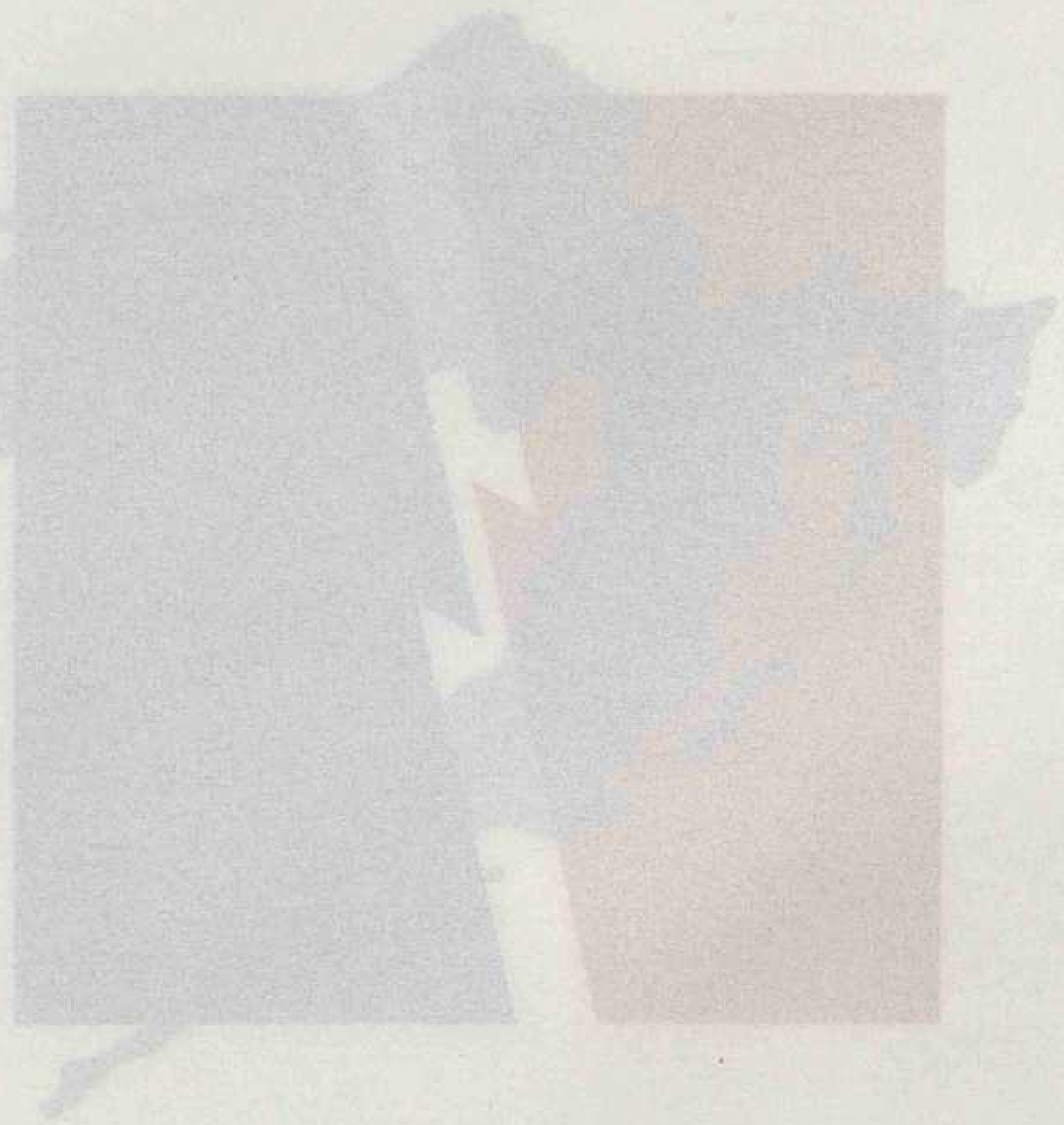
— Unterseekabel Insel Rab (Bucht Vašibaka) — Insel Pag (Kap Deda)
— Unterseekabel Insel Pag (Küstengebiet Selina) — Binnenland (Kap Kulina)
— Unterseekabel Binnenland (Bucht Koromačina) — Insel Pag (Bucht Toreta)
— Erdverlegter Kabel Siedlung Bili Brig — Zadar Mitte — Zadar 1.

Die Gesamtlänge der Unterseetrassen beträgt annähernd 20,1 km; der erdverlegte Tel ist 4,7 km lang. Angeführt im Artikel sind der Aufbau seitens angesehener europäischer Erzeuger angebotener Kabel, sowie ausführlich die Kennzahlen und sonnstige Eigenschaften der Kabel auserlesener Bewerber.
Ebenfalls sind die Ergebnisse der Stück- und Typ- Prüfungen im Werk des Erzeugers dargestellt.

Naslov pisaca:

Mr. Ivo Tomasović, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore,
41000 Zagreb,
Avenija grada Vukovara 37,
Hrvatska
Bruno Šaina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos,
Prp Elektroprijenos Opatija,
51410 Opatija, Hrvatska
Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split,
58000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-08.



HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA

Hrvatska elektroprivreda (HEP) je javno poduzeće za proizvodnju, distribuciju, te prijenos električne energije i upravljanje elektroenergetskim sustavom, koje opskrbljuje cjelokupno područje Republike Hrvatske električnom energijom, a bavi se i toplinskom djelatnošću. HEP je osnovan Zakonom 28. srpnja 1990. godine kao javno poduzeće od posebnog društvenog interesa. HEP je pravni slj ednik bivše ZEOH (Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske. Okupio je 113 dotad samostalnih organizacija za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije i toplinarstvo - u jednu cjelinu.
Početak javne elektroprivredne djelatnosti u Hrvatskoj datira od puštanja u pogon HE Jaruga kod Šibenika, a to je bilo 28. kolovoza 1895. godine. Sadašnjim poduzećem upravlja Upravni odbor, čijih šest članova imenuje Vlada Republike Hrvatske, a tri člana bira HEP iz redova svojih djelatnika. Generalnog direktora, koji je odgovoran za organizaciju i ukupno funkcioniranje poduzeća, imenuje Vlada Republike Hrvatske. Rad poduzeća organiziran je u šest direkcija:
- za proizvodnju,
- za upravljanje i prijenos,
- za distribuciju,
- za razvoj i inženjering,
- za ekonomsko-financijske poslove,
- za administrativne poslove, i

Sektor za poslovnu informatiku.



HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA

Hrvatska Elektroprivreda (HEP, Croatian National Electricity) is a public utility for electricity generation, distribution and transmission and electric power system control. It supplies electricity over the entire territory of the Republic of Croatia and is engaged in the district heating activity as well.
HEP was founded by the Law on July 28, 1990 as a public utility of special social interest. HEP is the legal successor of the former ZEOH (Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske / Association of Croatian Electric Power Utilities/). It brought together and integrated 113 independent organizations for electricity generation, transmission and distribution and district heating. Public electricity supply in Croatia started with the commissioning of the hydro power plant Jaruga near Šibenik, precisely on August 28, 1895.
Present utility is managed by the Managing Board, the 6 (six) members of which are appointed by the Government of the Republic of Croatia and 3 (three) by HEP from its own employees. The Government of the Republic of Croatia appoints the General Manager who is responsible for the organization and overall functioning of the utility.
The operation of the utility is organized in 6 divisions:
- for production
- for system control and transmission
- for distribution,
- for development and engineering,
- for economic and financial affairs,
- for administrative affairs

and the business information system department.

PODMORSKI OPTIČKI KABEL ZA OTOČNU VEZU

Ivan Perak, Zagreb — Antun Bobanović, Zagreb

UDK 654.91:621.315.8
PREGLEDNI ČLANAK

Iznosi se problematika konstrukcije i osiguranja kvalitete pri proizvodnji lakoga podmorskoga optičkog kabela QERE-R4.2 tvornica ABB Norsk-Kabel primijenjenog za otočnu vezu.

Ključne riječi: laki podmorski optički kabel, proizvodnja, konstrukcija.

1. UVOD

Izgradnjom otočne dalekovodne 110 kV veze, osim energetskog povezivanja i telekomunikacijski će se povezati južna Hrvatska sa sjevernom Hrvatskom. Telekomunikacijsko povezivanje u većem dijelu ostvarit će se optičkim vodičima ugrađenim u zaštitno uže dalekovoda. Pošto je otočna veza na određenim dijelovima riješena energetskim podmorskim 110 kV kabelima, bilo je nužno predvidjeti na tim dionicama i podmorski optički kabel. Predviđene su tri podmorske dionice:

1. Podmorska dionica između otoka Raba i Paga u dužini 11,5 km, gdje se optički kabel polaže na dubinu 110 m između dvije žile 110 kV energetskog kabela koje se na ovoj dionici polažu na razmaku 150 m.
2. Podmorska dionica između otoka Paga i kopna prema TS 110 kV Nin, gdje se optički kabel polaže u dužini 2,5 km na dubinu od 17 m između dvije žile 110 kV energetskog kabela koje se polažu na razmaku 25 m.
3. Podmorska dionica između otoka Paga i kopna prema TS Karlobag, gdje se optički kabel polaže u dužini 2,5 km na dubini 70 m između dvije žile energetskog kabela koje se polažu na razmaku 100 m.

Podmorske kabelske dionice završavaju u kabelskim kućicama gdje se nalaze spojne kutije za optičke vodiče kako bi se prešlo na zračni vod, to jest spoj između optičkih vodiča u podmorskom kabelu s optičkim vodičima u zaštitnom užetu dalekovoda.
U sklopu izgradnje otočne veze nabavljen je podmorski optički kabel tvrtke ABB Norsk kabel tipa QERE - R4.2.

2. TEHNIČKI PROBLEMI KONSTRUKCIJE OPTIČKIH PODMORSKIH KABELA

Primjena optičkih vodiča u podmorskim kabelima, osim očitih prednosti pri rješavanju telekomunikacijskih zadaća, pred konstruktore, projektante i eksploataciju postavlja niz problema na rješavanju i osiguranju kvalitete kako optičkih vodiča, tako i podmorskih kabela u realnim uvjetima eksploatacije.
Ispod mora, na većim i manjim dubinama, gdje se polažu podmorski kabeli, može biti raznih, pa i ekstremnih fizičkih i kemijskih utjecaja na podmorske kabele, kao i na same optičke vodiče.
Fizičke utjecaje na podmorske kabele možemo podijeliti na mehaničke, temperaturne i električke utjecaje, a kemijski se utjecaji svode na djelovanje korozije, prodor vode odnosno vlage u kabel i, posebno, difuziju vodikovih molekula u kabel odnosno generiranje vodikovih molekula u samome kabelu.

2.1. Mehanička naprezanja

U samoj ideji polaganja kabela ispod mora, na veće dubine, implicirana su određena mehanička naprezanja kako pri polaganju kabela, tako i pri njegovoj eksploataciji, koja ne smiju imati nikakvih utjecaja na optičke vodiče u mehaničkom smislu. Osim nominalnih nateznih sila, podmorski optički kabeli moraju izdržati i sva ostala dodatna mehanička naprezanja, kao savijanje, torziju, gnječenje, udarac te hidrostatske pritiske vode u ovisnosti o dubini polaganja za koju su projektirani.

2.2. Temperaturni utjecaji

Osim za vrijeme skladištenja i transporta, na podmorski kabel neće djelovati posebno izraženi temperaturni utjecaj, no kabeli se ispituju u temperaturnoj domeni od -30 do $+60\,^{\circ}C$.

2.3. Električki utjecaji

Pod električkim utjecajima moguće je zamisliti djelovanje potencijalnih lijevaka zbog udara groma ili djelovanje struja kratkog (zemnog) spoja pri paralelnom vođenju podmorskih optičkih kabela s podmorskim energetskim kabelima.

Energija, god. 43 (1994) 6, 345 – 348

2.4. Kemijski utjecaji

Kemijski utjecaji imaju najveće značenje za životni vijek podmorskih optičkih kabela. Poznato je da prodorom vode odnosno OH-skupina u staklo njegova fizička čvrstoća bitno slabi i staklo je podložno lomljenju. Osim toga, prodorom vode u staklo bitno se povećava disperzija u staklenom vlaknu te time i gušenje staklenog vlakna u odnosu na vođenje svijetlosti, što na kraju može dovesti do njegove neupotrebljivosti za zadanu funkciju.

Može se reći da je glavni zadatak pri konstrukciji podvodnih kabela s optičkim vodičima djelotvorno štićenje od prodora vode odnosno molekula vodika do optičkih vodiča, gdje je, posebno na većim dubinama, zbog hidrostatskog tlaka povećana difuzija vode i molekularnog vodika kroz slojeve raznih vrsta plastičnih naterijala. Osim direktnog prodora vode u kabel, pri konstrukciji podmorskog kabela uzimaju se u obzir i drugi izvori vodika i OH-skupina.

Pokazuje se da je najvažniji izvor vodikovih molekula kod podmorskih kabela elektrokemijska korozija zaštitnog opleta (armature) od galvaniziranih čeličnih žica. Zbog kontaktnih potencijala raznih metala upotrijebljenih za konstrukciju kabela u prisutnosti i najmanjih količina vode stvaraju se elektroliti i dolazi do elektrolitičkog nagrizanja materijala pri čemu nastaje vodik.

Zaštita optičkih vodiča od negativnoga djelovanja vodika difundiranog kroz kabelsku konstrukciju ili nastalog unutar kabelske konstrukcije izvodi se na različite načina. Najčešći i najskuplji način zaštite jest primjena zaštitne barijere protiv difuzije vodika, a koja se sastoji od hermetički zavarene metalne tube od olova, bakra ili aluminija oko jezgre kabela u kojoj se nalaze optički vodiči. Na tom načelu danas je moguće naći različite konstrukcije podmorskih optičkih kabela sa zaštitom jezgre kabela na bazi metalne tube u kombinaciji s potrebnom armaturom i plaštom od polietilena visoke gustoće.

Moguće su kontrukcije podmorskih optičkih kabela s optičkim vodičima uloženim u cjevčice od plemenitog čelika koje djelotvorno štiti od prodora vodika do optičkih vodiča. Takva slična tehnologija danas se koristi za ugradnju optičkih vodiča u zaštitnu užad dalekovoda. Danas se proizvode i energetski podmorski kabeli s armaturom u koju su već ugrađene cjevčice od plemenitog čelika s optičkim vodičima.

Jedan od novijih načina za zaštitu od prodora vodika do optičkih vodiča što ga je primijenila norveška tvornica »ABB Norsk kabel«, jest primjena želatinoznog punila koje upija difundirane molekule vodika, kemijski ih vežući na sebe. No, apsorbirajuće želatinozno punilo ima ograničenu moć vezanja vodikovih molekula. Stoga se pri takvim konstrukcijama posvećuje posebna pozornost izvorima vodikovih molekula kako bi se emisija vodika što više smanjile. Pri tome je osnovno provesti djelotvornu zaštitu od korozije armirajućeg sloja sastavljenog od galvaniziranih čeličnih žica kao glavnog izvora vodikovih molekula unutar kabela.

Upotreba asfalta kao tradicionalnog zaštitnog sredstva za podmorske kabele pokazuje se kao nedovoljna zaštita protiv korozijskih procesa koji u tome slučaju generiraju velike količine vodika i u takvim konstrukcija nije moguće izbjeći metalnu tubu za zaštitu jezgre kabela.

Korozijska zaštita sa smanjenim generiranjem vodika postiže se armaturom od plemenitog čelika u plastičnome plaštu, ali to evidentno podiže cijenu takvim konstrukcijama.

Jeftinija, atraktivnija i dokazano pouzdana jest primjena armature od galvaniziranih čeličnih žica kompaudirana bitumenom u debelom plaštu od polietilena visoke gustoće. Posebna se pozornost posvećuje kompaudiranju da bi se izbjegle eventualne šupljine u kojima bi se mogla skupljati vlaga. Budući da u naravi uvijek dolazi do korozijskog procesa, pa makar i u ograničenim razmjerima, to će uvijek biti određenog generiranja vodika. Praktična iskustva pokazuju da se bez primjene apsorbirajućega želatinoznog punila, ali s primjenom opisane zaštite armature od korozije povećava gušenje optičkog vodiča, praktički zbog pri proizvodnji zaostale vlage u kabelu. Povećanje gušenja iznosi $< 0{,}03$ dB/km kod 1310 nm i $< 0{,}06$ dB/km pri 1 550 nm. No i tako mali porast gušenja može biti neprihvatljiv za dugačke kabelske sustave.

Praktična opažanja pokazuju da je glavni problem s generiranjem vodika u takvim kabelima u vezi s početnom korozijom potaknutom s vlagom unesenom u kabel pri produkciji samog kabela.

Početna korozija nastupa bez obzira na to je li kabel bio položen u more ili ne. Generacija vodika prestane nakon što se pri produkciji unesena vlaga razložila i pritisak vodika unutar kabela dostigne svoju konačnu i maksimalnu vrijednost.

Mjerenjem je ustanovljeno da su uskladišteni kabeli na temperaturi 15 °C u roku tri mjeseca dostigli ovu točku saturacije, da se nakon toga pritisak vodika u kabelu smanjivao i da je vodik izlazio iz kabela, što je rezultiralo polaganim smanjenjem gušenja na 1 240 nm. Testovi umjetnog starenja ubrzavaju oba procesa. Pri nižim temperaturama ovi procesi se usporavaju, pa tako ispod mora na temperaturama 4 – 5 °C treba očekivati završetak ovih procesa za 3 – 24 mjeseca, što ovisi o tipu kabela.

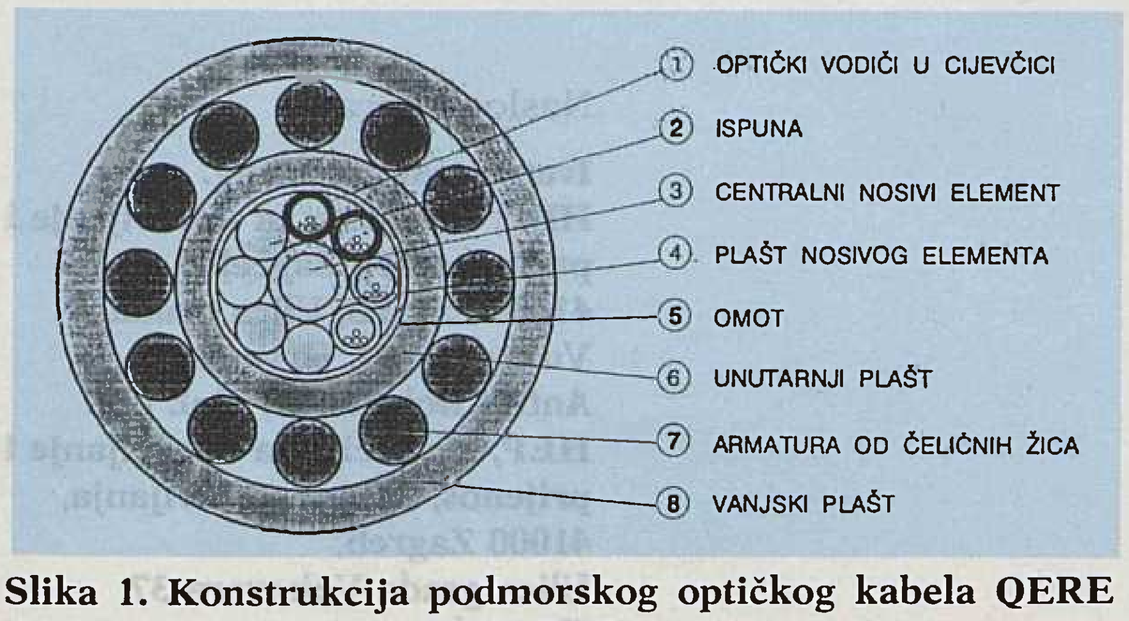
Budući da je u opisanom procesu dokazano da je količina vodika dobivena početnom korozijom limitirana, moguće je primjenom želatinoznog punila za apsorbiranje molekula vodika u potpunosti izbjeći početnu saturaciju kabela vodikom. Za opisane kabele procijenjeno je da se po metru dužnom generira pet kubičnih centimetara vodika (5 cm^3/m) pri procesu početne korozije. Jedan gram želatine u mogućnosti je apsorbirati $> 1{,}5$ cm^3 vodika. Budući da se u jedan dužni metar ugrađuje približno 10 grama želatine to je mogućnost apsorpcije vodika po metru dužnom 15 cm^3/m, a što je tri puta više od procijenjene potrebne vrijednosti. Mjerenje na gotovim kabelima pokazala su efikasnost ove metode. No najveći dobitak i pored relativno skupe želatine jest u tome da nije potrebno ništa mijenjati u samom procesu izrade kabela.

Govoreći o prodiranju vodikovih molekula u podmorski kabel potrebno je nešto reći i o primijenjenim polimernim materijalima za izradu plašta kabela. Poznato je da niti jedan polimerni materijal nije potpuna barijera za prodor vodikovih molekula odnosno OH-skupina. Najbolja svojstva u tome pogledu ima polietilen i polietilen visoke gustoće. Otpornost polimernog kabelskog plašta na difuziju vodikovih molekula ovisi o njegovoj debljini. S obzirom da debljina zaštitnog plašta podmorskih kabela nije kritična, to i životni vijek kabela iz tog razloga neće biti ograničen.

3. KABEL QERE — R4.2 PROIZVODNJE ABB – NORSK KABEL

U Norveškoj su podmorski optički kabeli u širokoj upotrebi uzduž cijele obale gdje su dio magistralnih, regionalnih i lokalnih telekomunikacijskih mreža. Kabeli su položeni uzduž i poprijeko fjordova, od kopna prema otocima kao i između otoka uz upotrebu visoko precizne tehnike polaganja. Vrlo često se podmorski kabeli koriste za polaganje na jezerima i uzduž rijeka. U posljednjih deset godina u Norveškoj je položeno više od 2 500 km podmorskih optičkih kabela, i to na dubinama od 20 do 1 000 metara. Svi položeni podmorski optički kabeli otvorenih su konstrukcija bez difuzijske barijere u obliku metalne tube.

Za podmorske dijelove otočne veze primijenjen je optički podmorski kabel tipa QERE-R.4.2. (sl. 1). Vanjski plašt kabela izrađen je od polietilena visoke gustoće. Armatura je izrađena kao što je već rečeno od galvaniziranih čeličnih žica kompaudiranih u bitumenu. Armatura je vrlo jaka i štiti kabel od neteznih sila pri polaganju i do dubine od 1 000 metara, te sprečava uzlanje i stvaranje petlji na kabelu.



Slika 1. Konstrukcija podmorskog optičkog kabela QERE — R4.2

Jezgra kabela je u cijelosti punjena želatinom da bi se spriječio prodor vlage i vodikovih molekula. Optičke niti nalaze se u želatinom punjenim cjevčicama upredenim oko centralnoga nosivog elementa. Svako vlakno i svaka cjevčica označeni su bojama radi lake identifikacije svake od njih.

3.1. Osnovni podaci za kabel su:

Maksimalna natezna sila za vrijeme polaganja		— 63 000 N
Maksimalna natezna sila u		
pogonu		— 27 000 N
pritisak		— 20 000 N/10 cm
udarac		— 200 J
sukanje		— 1 okret/50 m
promjer savijanja		—1 500 mm
vodonepropusnost		< 3 m/24 sata
Temperaturni raspon		
u pogonu		— -40°C do +60°C
pri polaganju		— -10°C do +60°C
skladištenje		— -40°C do +70°C
broj optičkih vodiča		— 12
tip		— monomodni
gušenje	1 300 nm	— < 0.4 dB/km
	1 550 nm	< 0.3 dB/km
disperzija	1 285 — 1 300 nm	— < 3.5 ps/nm.km
	1 550 nm	— < 20 ps/nm.km

4. PLAN OSIGURANJA KVALITETE (QA) PRI PROIZVODNJI OPTIČKIH KABELA

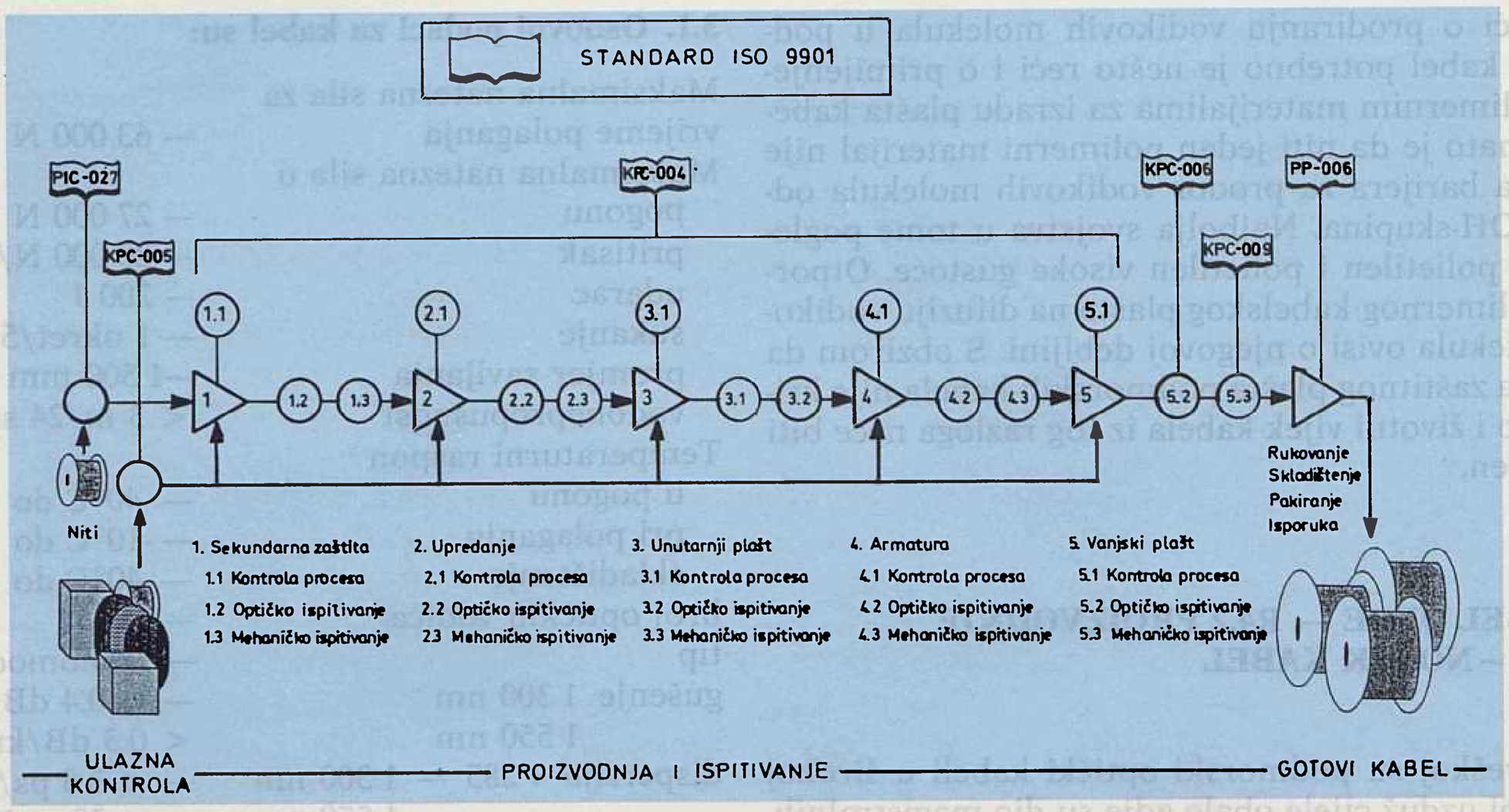
Podobnost proizvođača za postizanje zahtjevne kvalitete općenito se ocjenjuje na osnovi njegova programa za osiguranje kvalitete i neposrednog provjeravanja provođenja odluka u svim fazama izvođenja takvog programa. Reference za implementiranje programa osiguranja kvalitete su standardi serije ISO 9000 od kojih je standard ISO 9001 QUALITY SYSTEMS ključan za oiguranje kvalitete pri projektiranju, razvoju, proizvodnji, montaži i servisiranju opreme.

Tvornica ABB Norsk kabel posjeduje vlastiti program osiguranja kvalitete baziran na ISO 9001 standardu koji je shematski prikazan na slici 2, a koji se temelji na sljedećim dokumentima Norveškog sustava za osiguranje kvalitete.

PIC — 027 — ulazna kontrola i snimanje optičkih niti
KPC — 004 — ispitivanje optičkog kabela tijekom procesa
KPC — 005 — ulazna kontrola i ispitivanje materijala
KPC — 006 — optička završna kontrola i ispitivanje optičkog kabela
KPC — 009 — fizički zahtjevi, natezna sila, istezanje
PP — 006 — rukovanje, skladištenje, pakiranje isporuka.

5. ISPITIVANJA PRI PREUZIMANJU U TVORNICI ISPORUČITELJA

Pri preuzimanju opreme u tvornici isporučitelja bitan su element standardi u odnosu prema kojima će se izvršiti ispitivanja. Kada ne postoje nacionalni standardi, a područje još nije u potpunosti pokriveno IEC standardima, vrijedi pravilo da se za osiguranje kvalitete primijene standardi zemlje iz koje dola-



Slika 2. Blok-shema osiguranja kvalitete kod proizvodnje optičkih kabela

zi tehnologija izrade konkretnog proizvoda. U našem slučaju to je Norveška.
Na pripremljenoj količini optičkog kabela za isporuku potrebno je provjeriti:

1. osnovne fizičke karakteristike na početku i kraju kabela (dimenzije, težina i sl.),
2. svjetlovodne karakteristike vlakana
   — svjetlosno slabljenje (za svako vlakno)
   — jednakomjernost povratnog rasipanja
   — disperziju
   — određivanje granične valne dužine (po izboru),
3. po izboru i dogovoru s isporučiteljem moguće je upriličiti i ponavljanje ponekoga tipskog ispitivanja.

6. ZAKLJUČAK — ŽIVOTNI VIJEK OPTIČKOG PODMORSKOG KABELA QERE — R4.2

Za kakvoću odnosno životni vijek podmorskog kabela važan je izbor kvalitetnog materijala za njegovu izradbu, kao i odgovarajuća konstrukcija.
Više od 30 godina iskustva s telefonskim podmorskim kabelima, izoliranim plastikom gdje su osnovne značajke materijala ostale nepromijenjene i duže od 25 godina eksploatacije, daje konstruktorima mogućnost za dizajniranje takvog kabela.
Posebna pozornost posvećena je generiranju vodika korozijom, što je već rečeno, a novost u konstrukciji jest primjena želatinoznog punila koje upija vodikove molekule te time omogućuje primjenu ovakve konstrukcije s životnim vijekom od najmanje 25 godina.

LITERATURA

Tvornički članci.

SUBMARINE OPTICAL CABLE FOR THE ISLAND CONNECTION

The problems of construction and quality assurance in the production of the light submarine optical cable QERE-R4.2 of the ABB Norsk-Kabel factory, used for the island connection, are described.

OPTISCHER UNTERSEEKABEL FÜR DIE »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Dargelegt wird die Problematik des Aufbaues und der Qualitätssicherung des leichten optischen Unterseekabels QERE-R4.2 der Fabrik »ABB Norsk — Kabel« anläßlich seiner Herstellung für die »Über-Inseln-Verbindung«.

Naslov pisaca:

Ivan Perak, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Prp Zagreb,
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Antun Bobanović, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Sektor upravljanja,
41000 Zagreb,
Ulica grada Vukovara 37,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-08.

PODMORSKI I PODZEMNI ENERGETSKI KABELI 110 kV U PROJEKTU »OTOČNA VEZA«

Mr. Josip Savićević, Split

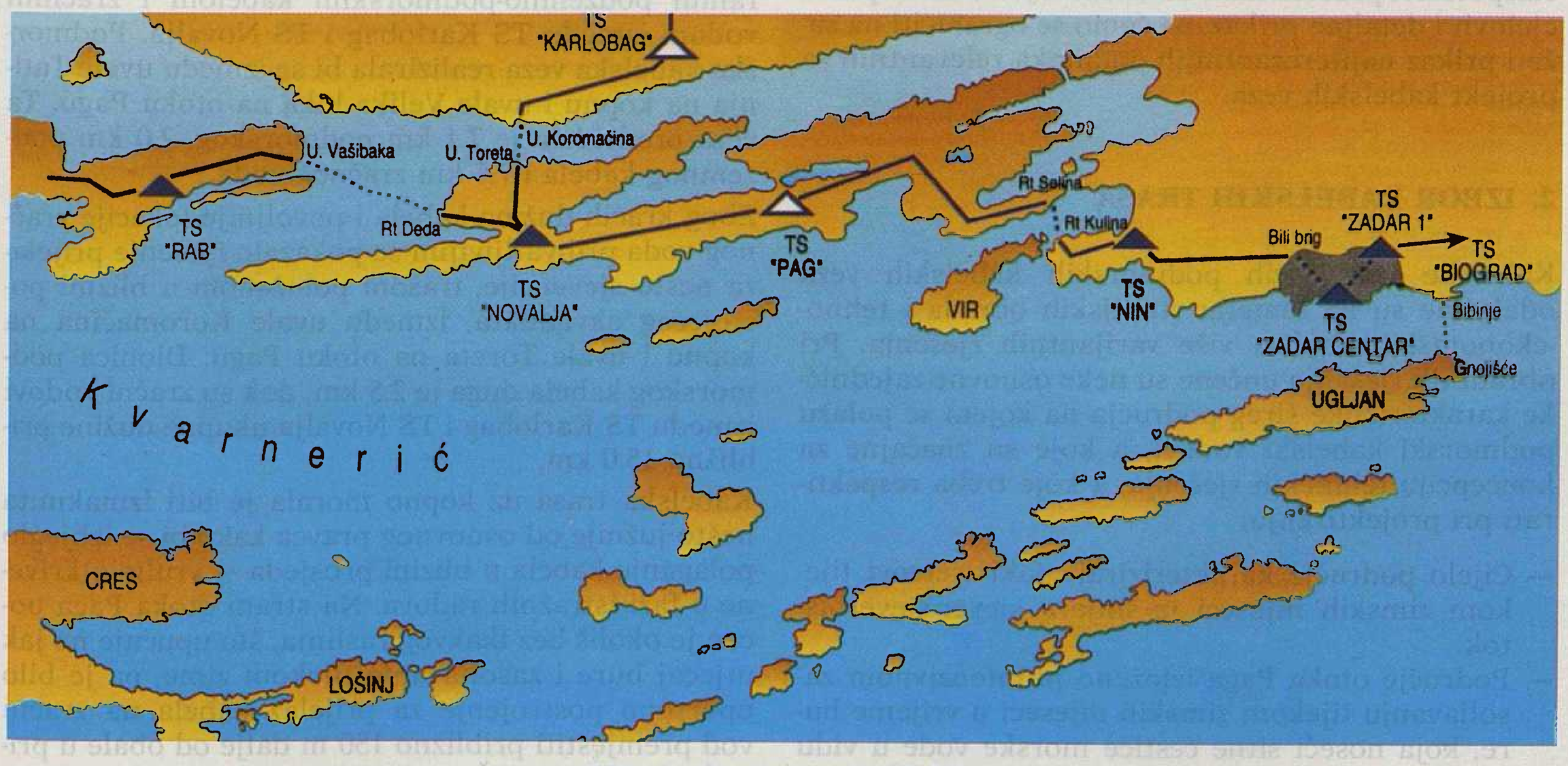
UDK 621.315.21
PREGLEDNI ČLANAK

Projekt povezivanja sjevernodalmatinskih otoka u EES-Hrvatske na razini 110 kV složen je projektantski pothvat. U razdoblju od nepune godine dana projektirano je, izgrađeno i stavljeno u funkciju gotovo 100 km nadzemnih vodova, oko 25 km trofaznih podmorskih i podzemnih kabelskih vodova te nekoliko postrojenja. Ovaj pothvat odvijao se pod radnim nazivom »Otočna veza«.
U članku je dan kratki pregled najbitnijih aktivnosti tijekom izradbe projektne dokumentacije kabelskih veza. Dani su neki osnovni podaci o podmorskim trasama i prikazan je dio najinteresantnijih tehničkih rješenja.

Ključne riječi: »otočna veza«, podmorski kabel, energetski kabel 110 kV.

UVOD

Izgradnjom nadzemnih elektroenergetskih vodova visokog napona duž sjevernodalmatinskih otoka i njihovim međusobnim povezivanjem podmorskim energetskim kabelima omogućena je veza konzuma sjevernodalmatinskih otoka na dvije čvrste točke energetskog sustava poduprte mrežom 400 kV: TS Meline i RHE Obrovac.
U vrijeme privremenog pogona elektroenergetskog sustava Dalmacije bez mreže 400 kV, ovom vezom osigurana je cjelovitost EES Hrvatske na naponskoj razini 110 kV, i dvostrana opskba grada Zadra. Kako bi ova veza s obzirom na nižu naponsku razinu energetski stabilno funkcionirala i u kritičnim periodima omogućila prijenos dovoljnih količina energije u južna područja, u drugoj je fazi realizacije, samo neznatno vremenski pomaknuta u odnosu na magistralnu vezu Meline-Zadar. Predviđa se povezivanje izvora na području Like i sjeverne Dalmacije na magistralni vod u točki TS Novalja.
Radni naziv cjelovitog projekta izgradnje energetskih i telekomunikacijskih vodova preko sjevernodalmatinskih otoka do Zadra jest **otočna veza**. Geografski položaj objekata koji se realiziraju ovim projektom i način njihova uklapanja u EES Hrvatske prikazan je na sl. 1.



Slika 1. »Otočna veza« 110 kV

1. OPSEG PROJEKTNIH RADOVA

Sjeverni dio »otočne veze« izgrađen je u prvoj fazi, i to na sjeveru do TS Rab, i na južnom dijelu od TS Nin od TS (35/10 kV) Novalja s izuzetkom kabelskog prijelaza 110 kV s kopna na otok Pag kod otoka Vira i kabelsko-zračnog voda od TS Novalja do TS Karlobag. U drugoj fazi, koja je planirana tijekom 1993/94. godine, izgrađen je preostali dio zračnih i kabelskih vodova 110 kV te dio pripadnih rasklopnih postrojenja.

Projektnu dokumentaciju svih podmorskih i podzemnih kabelskih veza 110 kV i pripadnih rasklopnih postrojenja izradili su Projektni biro Hrvatske Elektroprivrede iz Splita.

U sklopu ovog pothvata projektirani su i izvedeni sljedeći objekti:

- Podmorska kabelska veza 110 kV o. Rab — o. Pag (u. Vašibaka 1 – rt Deda)
- Podmorska kabelska veza kopno — o. Pag (u. Koromačina — u. Toreta)
- Podmorska kabelska veza kopno — o. Pag (rt Kulina – rt Selina)
- Podmorska kabelska veza kopno — o. Ugljan (Bibinje — Kukljica)
- Podzemna kabelska veza Bili Brig — TS Zadar Centar — TS Zadar 1
- TS 110/35 — 35/10(20) kV Novalja
- TS 110/10(20) kV Pag
- TS 110/35 — 110/10(20) kV Nin — polje 110 kV Novalja
- TS 110/10(20) kV Zadar Centar
- TS 110/35 kV Zadar 1 — polje 110 kV Zadar Centar.

U sklopu opsežnih projektantskih poslova koji su obavljeni dan je niz suvremenih rješenja, što je pridonijelo efikasnoj, brzoj i nadasve racionalnoj gradnji objekata.

Raspoloživi prostor nam na ovom mjestu ne dopušta cjelovit i detaljan prikaz, pa ćemo se ograničiti na sažeti prikaz najiteresantnijih podataka relevantnih za projekt kabelskih veza.

2. IZBOR KABELSKIH TRASA

Kabelske trase svih podmorskih kabelskih veza odabrane su na temelju studijskih obrada i tehno-ekonomskih analiza više varijantnih rješenja. Pri obradi tih rješenja uočene su neke osnovne zajedničke karakteristike šireg područja na kojem se polažu podmorski kabelski vodovi, a koje su značajne za koncepciju tehničkih rješenja, a koje treba respektirati pri projektiranju:

— Cijelo područje karakteriziraju jaki vjetrovi tijekom zimskih mjeseci iz smjera sjever-sjeveroistok.
— Područje otoka Paga izloženo je intenzivnom zasoljavanju tijekom zimskih mjeseci u vrijeme bure, koja noseći sitne čestice morske vode u vidu prašine stvara fenomen »posolice« — taloženja vodljivog sloja na dijelovima elektroenergetskih postrojenja.
— Priobalje na sjevernom Jadranu je kamenito, s mjestimičnim grebenima i rasjedima, s intenzivnim abrazijskim djelovanjem mora u vrijeme bure, dok je obala na srednjem Jadranu položenija i dubine u priobalju su manje, pa je i intenzitet djelovanja mora blaži.

Kabelska veza 110 kV o. Rab — o. Pag analizirana je kroz tri varijante u [2]. Razmatrana su rješenja različitih odnosa dužina podmorskih i zračnih dionica između točaka TS Rab i TS Novalja. Tako npr. najkraća promatrana kabelska trasa između o. Raba i o. Paga iznosi 5.9 km, a najduža 19.4 km. Optimiranjem hidrografskih, meteoroloških, ekoloških i oceanografskih uvjeta trasa te tehno-ekonomskih parametara izgradnje i eksploatacije vodova odabrana trasa položena je između uvale Vašibaka na otoku Rabu i rta Deda na otoku Pagu.

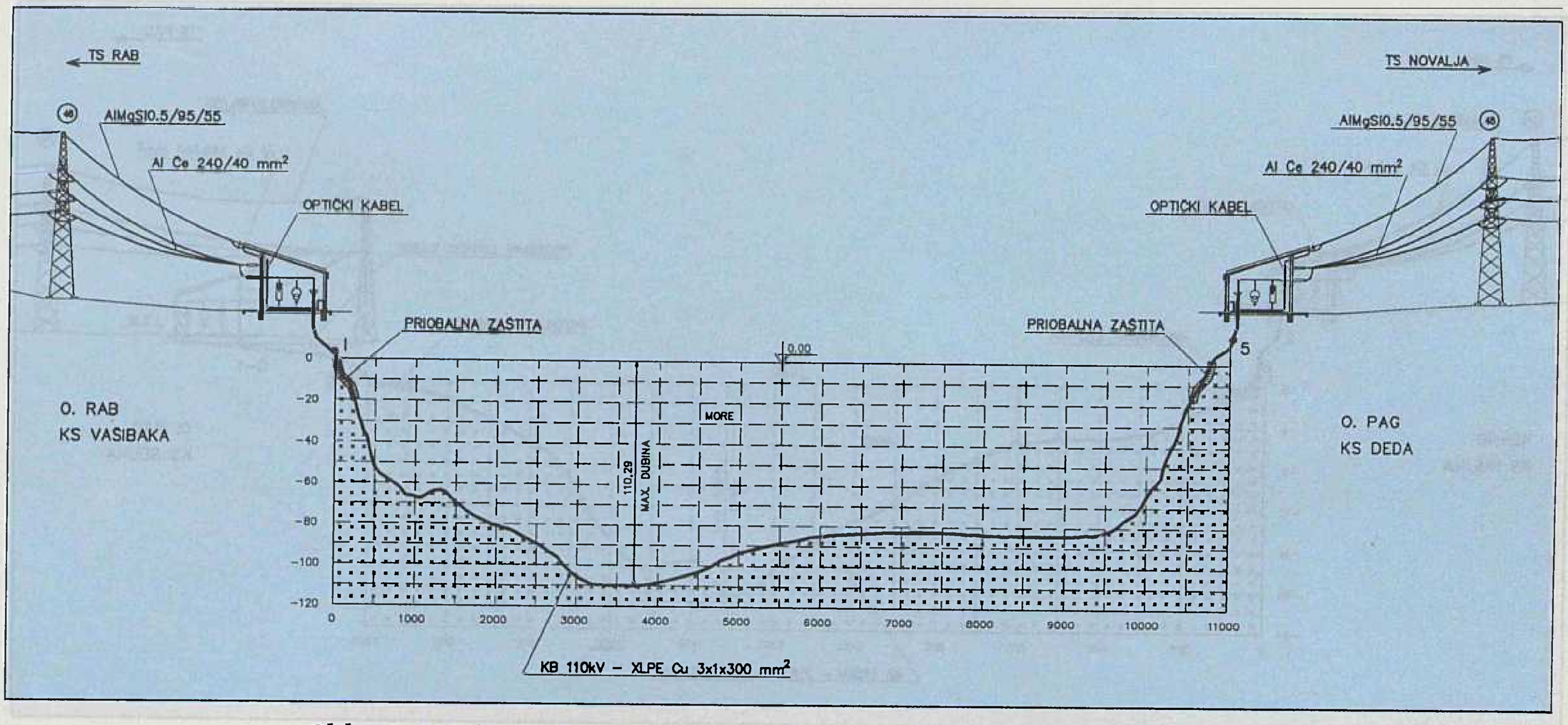
Podmorskim istražnim radovima otkriveno je u priobalju, s obje strane, više većih podvodnih grebena, tako da je trasa morala biti korigirana u pet lomnih točaka uz obalu o. Raba i dvije lomne točke uz obalu o. Paga. Tri jednožilna energetska kabela položena su na međusobnoj udaljenosti od približno 150 m, a optički kabel položen je između faze »0« i »4«. Na slici 2. shematski je prikazan uzdužni profil ove trase.

Kabelska veza 110 kV kopno — o. Pag planirana je na sjevernom i južnom dijelu otoka. Na sjevernom dijelu otoka Paga ta veza predstavlja podmorsku dionicu dalekovoda TS Karlobag — TS Novalja, dok na južnom dijelu otoka predstavlja podmorski dio voda od TS Nin do TS Novalja.

Trasa podmorskog kabela na sjevernom dijelu otoka odabrana je nakon provedenih tehno-ekonomskih analiza nekoliko varijanti, od kojih su dvije najzanimljivije i podrobnije obrađene. Prema prvoj varijanti [3], veza kopno — o. Pag ostvaruje se kombiniranim podzemno-podmorskim kabelom i zračnim vodom između TS Karlobag i TS Novalja. Podmorska kabelska veza realizirala bi se između uvale Tatinja na kopnu i uvale Velika luka na otoku Pagu. Ta veza predviđala je 7.1 km podmorskog, 2.0 km podzemnog kabela i 7.5 km zračnog voda.

Zbog kraćih dužina kabela i povoljnije lokacije zračnog voda prihvatljivijim se pokazalo rješenje prijelaza nešto sjevernije, trasom položenom u blizini postojećeg akvadukta, između uvale Koromačina na kopnu i uvale Toreta na otoku Pagu. Dionica podmorskog kabela duga je 2.5 km, dok su zračni vodovi između TS Karlobag i TS Novalja ukupne dužine približno 15.0 km.

Kabelska trasa uz kopno morala je biti izmaknuta nešto južnije od osnovnog pravca kako bi se izbjeglo polaganje kabela u blizini prosjeda — vrulje otkrivene u fazi istražnih radova. Na strani otoka Paga uočen je okoliš bez ikakvog raslinja, što upućuje na jak utjecaj bure i zasoljavanje tijekom zime, pa je bilo oportuno postrojenje za prijelaz kabela na zračni vod premjestiti približno 150 m dalje od obale u prirodni zaklon iza manje uzvisine. Tri jednožilna ener-



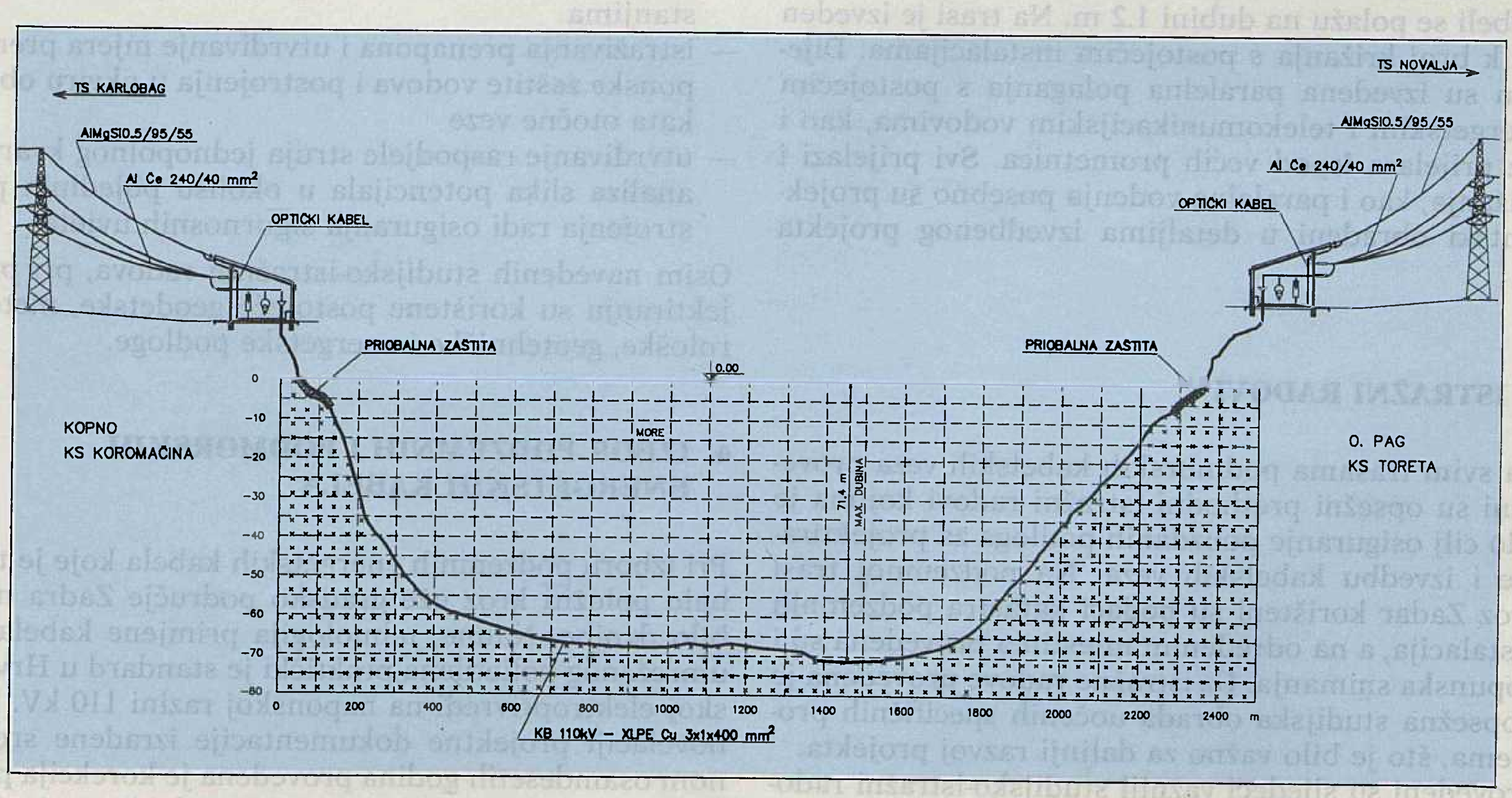
Slika 2. 110 kV podmorska veza o. Rab — o. Pag, uzdužni profil trase

getska kabela položena su na međusobnoj udaljenosti 100 m, a između faza »0« i »4« položen je optički kabel. Uzdužni profil ove trase prikazan je shematski na sl. 3.

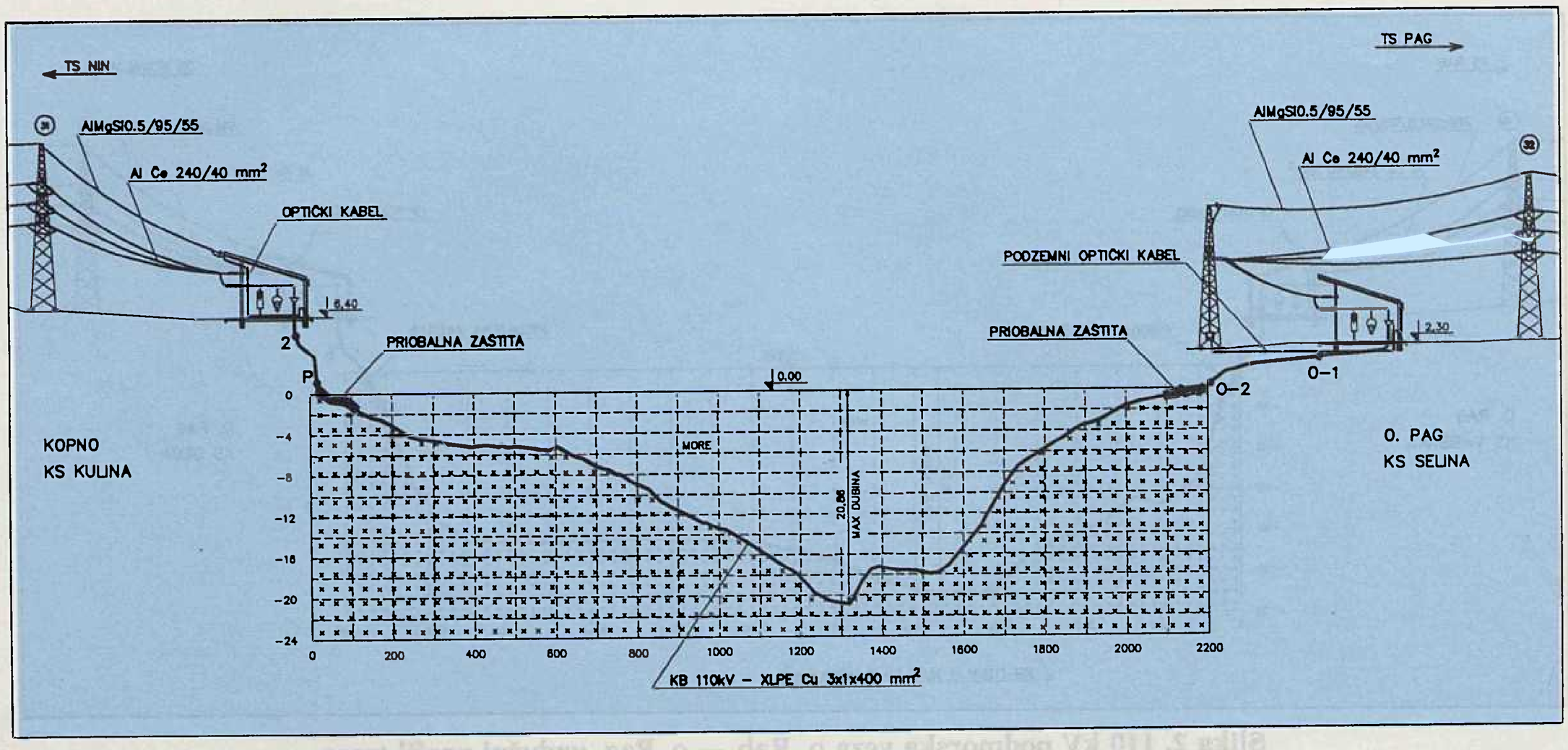
Trasom podmorskog kabela na južnom dijelu otoka premošten je Ninski zaljev na području Kupare sjeverozapadno od mjesta Privlaka. Ovaj kabelski prijelaz prirodno se uklapa u trasu zračnog voda i planiran je na mjestu najmanje udaljenosti dviju obala, gdje su već prije položena dva podmorska 35 kV distributivna kabela. U fazi optimiranja rješenja ovog prijelaza, uz kabelsko rješenje razmatrano je i rješenje zračnog premoštenja Ninskog zaljeva korištenjem dvaju postojećih grebena u plitkom moru zaljeva koji bi poslužili kao mjesto temeljenja stupova nadzemnog voda. Kriteriji pouzdanosti pogona i ekonomski pokazatelji pokazali su da je podmorska varijanta u klimatskim uvjetima na ovoj lokaciji znatno povoljnija.

Karakteristika priobalja ove trase vrlo je spor porast dubine mora uz obalu, posebno na strani Paga. Najveća dubina na trasi ne prelazi 18 m. Na ovom području zabilježeno je intenzivno zasoljavanje i posolica koja na vodovima u vrijeme pojave južnog vjetra znatno snižava njihove izolacijske sposobnosti. Navedene značajke respektirane su pri projektiranju kabelske veze na ovoj trasi. Tri jednožilna energetska kabela položena su na međusobnoj udaljenosti od približno 25 m, a optički kabel položen je između faze »0« i »4«. Uzdužni profil ove trase prikazan je shematski na sl. 4.

Podzemna kabelska veza 110 kV Bili Brig — TS Zadar 1 projektirana je i izvedena kao jedino tehnički i ekonomski opravdano rješenje energetskog povezi-



Slika 3. 110 kV podmorska veza kopno (u. Koromačina — o. Pag (u. Toreta) — uzdužni profil trase



Slika 4. 110 kV podmorska veza kopno (rt Kulina) — o. Pag (rt Selina) — uzdužni profil trase

vanja zračnog voda 110 kV iz smjera Nin na postojeći objekt TS Zadar 1 koji je smješten u sada već potpuno urbaniziranom dijelu grada bez pristupnih koridora za zračne vodove u smjeru sjevera. Trasa je od TS Zadar 1 položena u postojeće gradske prometnice (Jadranska cesta, Novakova, A. Starčevića) do gradskog stadiona, gdje je u izgradji nova TS 110/20 kV Zadar Centar s postrojenjem 110 kV u SF6 izvedbi. Dužina te kabelske dionice iznosi približno 2.5 km. Trasa kabela je dalje usmjerena prema sjeverozapadu (Put stanova, M. Oreškovića, Splitska, Hrvatskog sabora) do kabelske stanice Bili brig u kojoj je izveden prijelaz na zračni vod. Ovaj dio kabelske trase projektiran je na način da je u perspektivi na dionici TS Zadar Centar — Bili brig moguće položiti još jedan kabelski vod 110 kV.

Kabeli se polažu na dubini 1.2 m. Na trasi je izveden velik broj križanja s postojećim instalacijama. Dijelom su izvedena paralelna polaganja s postojećim energetskim i telekomunikacijskim vodovima, kao i niz prijelaza ispod većih prometnica. Svi prijelazi i križanja, kao i paralelna vođenja posebno su projektantski obrađeni u detaljima izvedbenog projekta [4].

3. ISTRAŽNI RADOVI

Na svim trasama podmorskih kabelskih veza provedeni su opsežni prethodni istražni radovi kojima je bilo cilj osiguranje pouzdanih podloga za projektiranje i izvedbu kabelskih veza. Na podzemnoj trasi kroz Zadar korišteni su podaci katastra podzemnih instalacija, a na određenim mjestima provedena su i dopunska snimanja. Uz istražne radove provedena je i opsežna studijska obrada uočenih specifičnih problema, što je bilo važno za daljnji razvoj projekta.

Provedeni su sljedeći važniji studijsko-istražni radovi:

- geodetske, hidrografske, geomorfološke, geološke i oceanografske obrade podmorskih kabelskih trasa
- geotermička istraživanja radi utvrđivanja specifične toplinske vodljivosti tla duž podzemnih kabelskih trasa
- geoelektrična ispitivanja specifičnog otpora tla na lokacijama kabelskih stanica i postrojenja
- analize raspodjele struja u pasivnim dijelovima podmorskih energetskih kabela u uvjetima stacionarnog stanja i u slučaju kvara, te provjera dopuštenih trajnih opterećenja kabela
- analiza utjecaja elektrokorozije na vanjski oplet kabela
- analiza utjecaja energetskih kabela na telekomunikacijske vodove u stacionarnim i prijelaznim stanjima
- istraživanja prenapona i utvrđivanje mjera prenaponske zaštite vodova i postrojenja u okviru objekata otočne veze
- utvrđivanje raspodjele struja jednopolnog kvara i analiza slika potencijala u okolišu pojedinih postrojenja radi osiguranja sigurnosnih uvjeta.

Osim navedenih studijsko-istražnih radova, pri projektiranju su korištene postojeće geodetske, meteorološke, geotehničke i energetske podloge.

4. IZBOR PODZEMNIH I PODMORSKIH ENERGETSKIH KABELA

Pri izboru podzemnih energetskih kabela koje je trebalo položiti kroz uže gradsko područje Zadra nije bilo dvojbe. Naime, tehnologija primjene kabela iz umreženog polietilena praktički je standard u Hrvatskoj elektroprivredi na naponskoj razini 110 kV. Pri novelaciji projektne dokumentacije izrađene sredinom osamdesetih godina provedena je korekcija presjeka aluminijskog kabela s prije predviđenog 1 × 800

mm² na 1 × 1 000 mm² kao standardnog presjeka primijenjenoga u gradskim mrežama 110 kV Hrvatske.

Pri izboru podmorskih energetskih kabela, uz dosadašnja iskustva u građenju i eksploataciji podmorskih kabelskih vodova 110 kV, trebalo je respektirati i brz razvoj tehnologije na ovom području, posebno sa stajališta primjene umreženog polietilena kao izolacije i suvremenih konstrukcijskih rješenja u onemogućavanju uzdužnog prodiranja vlage u kabel pri eventualnom oštećenju plašta, te sprečavanju njegove deformacije pri polaganju na veće dubine. Osim toga, nužno je bilo odrediti presjek i vrstu vodiča s obzirom na namjenu ove magistralne veze.

Razrada koncepcije s prijedlogom izbora karakteristika podmorskih kabela provedena je u idejnim projektima u tijeku 1992. godine. Već prvi uvid u preliminarno prikupljene ponude ukazao je na to da tehnološka dostignuća u proizvodnji podmorskih kabela za dužine i trase koje se pojavljuju u našem slučaju, kao ekonomično rješenje, predodređuju izbor jednožilnih — suhih kabela s izolacijom iz umreženog polietilena.

Metodom optimiranja investicijskih i godišnjih troškova eksploatacije predložena je izvedba vodiča od bakra jedinstvenog presjeka 1 × 400 mm² za sve podmorske dionice otočne kabelske veze.

Nakon provedenih revizija investitora odabrani su kabeli proizvodnje tvrtke ABB sljedećih osnovnih karakteristika:

Karakteristike

	Podmorski kabeli		Podzemni kabeli
	Veza o. Rab-o. Pag	Ostale veze	B. Brig-Zadar 1
Tip kabela	FXBTV	FXBTV	AXLJ
Nazivni napon U_0/U (kV)	64/110	64/100	64/110
Presjek (mm²)	1 × 300	1 × 400	1 × 1 000
Dopušteno strujno opterećenje prema IEC			
— u moru u paraleli (A)	590	645	
— u trolistu u zemlji (A)			820
Vanjski promjer (mm)	86	86	85
Masa (kg/m)	14	15	8

Više o izboru i karakteristikama kabela dano je u [1] i [4].

5. VEZA KABELA NA ZRAČNI VOD — KABELSKE STANICE

Veze podmorskih i podzemnih kabela na nadzemne vodove izvedene su u kabelskim stanicama. U priobalnom području, posebno na otoku Pagu, intenzivni vjetrovi u zimskim mjesecima s morske površine podižu sitne čestice slane vode i stvarajući slanu maglu uzrokuju posolicu na izolaciji električne opreme na otvorenom prostoru. Iskustva u eksploataciji distributivnih postrojenja na ovom području pokazala su da je jedino ispravno rješenje ugradnja visokonaponske opreme u zatvorene objekte, koje treba tehnički tako riješiti da se onemogući kondenzacija vlage na opremi.

Tako su za povezivanje podmorskih kabela na zračne vodove Otočne veze izvedene kabelske stanice kao stabilni zatvoreni građevinski objekti. Za povezivanje podzemnog kabela na zračni vod na lokaciji Bili brig u Zadru kabelska stanica izvedena je na otvorenom prostoru.

5.1. Izvedba zatvorenih kabelskih stanica

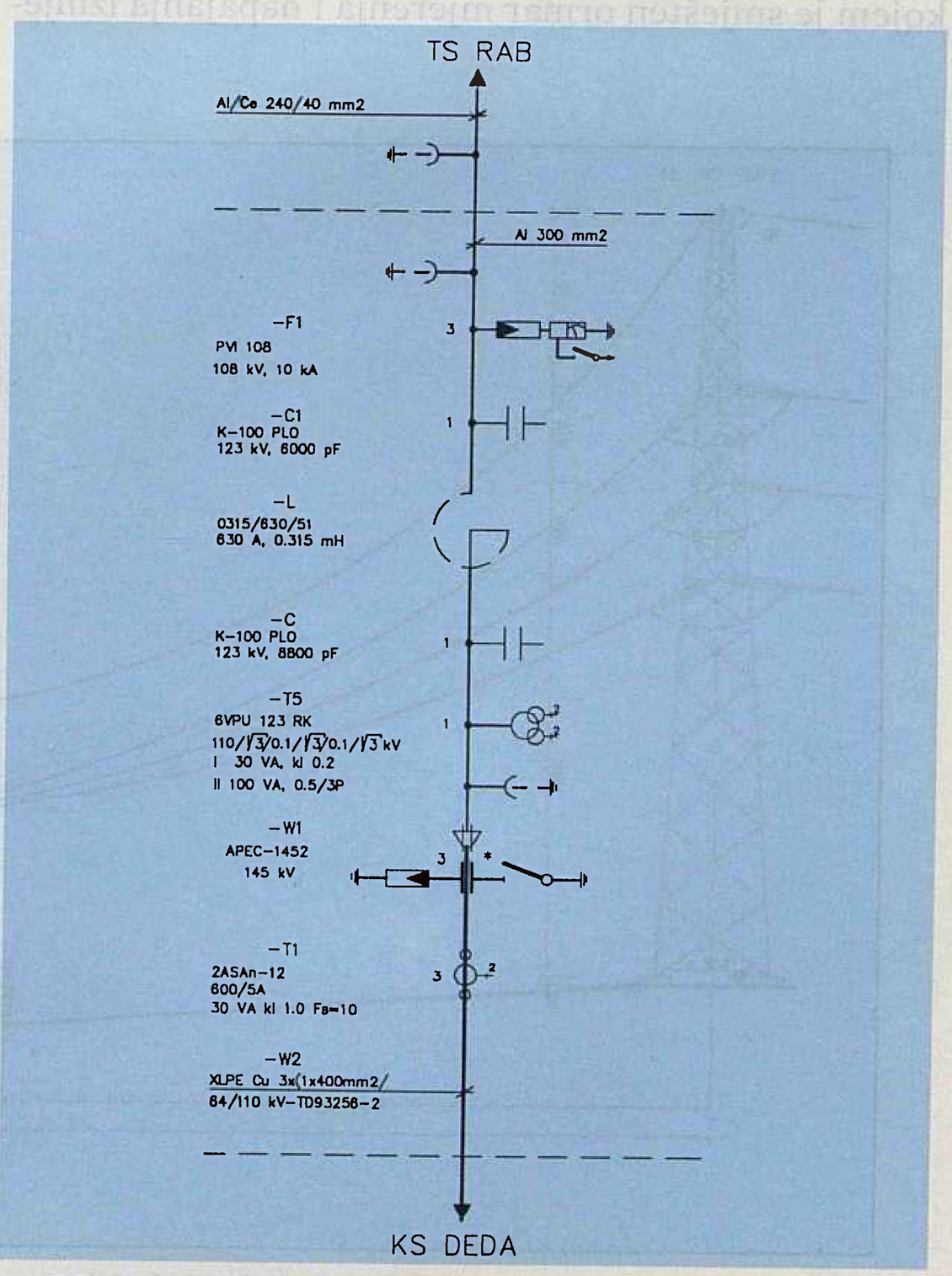
5.1.1. *Smještaj opreme*

Jednopolna shema kojom je prikazano povezivanje primarne opreme u kabelskoj stanici za vezu podmorskog kabela na zračni vod prikazana je na sl. 5.

Sva visokonaponska oprema, osim vanjskog dijela provodnih izolatora, smještena je u zgradu i na taj način zaštićena je od izravnog utjecaja atmosferilija. Zatezni izolatorski lanci i provodni izolatori zaštićeni su s gornje strane nadstrešnicom, a sa strana bočnim zidovima. Takvo rješenje prvi put se primjenjuje u domaćoj praksi polaganja kabela visokog napona s obzirom na intenzivno onečišćenje izolacije.

Objekti kabelskih stanica orijentirani su uvijek tako da su priključni izolatorski lanci i provodni izolatori zaštićeni od direktnih udara bure.

Priključak sa zračnog voda na zatezne lance i provodne izolatore na KS izveden je AlČe užetom presjeka 240/40 mm². Provod vodiča kroz zid izveden je provodnim izolatorima u silikonskoj izvedbi nazivne struje 800 A. Na provodne izolatore s unutrašnje

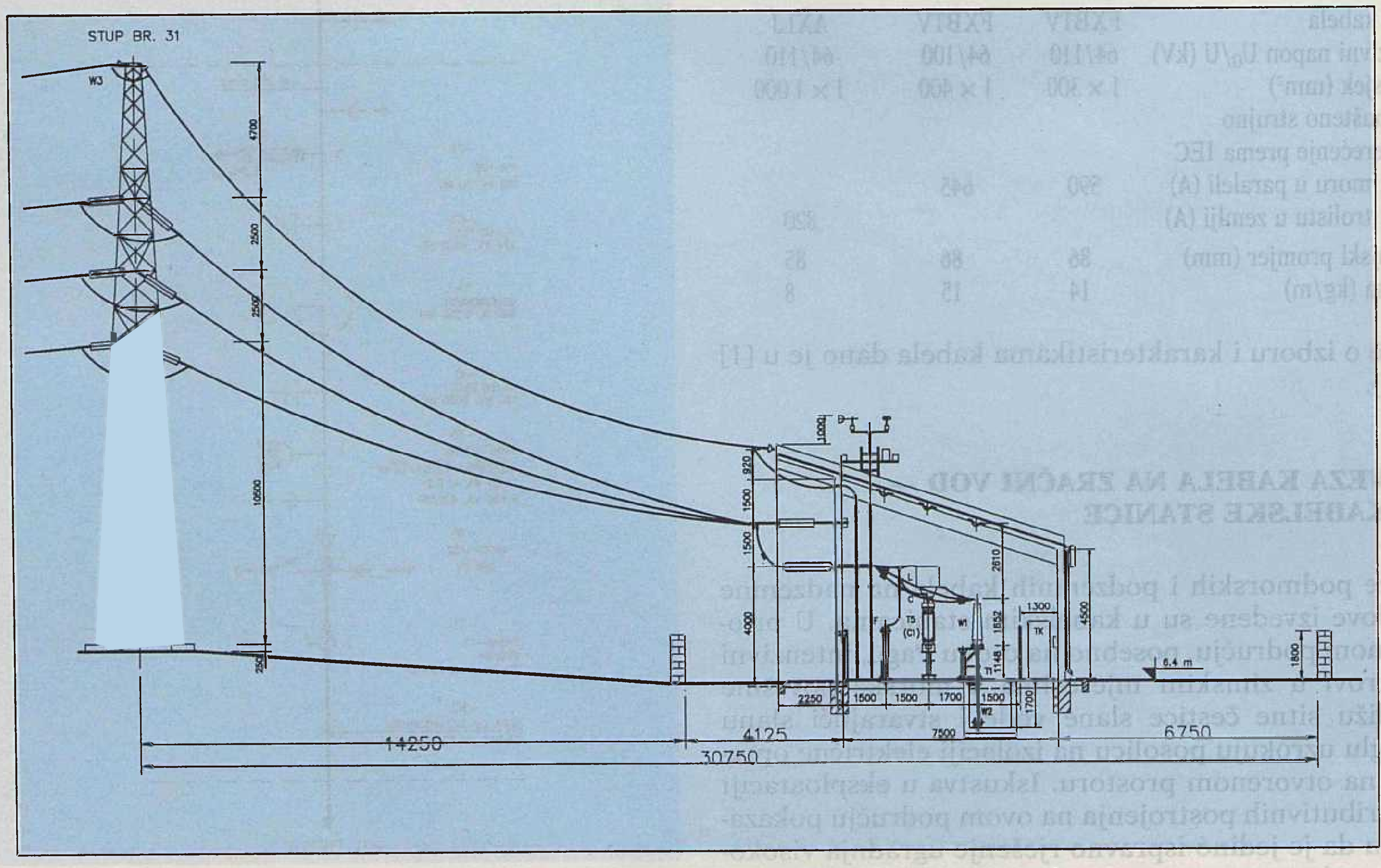


Slika 5. 110 kV kabelska stanica — jednopolna shema

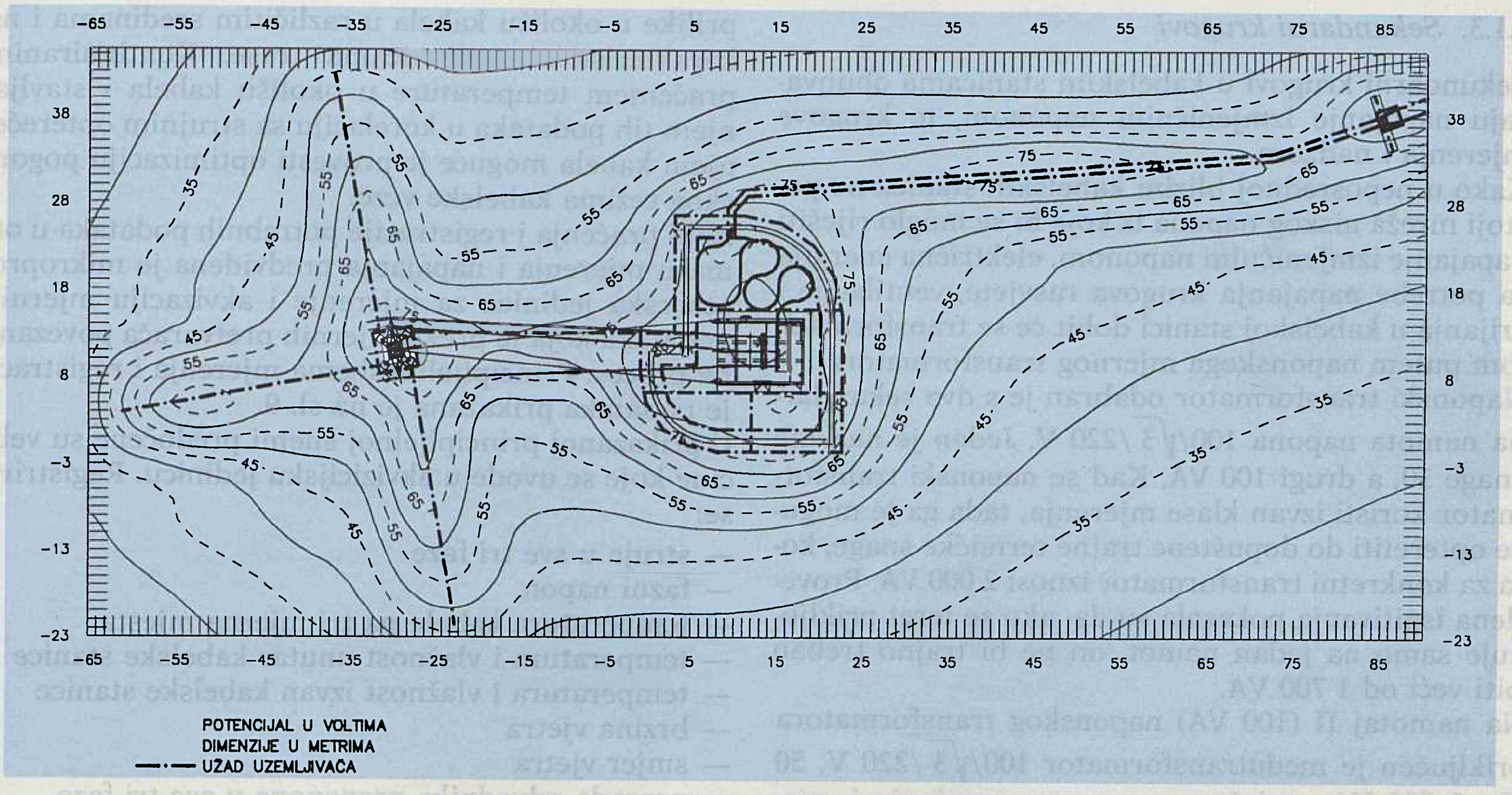
strane zgrade spojen je aluminijski vodič presjeka 300 mm² kojim su povezani i svi ostali aparati visokog napona. Na spojnim vodičima s vanjske i unutrašnje strane postavljene su stezaljke za priključak uzemljivačkih motki predviđenih za uzemljenje radnog mjesta.
Razmještaj opreme i priključak na zračni vod u KS prikazan je na sl. 6.
U objektu su smještena tri odvodnika prenapona u silikonskoj izvedbi, jedan malouljni naponski transformator i tri kabelske završnice za suhi podmorski kabel. Aparati su postavljeni na niska čelična postolja i konstrukcije.
U zidu uz odvodnike prenapona postavljeni su brojači prorade s instrumentom za pokazivanje struje koja teče prema zemlji, a veličina struje ukazuje na stupanj zagađenja odvodnika. Nadzor odvodnika omogućen je kroz otvor na zidu s vratašcima.
Uz naponski transformator ostavljen je i rezervni slobodan prostor u kojem je predviđen smještaj VF prigušnice i kondenzatora za slučaj potrebe realizacije VF veze kao rezervne projektiranoj optičkoj vezi.
Na svakoj fazi kabela ispod kabelske završnice postavljen je strujni obuhvatni mjerni transformator za mjerenje struje u kabelu.
Zgrada je podijeljena na dva dijela zaštitnom mrežom. U dio gdje je smještena visokonaponska oprema ulaz nije moguć dok je objekt pod naponom. Naime, u ovaj prostor pristup je omogućen samo s vanjske strane kroz dvostruka ulazna vrata. U dijelu ispred kabelskog kanala postavljena je zaštitna mreža. Između mreže i zida predviđen je hodnik za nadzor u kojem je smješten ormar mjerenja i napajanja izmjeničnim naponom. Osim toga ormara u prostoru hodnika postavljeni su i nadgradni ormari za povezivanje optičkih kabela, razdjelnik instalacije i mjesto za smještaj motki za uzemeljenje s indikatorima napona.

5.1.2. *Uzemljenje i zaštita od atmosferskih pražnjenja*

Iako postrojenja kabelskih stanica nemaju aktivnih izvora ni uzemljenih zvjezdišta te ne bi bitno trebala utjecati na raspodjelu nultih struja na vodu, pokazuje se ipak da o njihovu sustavu uzemljenja treba vrlo ozbiljno razmišljati i rješenja uskladiti sa svim uvjetima bezopasnosti.
U kabelskoj stanici povezuje se zračni vod i kabel, dakle dva elementa mreže različitih karakterističnih impedancija. Bez obzira na to što kapacitet kabela povoljno utječe na refleksiju prenaponskog vala, tranzijentne pojave uvijek zahtijevaju oprez i jedino ispravno rješenje jest u pravilno dimenzioniranoj prenaponskoj zaštiti. Ona pak može pouzdano djelovati samo pri dovoljno niskim otporima rasprostranja uzemljivača.
S druge strane, kabelska stanica postaje atraktivni objekt u trasi voda u odnosu na stup, izaziva interes i pažnju prolaznika, a kako su to objekti uglavnom na nenaseljenim prostorima, bez posade, moguća su češća približavanja neupućenih osoba. U blizini takvih objekata nije isključen ni pristup kupača u ljetnim mjesecima. Zbog svih tih razloga oblikovanju potencijala oko objekta treba pridati punu pozornost.



Slika 6. 110 kV kabelska stanica — priključak na zračni vod

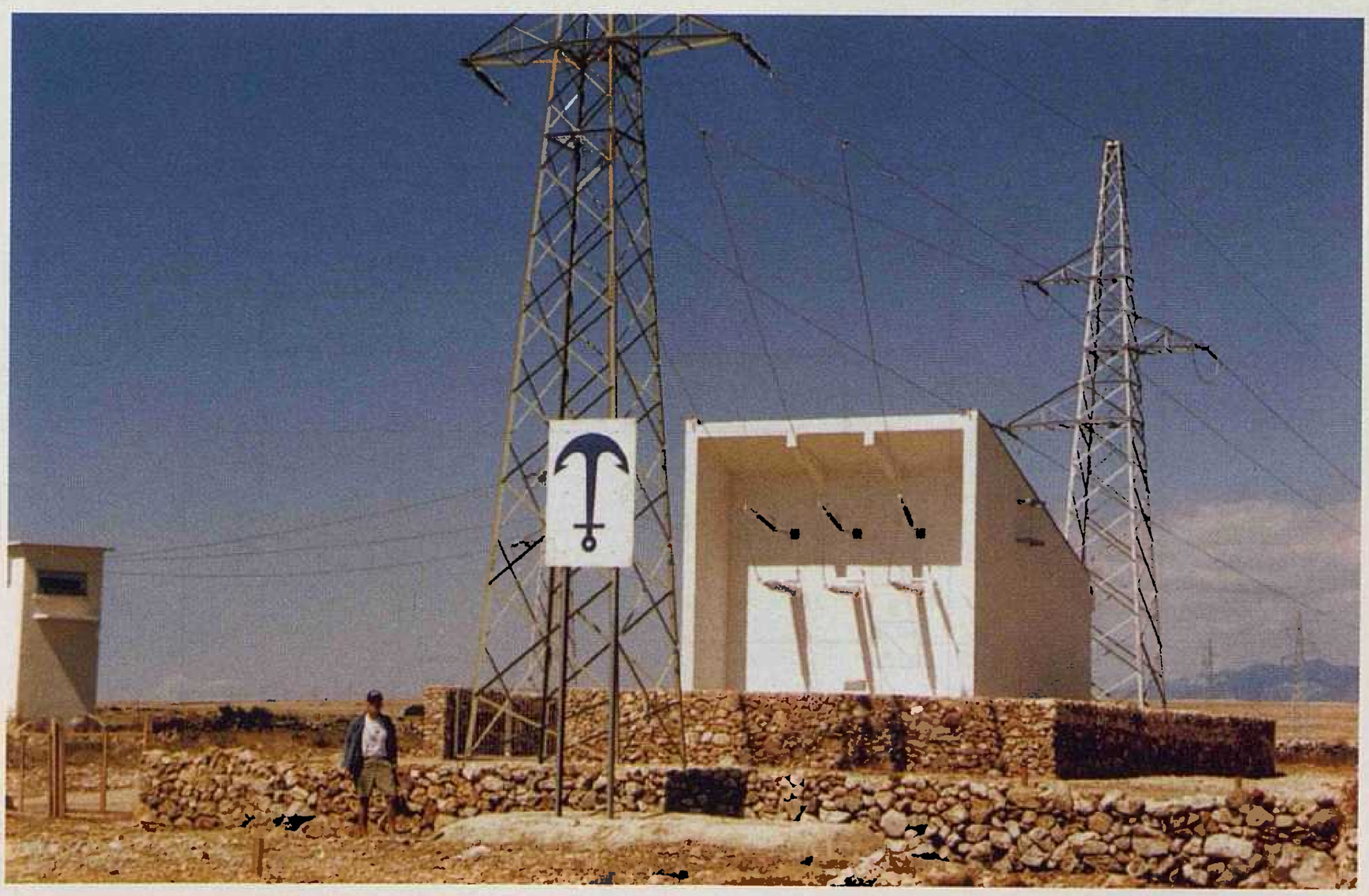


Slika 7. Raspodjela potencijala u okoline kabelske stanice

Na lokaciji svake stanice provedena su mjerenja specifičnog otpora tla, koja su detaljno obrađena u [5]. Pokazalo se da je uzemljenje zadnjih stupova dalekovoda riješeno samo potencijalnim prstenom, te su naponi dodira na samim stupovima nedopustivo visoki. Zbog toga se pristupilo rješenju prema kojem će se na platou kabelske stanice postaviti mrežni uzemljivač koji će biti galvanski povezan s postojećim uzemljenjem zadnjih stupova.

Analiza takvog uzemljivača na digitalnom modelu pokazala je da još uvijek postoje neka mjesta nedopustivo visokih napona dodira, pa je zaključeno da se oko temelja priobalnog zida postavi pomoćni uzemljivač na koji će se povezati dva paralelno postavljena trakasta uzemljivača dužine po 100 m položena u iskop kanala priobalne zaštite u moru. Tako izvedena uzemljenja međusobno će se povezivati dvama užetima položenima u kanal energetskih kabela na potezu između priobalnog zida i kabelske stanice.

Provedeni proračuni na digitalnom modelu pokazuju da su predloženom izvedbom uzemljivača postignuti zadovoljavajući rezultati i da su ispunjeni uvjeti sigurnosti. Potencijali uzemljivača su ispod 120 V, a naponi dodira ispod propisanih. Ekvipotencijalne linije oko jedne kabelske stanice prikazane su na sl. 7.



Slika 8. Kabelska stanica za priključak podmorskog kabela 110 kV na zračni vod

5.1.3. *Sekundarni krugovi*

Sekundarni krugovi u kabelskim stanicama obuhvaćaju napajanje izmjeničnim naponom, te krugove mjerenja i nadzora.

Kako u neposrednoj blizini kabelskih stanica ne postoji mreža niskog napona iz koje bi se moglo riješiti napajanje izmjeničnim naponom, električna energija za potrebe napajanja krugova rasvjete, ventilacije i grijanja u kabelskoj stanici dobit će se transformacijom putem naponskoga mjernog transformatora.

Naponski transformator odabran je s dva sekundarna namota napona $100/\sqrt{3}$ /220 V. Jedan je nazivne snage 30, a drugi 100 VA. Kad se naponski transformator koristi izvan klase mjerenja, tada ga je moguće opteretiti do dopuštene trajne termičke snage, koja za konkretni transformator iznosi 2 000 VA. Provedena ispitivanja pokazala su da, ako se teret priključuje samo na jedan namot, on ne bi trajno trebao biti veći od 1 700 VA.

Na namotaj II (100 VA) naponskog transformatora priključen je međutransformator $100/\sqrt{3}$ /220 V, 50 Hz, 2 500 VA, smješten u ormaru napajanja i mjerenja. S tog transformatora napajaju se potrošači električne instalacije priključeni na poseban razdjelnik.

S namotaja I naponskog transformatora napaja se još jedan poseban međutransformator prijenosnog omjera $100\sqrt{3}$ V/220 V, 50 Hz, 200 VA na koji su priključeni uređaji mjerenja i nadzora mjernih veličina. Naime, projektirani energetski vod predstavlja dio otočne veze koja bi u određenim momentima mogla napajati i širi konzum Dalmacije, a to znači da bi energetski kabeli morali biti opterećeni najvećom dopuštenom strujom. Kabeli su položeni dijelom u zemlju, a dijelom u more. Temperature mora u ljetnim mjesecima u priobalju dosežu i 26°C. Radi korektne tehničke eksploatacije kabela nužno je, posebno u vrijeme vršnih opterećenja, pratiti toplinske prilike u okolišu kabela u različitim sredinama i na karakterističnim dionicama trase. Kontinuiranim praćenjem temperature u okolišu kabela i stavljanjem tih podataka u korelaciju sa strujnim opterećenjem kabela moguće je provesti optimizaciju pogonskog režima kabelske veze.

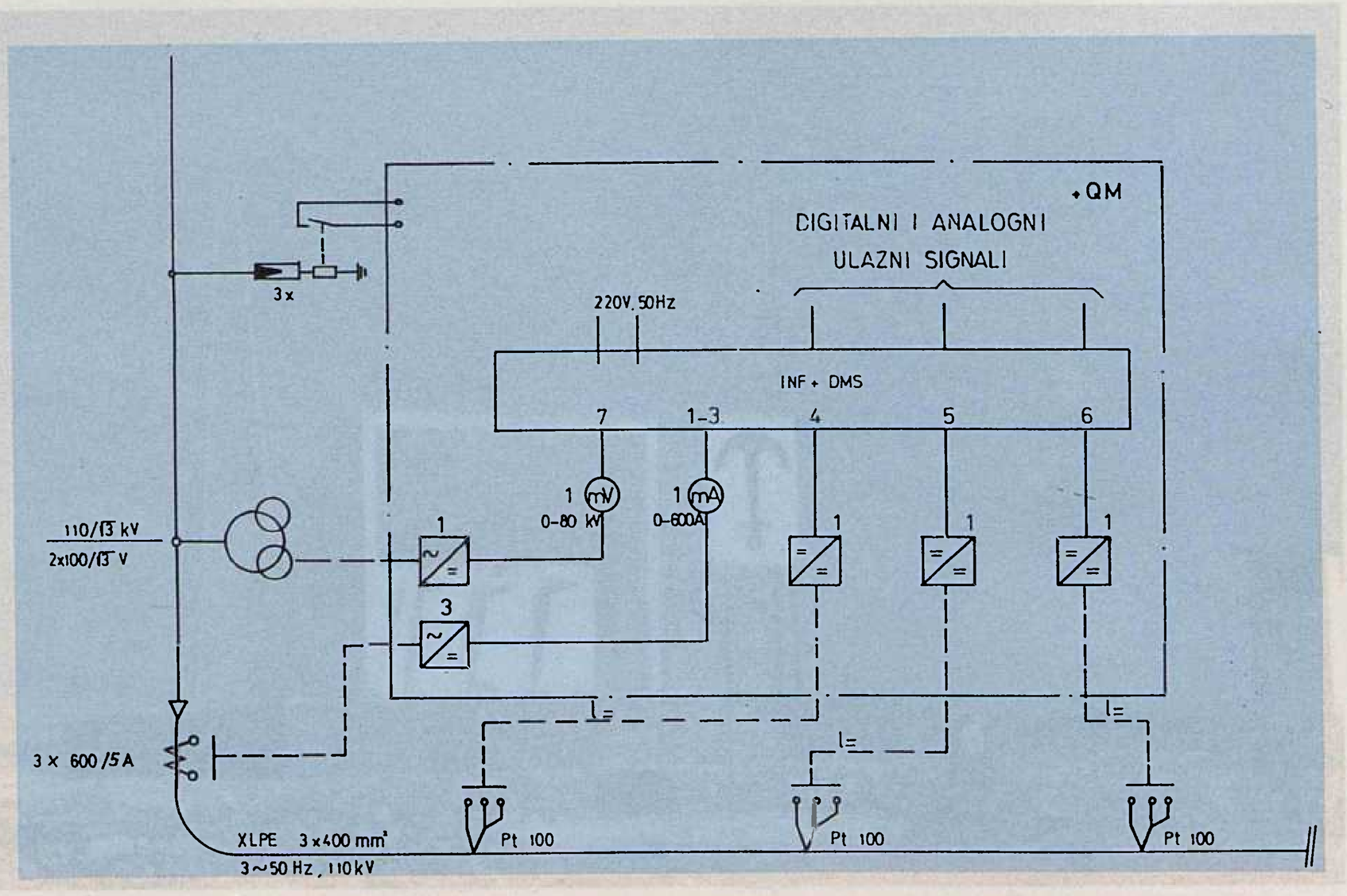
Radi praćenja i registracije potrebnih podataka u ormaru mjerenja i napajanja predviđena je mikroprocesorska jedinica za mjerenje i akvizaciju mjernih podataka koja je preko mjernih pretvarača povezana na proces. Principijelna shema mjerenja i registracije podataka prikazana je na sl. 9.

U prikazanoj principijelnoj shemi predočene su veličine koje se uvode u akvizicijsku jedinicu. Registrira se:

- struja u sve tri faze
- fazni napon
- temperatura kabela na tri mjerna mjesta
- temperatura i vlažnost unutar kabelske stanice
- temperatura i vlažnost izvan kabelske stanice
- brzina vjetra
- smjer vjetra
- prorada odvodnika prenapona u sve tri faze.

Akvizicijska jedinica (data logger) je mikroprocesorski nadzirani uređaj sa 16 kanala. Jedinica posjeduje vlastitu memoriju kapciteta 64 kByta i dodatnu memoriju u posebnom modulu kapaciteta 192 kByta. Predviđena memorija omogućuje praktički četveromjesečno prikupljanje podataka prema predviđenom programu bilježenja satnih srednjih i maksimalnih vrijednosti. Sama jedinica izvedena je za ugradnju u ploču. Na prednjoj strani nalaze se tipke za parametiranje i digitalni numerički display na kojem je, između ostalog, na upit moguće pročitati i mjernu veličinu bilo kojeg od ulaznih kanala.

Akvizicijska jedinica omogućuje transfer svih prikupljenih podataka u osobno računalo, te njihovu grafičku i numeričku obradu uz pomoć posebno razvijene programske podrške. U slučaju potrebe s akvizicij-



Slika 9. Principijelna shema mjerenja i akvizicije podataka

skom jedinicom moguća bi bila i daljinska komunikacija.
Mjerenje temperatura u okolišu kabela predviđeno je termosondama Pt 100 koje su pomoću posebnog termoplastičnog plašta priljubljene uz kabel. Predviđene su tri sonde: sonda MS1 postavljena je uz kabel u zemlji, sonda MS2 predviđena je u samom priobalju i učvršćena je uz kabel unutar betonske priobalne zaštite. Sonda MS3 postavljena je u moru na udaljenosti približno 50 m od priobalnog zida. Digitalni signali o proradi odvodnika prenapona pridobijaju se sa signalnog kontakta brojača prorade.



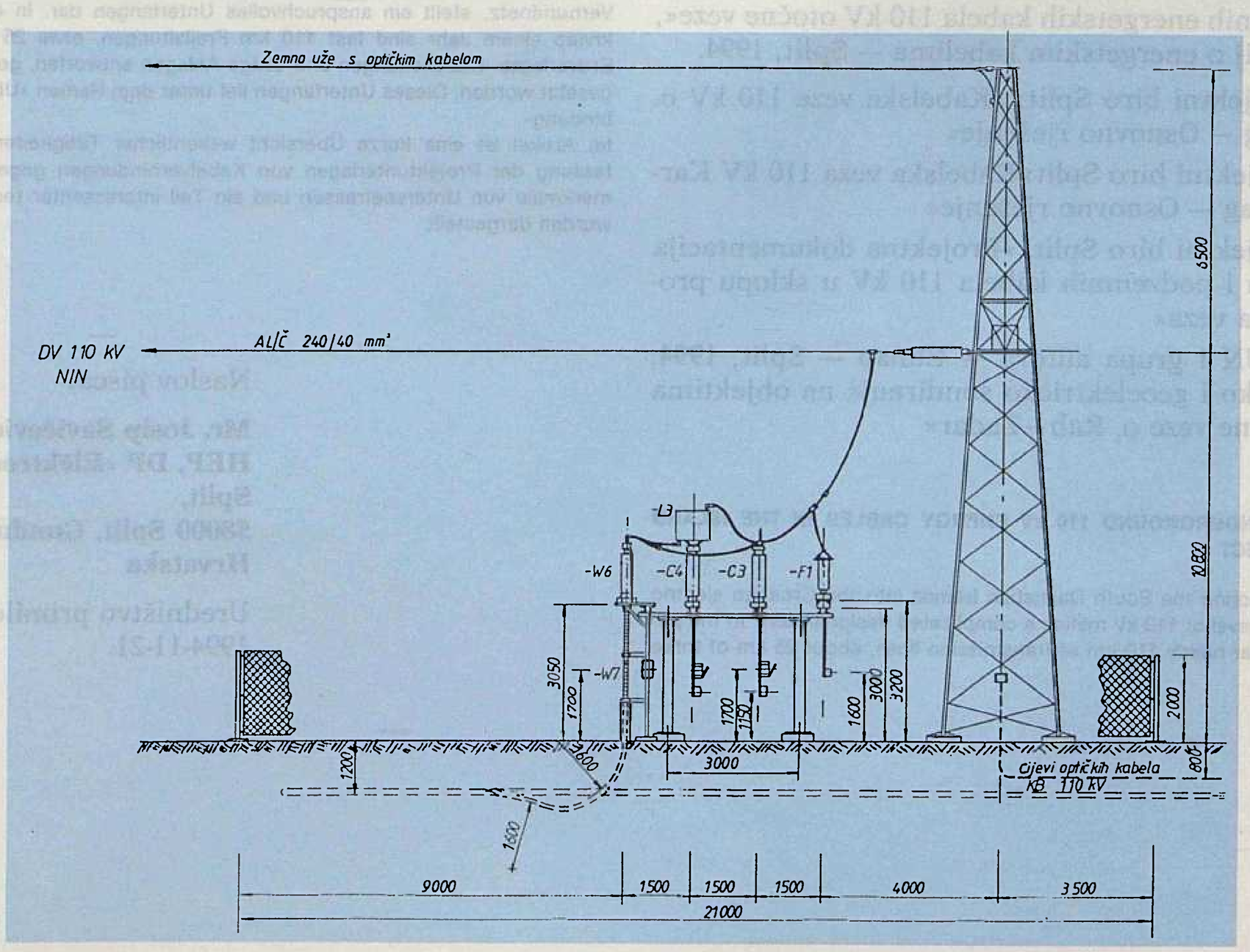
Slika 10. Oprema akvizicije podataka na ormaru mjerenja

5.2. Kabelska stanica na otvorenom prostoru

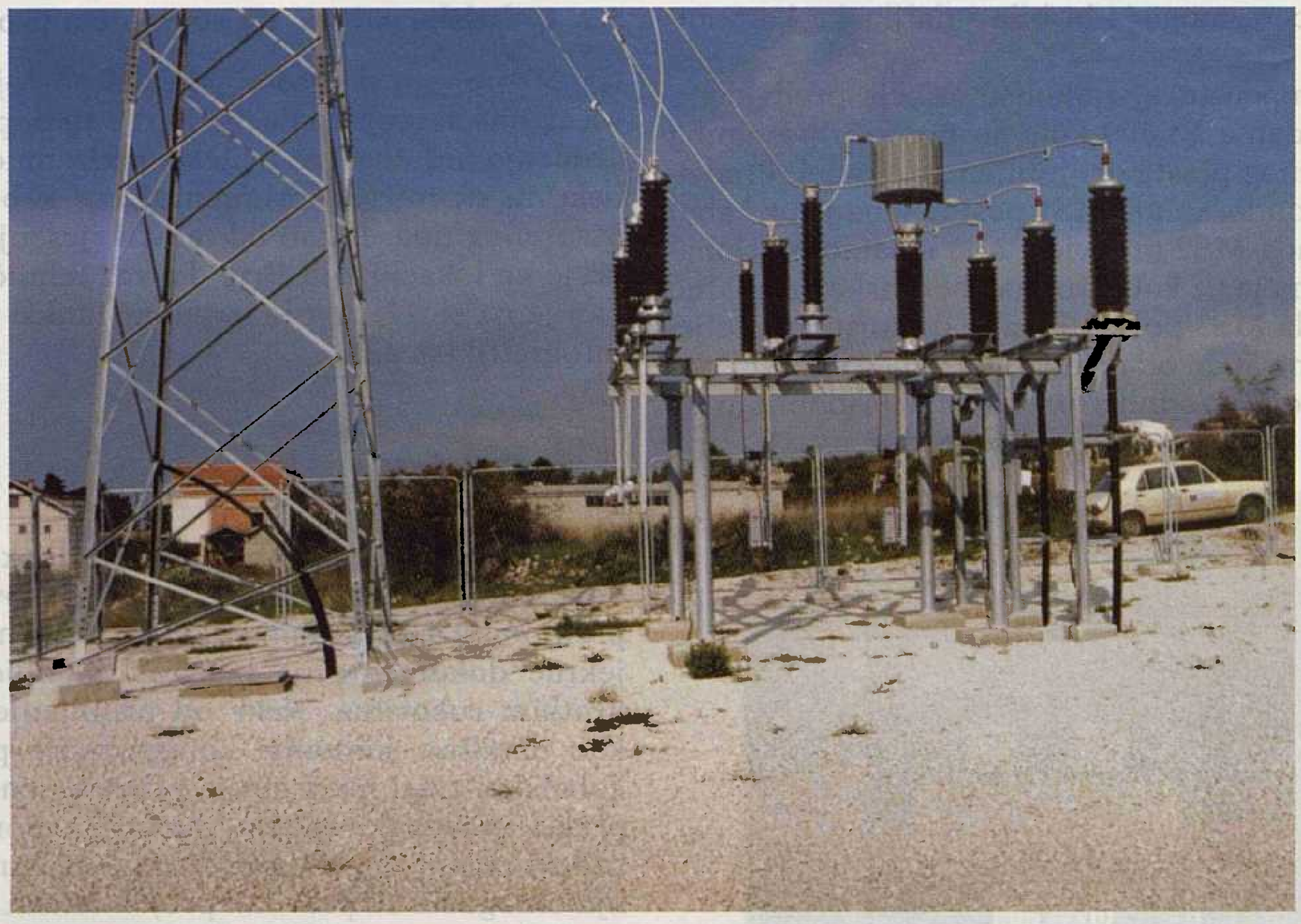
Na otvorenom prostoru gdje ne postoji mogućnost većeg onečišćenja izolacije i gdje to dopuštaju uvjeti uređenja prostora, za prijelaz podzemnog 110 kV kabela na zračni vod primjenjuju se kabelske stanice otvorenog tipa. Jedno od takvih rješenje primijenjeno je na lokaciji Bili Brig. Prikaz tehničkog rješenja dan je na sl. 11, dok je izvedba stanice prikazana na fotografiji (sl. 12).

6. ZAKLJUČAK

Opsežni i kvalitetno obavljeni studijsko-istražni radovi i analize varijantnih rješenja provedeni u pripremnoj fazi omogućili su pravovremenu izrade projektne dokumentacije i izgradnju objekata u vrlo kratkim rokovima. Neke od primijenjenih metoda, kao detaljno snimanje konfiguracije podmorja na kabelskoj trasi, prvi put je primijenjeno u domaćoj praksi polaganja kabela visokog napona. Studijski radovi vezani za geotermička i geoelektrička ispitivanja omogućili su pravilan projektantski pristup izboru kabelske posteljice i dimenzioniranju sustava uzemljenja. Osobit doprinos dan je u suvremenom pristupu proračunu raspodjele struja u pasivnim elementima kabela i ocjeni njihova utjecaja na dopušteno opterećenje kabela. Rješenje smještaja visokonaponske opreme unutar objekta kabelske stanice prvi put je primijenjeno u domaćoj praksi gradnje visokonaponskih podmorskih kabela, pa će biti korisno pratiti pogonska iskustva pri eksploataciji ovih objekata.
Primijenjeni monitoring pogonskih i meteoroloških podataka kojim je omogućeno praćenje i temeljita



Slika 11. Kabelska stanica Bili Brig — tehničko rješenje



Slika 12. Kabelska stanica Bili Brig

analiza promjene karakterističnih vrijednosti u stacionarnim pogonskim uvjetima primjenom računala predstavlja dragocjenu potporu pri donošenju odluka u eksploataciji i održavanju objekata podmorskih kabelskih veza.

LITERATURA

[1] I. TOMASOVIĆ, B. ŠAINA P. ČERINA: »Izbor podmorskih i kopnenih energetskih kabela 110 kV otočne veze«, Prvi simpozij o energetskim kabelima — Split, 1994.

[2] HEP — Projektni biro Split: »Kabelska veza 110 kV o. Rab – o. Pag — Osnovno rješenje«

[3] HEP — Projektni biro Split: Kabelska veza 110 kV Karlobag – o. Pag — Osnovno rješenje«

[4] HEP — Projektni biro Split: »Projektna dokumentacija podmorskih i podzemnih kabela 110 kV u sklopu projekta Otočna veza«

[5] dr S. MILUN i grupa autora — Elmap — Split, 1994: »Geotermičko i geoelektričko sondiranje na objektima 110 kV otočne veze o. Rab – Zadar«

SUBMARINE AND UNDERGROUND 110 kV ENERGY CABLES IN THE ISLAND CONNECTION PROJECT

The project of connecting the South Dalmatian islands into the Croatian electric power system at the level of 110 kV makes a complicated designer task. In the period of less than a year nearly 110 km of transmission lines, about 25 km of three — phase submarine and underground cables as well as a few substations have been designed, constructed and put into operation.
This undertaking was realised under the title »Island Connection«. In this paper the short overview of the most important activities during cable connection project documentation elaboration is given. Some basic data on submarine routes are given and the most interesting technical solutions are described.

DIE STROMVERSORGUNGSKABEL FÜR UNTERSEE- UND ERD- VERLEGUNG IM PROJEKT DER »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Projekt der Einschliessung nordadriatischer Inseln in ein einheitliches kroatisches Verbundnetz, stellt ein anspruchvolles Unterfangen dar. In der Zeitspanne von knapp einem Jahr sind fast 110 km Freileitungen, etwa 25 km Untersee- und Erdverlegte- Kabelleitungen und einige Anlagen entworfen, gebaut und in Betrieb gesetzt worden. Dieses Unterfangen lief unter dem Namen »Über — Inseln — Verbindung«.
Im Artikel ist eine kurze Übersicht wesentlicher Tätigkeiten während der Abfassung der Projektunterlagen von Kabelverbindungen gegeben. Einige Grundmerkmale von Unterseetrassen und ein Teil interessanter technischer Lösungen wurden dargestellt.

Naslov pisca:

Mr. Josip Savićević, dipl. ing.
HEP, DP »Elektrodalmacija«
Split,
58000 Split, Gundulićeva 42,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-21.

PROJEKTIRANJE DALEKOVODA OTOČNE 110 kV VEZE

Davor Đurđević, Zagreb

UDK 621.311.1:621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazane su osnovne informacije o projektiranju dalekovoda otočne veze 110 kV s osvrtkom na radove na postojećim dalekovodima.

Ključne riječi: projektiranje, stupovi, vodiči, zaštitno uže sa svjetlovodnim nitima, silikonski izolatori

1. UVOD

Planom razvoja elektroenergetskoga prijenosnog sustava na području sjevenih i srednjih jadranskih otoka predviđeno je povezivanje konzumnih područja otoka Krka, Cresa, Lošinja, Raba i Paga elektroenergetskim vodovima 110 kV.

Navedeno je potanko obrađeno u »Studiji o razvoju prijenosne mreže na području Elektroprivrede Hrvatske u razdoblju 1998/90 – 2020. godine« Instituta za elektroprivredu u Zagrebu.

Zbog agresije na Hrvatsku i privremene okupacije dijela teritorija nastali su prekidi elektroenergetske veze između sjevernog i južnog dijela Hrvatske, pa planirana otočna veza postaje životno važna veza za područje Zadra i okolice.

Da bi se uspostavila predviđena otočna veza 110 kV, jedan od ključnih zadataka bila je izgradnja dalekovoda 110 kV Rab – Novalja. Predmetni dalekovodi povezuje TS 110/20 kV Rab i TS 110/35 kV Novalja, čija je izgradnja tekla usporedo s izgradnjom dalekovoda.

Također, u sklopu izgradnje otočne veze bilo je potrebno riješiti priključke postojećih dalekovoda na nove trafostanice Novalja i Pag, kao i na kabelske kućice na otocima Rabu, Pagu i kopnu.

Uz navedeno, projektna dokumentacija obuhvatila je i zamjenu zaštitnog užeta na postojećim dalekovodima, kao i zamjenu postojećih izolatorskih lanaca.

2. IZRAĐENA TEHNIČKA DOKUMENTACIJA

A. Dionica: Rab – Novalja

1. Glavni projekt DV 110 kV Rab — Novalja
2. Glavni projekt zamjene stupova od st. br. 73 do TS Novalja na DV 110 kV Rab – Novalja
3. Dopuna glavnog projekta DV 110 kV Rab – Novalja — zamjena lokacije st. br. 4
4. Dopuna glavnog projekta DV 110 kV Rab – Novalja — priključak na KK Vašibaka i Deda
5. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta DV 110 kV Rab – Novalja

B. Dionica: Novalja – Pag

1. DV 110 kV Novalja – Pag priključak na TS Novalja
2. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Novalja – Pag
3. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Novalja – Pag

C. Dionica: Pag – Gorica

1. Glavni projekt priključka DV 110 kV Nin – Pag na TS Pag
2. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Pag – Gorica
3. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Pag – Gorica

D. Dionica: Gorica – Nin

1. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Nin – Gorica
2. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Nin – Gorica
3. DV 110 kV Gorica – Nin, priključci na KK Kulina i KK Selina

E. Dionica: Nin – Zadar (Bili Brig)

1. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Zadar – Nin
2. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Zadar – Nin
3. DV 110 kV Zadar – Nin, priključak na KK Bili Brig.

3. GLAVNI PROJEKT DV 110 kV RAB – NOVALJA

Od tehničke dokumentacije navedene u poglavlju 2. najveći obujmom i složenošću svakako je glavni projekt DV 110 kV Rab – Novalja.

Navedeni projekt zanimljiv je glede nekoliko čimbenika: definiranja trase dalekovoda, primjene zaštitnog užeta sa svjetlovodnim nitima (OPGW-a), pri-

mjene silikonskih izolatora, kao i uklapanja u kompletan sustav otočne veze.

3.1. Određivanje trase dalekovoda

Određivanje trase dalekovoda jedan je od najsloženijih zadataka u procesu projektiranja, koji u sebi implicira niz kako tehničko-gospodarskih elemenata, tako i ekoloških, prostornih i vizuelnih.
Problematiku određivanja trase dalekovoda mogli bi odrediti u sklopu sljedećih cjelina:

- zauzimanje prostora
- vizualni utjecaji
- električki efekti
- utjecaji građenja i održavanja.

Posebna elaboracija svake od navedenih cjelina zahtijevala bi znatan prostor, no to i nije tematika ovog članka.

U konkretnom slučaju, proces određivanja trebao je riješiti dva u biti nekomplementarna problema:

- zaklanjanje dalekovoda od utjecaja jake bure i posolice
- što manju devastaciju otočnih prostora.

Otok Rab, od mjesta Raba do uvale Vašibaka (gdje je locirana kabelska kućica za prijelaz podmorskog kabela za otok Pag), oštro je podijeljen na dva dijela:

- sjevernoistočni dio izložen snažnom utjecaju bure i posolice potpuno je ogoljen, praktički bez vegetacije i u svakom pogledu gotovo neupotrebljiv za bilo kakvu aktivnost,
- južnozapadni dio, zaklonjen od bure, u turističkom je smislu jedan od najljepših predjela na Jadranu, dobrim dijelom urbaniziran i poljodjelski aktivan.

S tehničko-gospodarskog aspekta dalekovoda najpovoljnija trasa bila bi južnozapadnim dijelom otoka, ali i s najvećim stupnjem devastacije izuzetno vrijednog prostora.

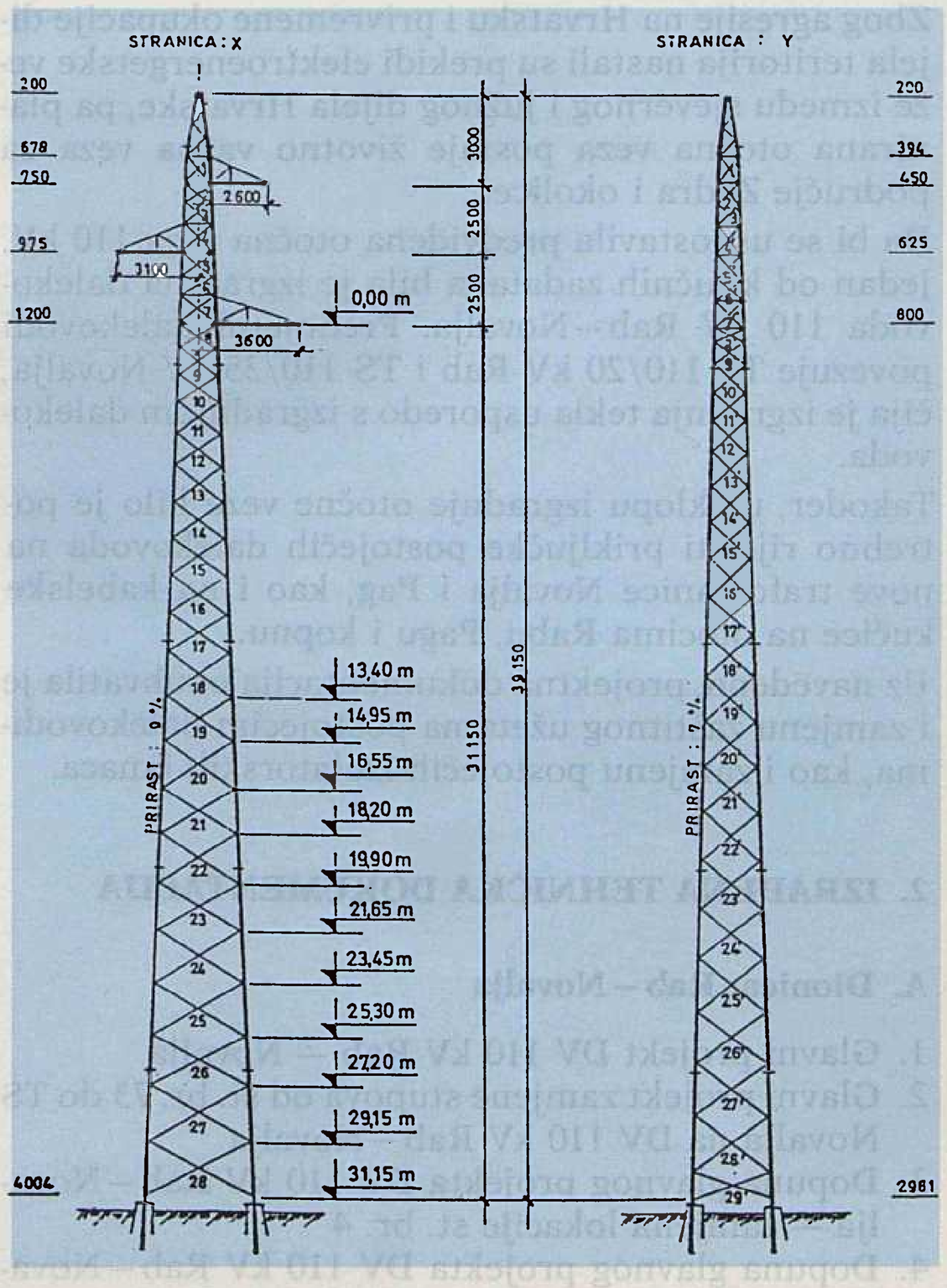
Konačna trasa je kompromis i rezultat izuzetnih napora u traženju optimalnih rješenja. Položena je po uskom pojasu između poljodjelskih površina i početka šikare i šume na obroncima sjeverozapadnih uzvisina. Dalekovod na otoku Rabu, od 46 stupova, ima ukupno 14 zateznih stupova, što je iznimno visok postotak, a rezultat je upravo težnja da se dalekovod maksimalno uklopi u okoliš i »sakrije« u prostor. Svako stupno mjesto je prije završetka projekta pregledano, kako bi i mikrolokacija stupova što manje devastirala prostor (čuvanje suhozidova, maslinika, vinograda i dr.).

U postupku definiranja trase i ishođenja lokacijske dozvole (uvjeta uređenja prostora) aktivno je sudjelovao niz ljudi, od predstavnika mjesnih zajednica do stručnjaka Ministarstva građenja i zaštite okoliša.

Sličnih problema bilo je i na otoku Pagu, iako ipak nešto manje. Treba napomenuti da je početna točka dalekovoda bila TS 110/20 kV Rab (u postupku građenja u tijeku projektiranja dalekovoda), a krajnja točka TS 110/35 kV Novalja (također u gradnji tijekom projektiranja). Dionica u dužini oko 2 km ispred TS Novalja prema uvali Deda (pravac prema Rabu) bila je već izgrađena (jednostruki dalekovod), ali je projektom »Zamjene stupova od st. br. 73 do TS Novalja na DV 110 kV Rab – Novalja« predviđena zamjena postojećih stupova novim, dvosustavnim stupovima, kako bi se prihvatila planirana trica vodiča iz smjera Karlobaga (tzv. potporna otočna veza 110 kV — trenutno u fazi projektiranja).
Treba na kraju dodati da su stupovi dalekovoda obojeni u nijansu zelenog, što također pridonosi uklapanju u okolinu. Slobodni smo ipak iznijeti mišljenje, s kojim se vjerojatno neće složiti ekologisti, da dalekovod predstavlja u neku ruku i ukras prirode.

3.2. Stupovi i temelji

Stupovi predviđeni u glavnom projektu imaju čelično-rešetkastu konstrukciju od standardno valjanih profila i vijčanih spojeva. Na dionici od TS 110/20 kV Rab do st. br. 73 na otoku Pagu stupovi su oblika galve »jela« (jednosustavni), a od st. br. 74 do st. br. 80 (krajnji stup ispred TS 110/35 kV Novalja) su oblika glave »bačve« (dvosustavni). Vodiči su zavješeni u tri visine na konzolama, a zaštitno uže je na vrhu stupa. Zatezni stupovi postavljaju se tako da su im konzole u simetrali kuta skretanja trase, osim st. br. 73 (konzole okomite na smjer trase prema TS Novalja), i st. br. 80, koji se postavlja u kut od 60 ° prema smjeru trase prema Rabu.
Stupovi, projektirani kao tipski iz tipizacije »Dalekovod« d.d. Zagreb, primijenjeni su na svim dalekovo-



Slika 1. Nosivi stup tip Nc7 – T

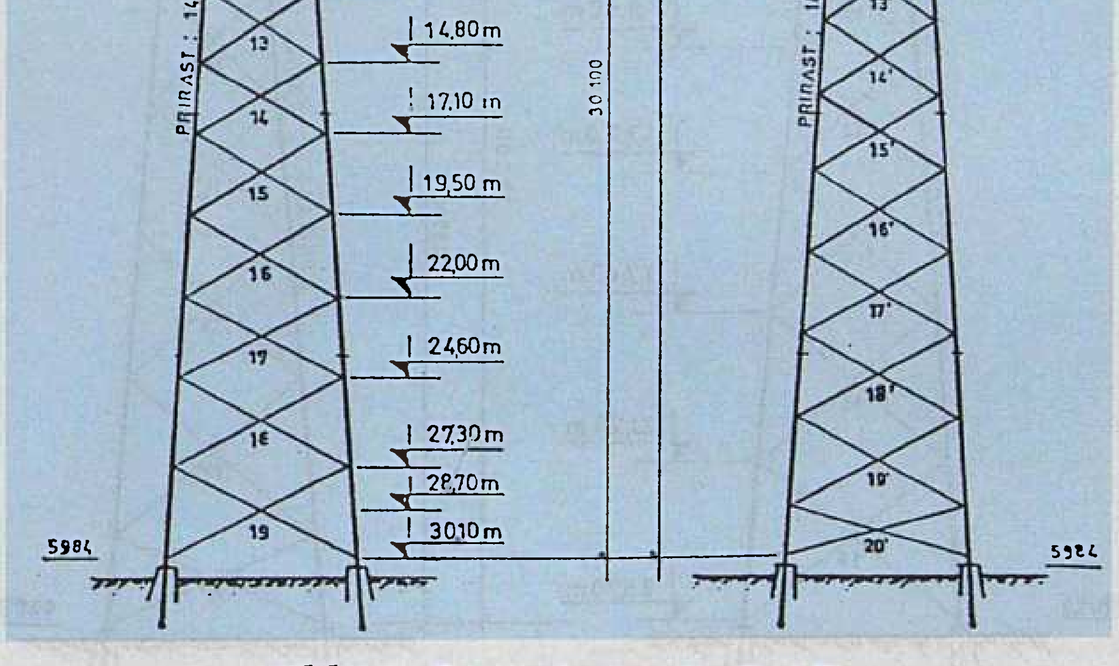
dima Otočne 110 kV veze (dionice navedene u poglavlju 2.), kao i na ostalim vodovima sličnih karakteristika. Osnovni parametri za projektiranje stupova odabrani su na temelju konkretnih meteoroloških terenskih i ostalih uvjeta. Stupovi oblika glave »jela« primijenjeni na konkretnom dalekovodu tipa su Nc7-T (sl. 1), Zc15 (sl 2), Zc17 (sl. 3), dok su stupovi oblika glave »bačva« Nc13 (sl. 4), Zc 27 (sl. 5) i Zc29 (sl. 6).

Svi navedeni stupovi dimenzionirani su za ova užeta:

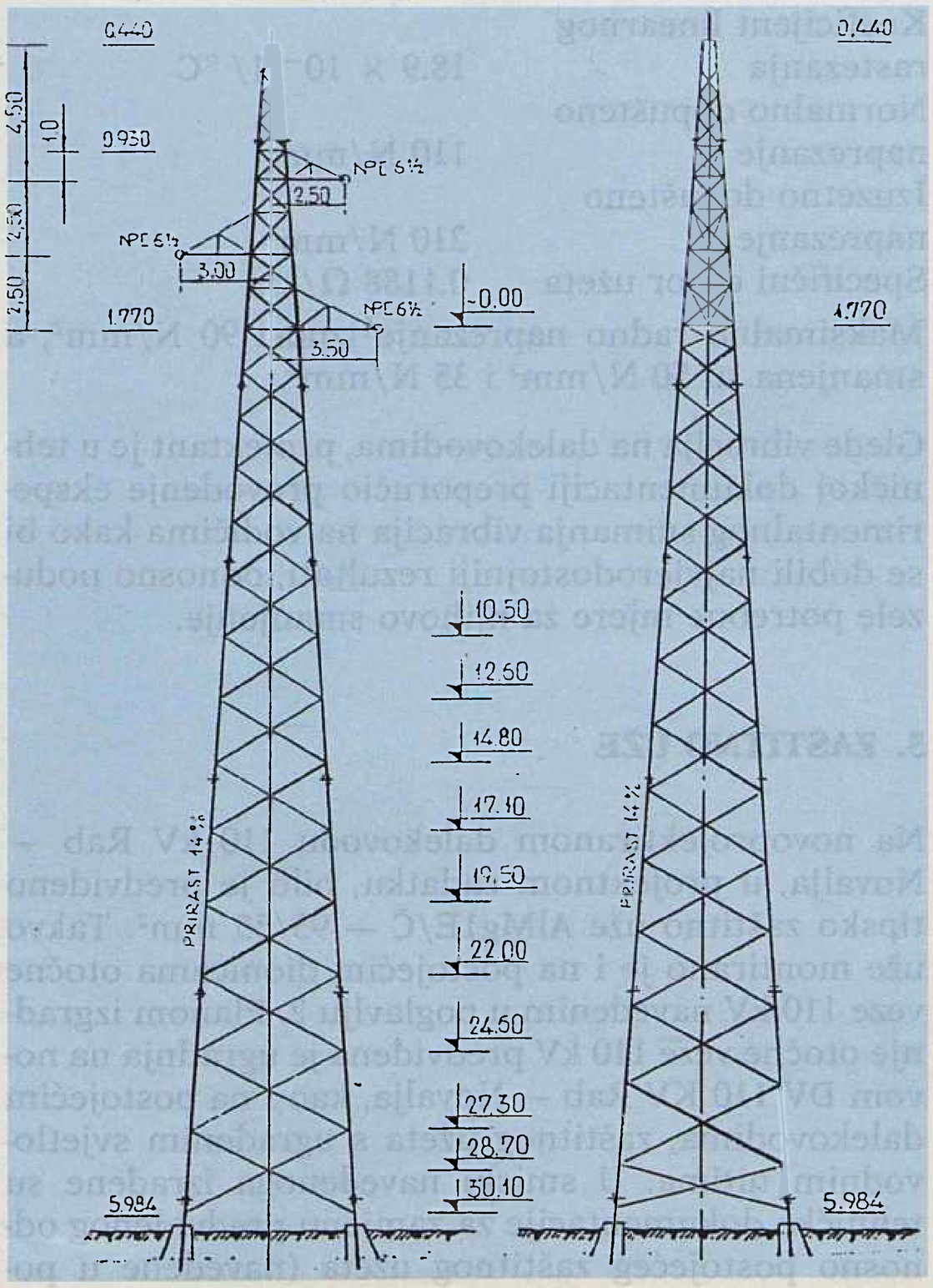
- vodiči: uže JUS N.C1.351 — A1/Č (NN RH 53/91)
- zaštitno uže: JUS N.C1.551 — AlMg1E/Č — 95/55 (NN RH 53/92).

Predviđeni stupovi imaju dvostruku dijagonalnu isponu. Tlocrtni oblik zateznog stupa je kvadrat, a nosivog pravokutnik.

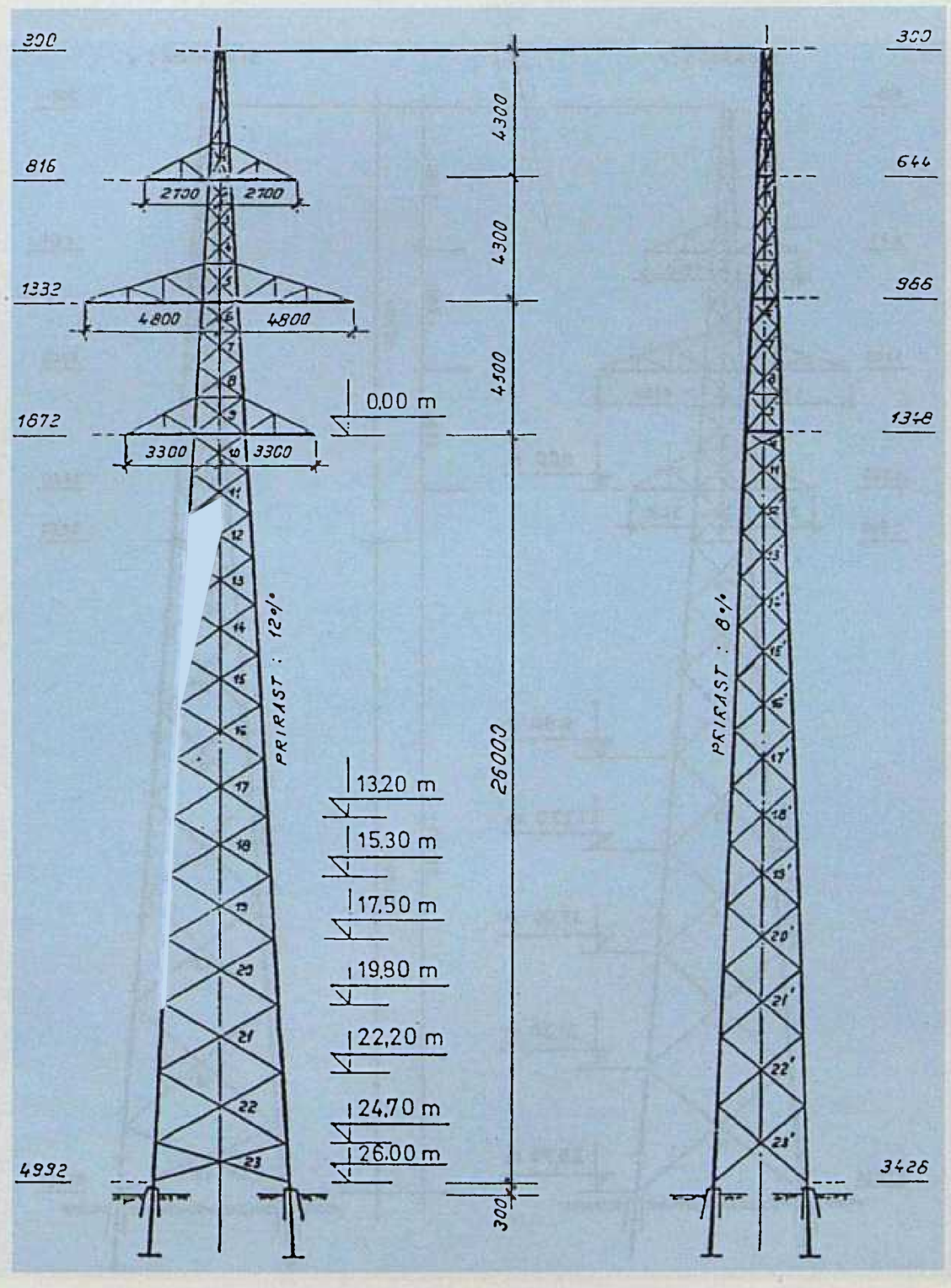
Temelji stupova su raščlanjeni, tj. svaki pojasnik stupa zabetoniran je u poseban temeljni blok. Dimenzioniranje temelja obavljeno je za nosivost tla prema inženjersko-geološkom izvješću. Na većini stupnih mjesta pojavljuju se kamenito tlo (stijena), osim na otoku Pagu i na dijelu voda kroz Mundanije (na otoku).



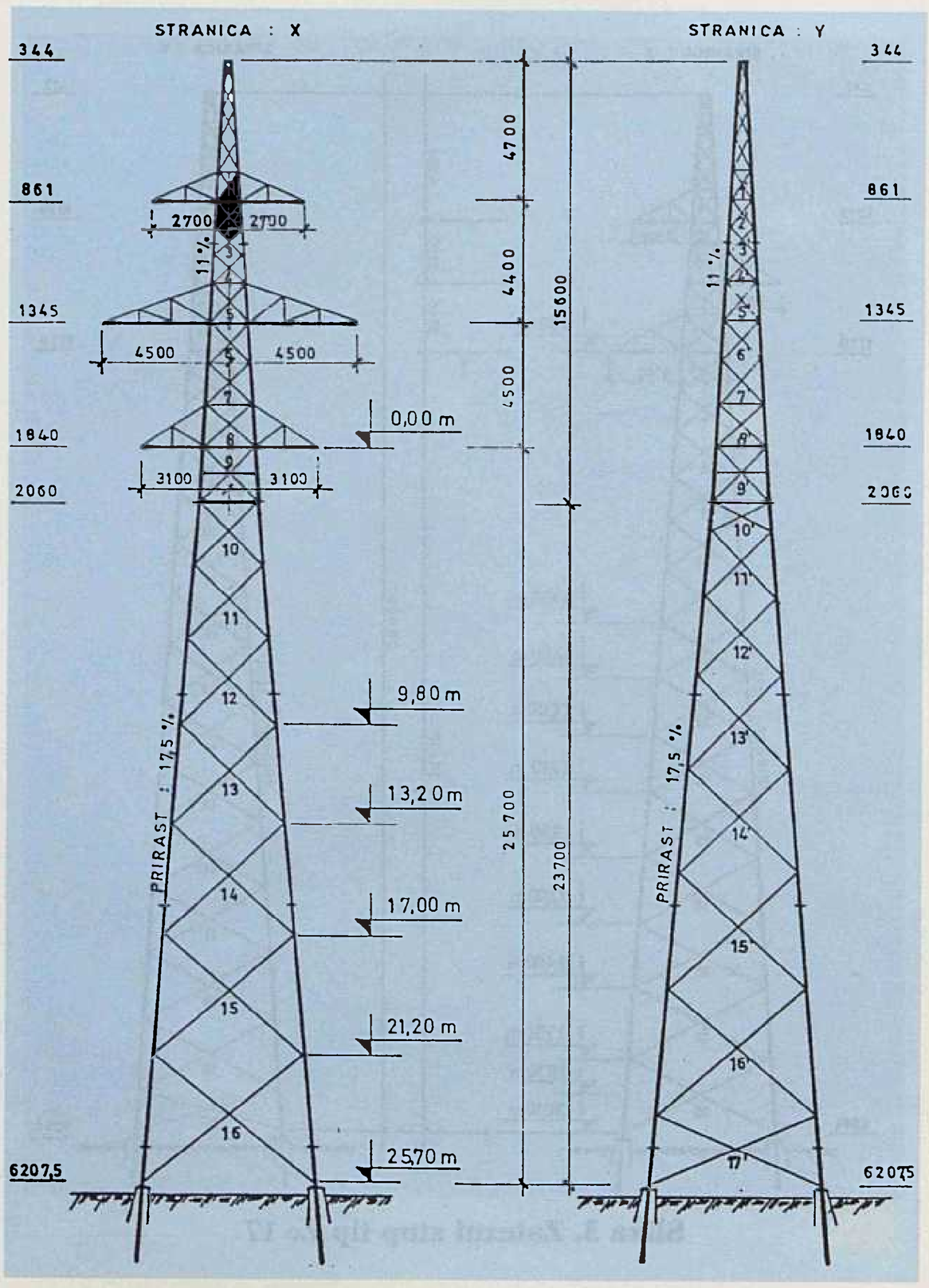
Slika 3. Zatezni stup tip Zc 17



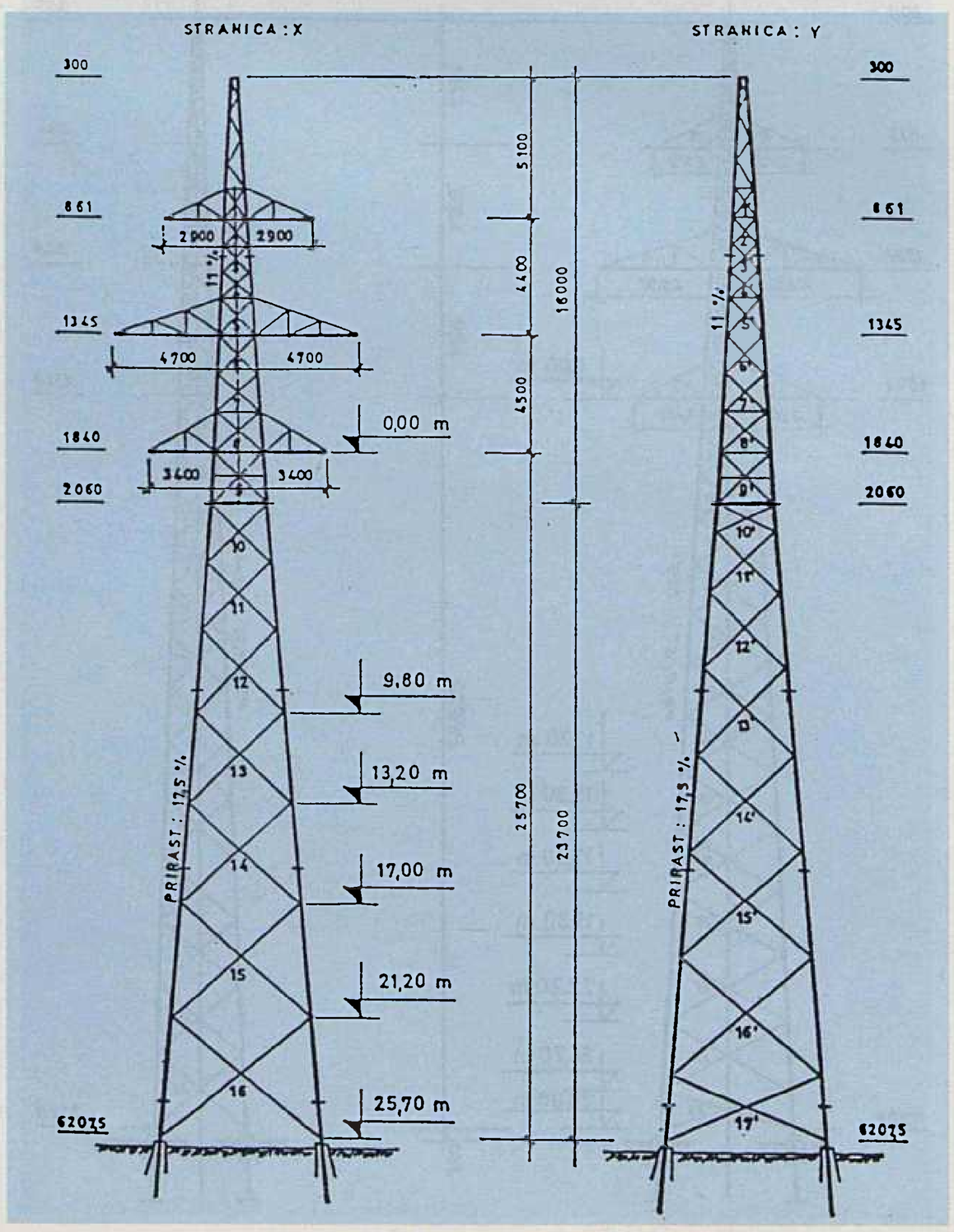
Slika 2. Zatezni stup tip Zc 15



Slika 4. Nosivi stup tip Nc 13



Slika 5. Zatezni stup Zc 27



Slika 6. Zatezni stup Zc 29

4. VODIČI

Na novom dalekovodu 110 kV Rab – Novalja, kao i na cijeloj Otočnoj vezi 110 kV montirani su tipski vodiči za 110 kV: JUS N.C1.351 — 240/40 — A1/Č (preuzeto po NN RH 53/91). Karakteristike vodiča su slijedeće:

Vrsta i nazivni presjek	Uže JUS N.C1.351 — 240/40 — A1/Č (NN RH 53/91)
Stvarni ukupni presjek užeta	282.5 mm²
Presjek aluminijskog plašta	243.0 mm²
Presjek čelične jezgre	39.50 mm²
Promjer užeta	21.9 mm
Konstrukcija užeta:	
• aluminijski plašt	26 × Φ 3.45 mm
• čelična jezgra	7 × Φ 2.68 mm
Specifična gustoća užeta	3.50×10^3 kg/m³
Specifična gustoća užeta s normalnim dodatnim teretom $1.0 \times 0.18\sqrt{d}$ kg/m	6.481×10^3 kg/m³
Masa užeta	0.987 kg/m
Masa užeta s normalnim dodatnim teretom $1.0 \times 0.18\sqrt{d}$ kg/m	1.829 kg/m
Računska sila kidanja	86460 N
Modul elastičnosti	77 000 n/mm²
Koeficijent linearnog rastezanja	18.9×10^{-6} 1/ °C
Normalno dopušteno naprezanje	110 N/mm²
Izuzetno dopušteno naprezanje	210 N/mm²
Specifični otpor užeta	0.1188 Ω/km

Maksimalno radno naprezanje iznosi 90 N/mm², a smanjena su 50 N/mm² i 35 N/mm².

Glede vibracija na dalekovodima, projektant je u tehničkoj dokumentaciji preporučio provođenje eksperimentalnog snimanja vibracija na vodičima kako bi se dobili najvjerodostojniji rezultati, odnosno poduzele potrebne mjere za njihovo smanjenje.

5. ZAŠTITNO UŽE

Na novoprojektiranom dalekovodu 110 kV Rab – Novalja, u projektnom zadatku, bilo je predviđeno tipsko zaštitno uže AlMg1E/Č — 95/55 mm². Takvo uže montirano je i na postojećim dionicama otočne veze 110 kV navedenim u poglavlju 2. Planom izgradnje otočne veze 110 kV predviđena je ugradnja na novom DV 110 KV Rab — Novalja, kao i na postojećim dalekovodima, zaštitnog užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima. U smislu navedenoga izrađene su tehničke dokumentacije za zamjenu predviđenog odnosno postojećeg zaštitnog užeta (navedene u poglavlju 2.).

Zaštitno uže s ugrađenim svjetlovodnim nitima u svijetu se primjenjuje već više godina, pri čemu su razvijene različite tehnologije izvedbe ugradnje svjetlovodnih niti u tijelo (jezgru) zaštitnog užeta. Osnovana je značajka svih rješenja da se paralelno udovolji osnovnim elektomehaničkim zahtjevima u smislu zaštite dalekovoda od atmosferskih pražnjenja (struje kratkog spoja, provjesi, naprezanja. . .), a da se istovremeno negativno ne utječe na karakteristike prijenosa svjetlovodnim nitima (gušenja signala).

Budući da je zaštitno uže aluminijska legura (AlMg1E/Č) nazivnog presjeka 95/55 mm², čiji vanjski promjer iznosi 16 mm, to je pri odabiru adekvatnog tipa užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima bilo nužno brinuti o tome da svojim tehničkim karakteristikama što više odgovara spomenutom užetu, kako bi se unaprijed izbjegli eventualni troškovi vezani za statičku stabilnost stupova te njihov razmještaj duž trase.

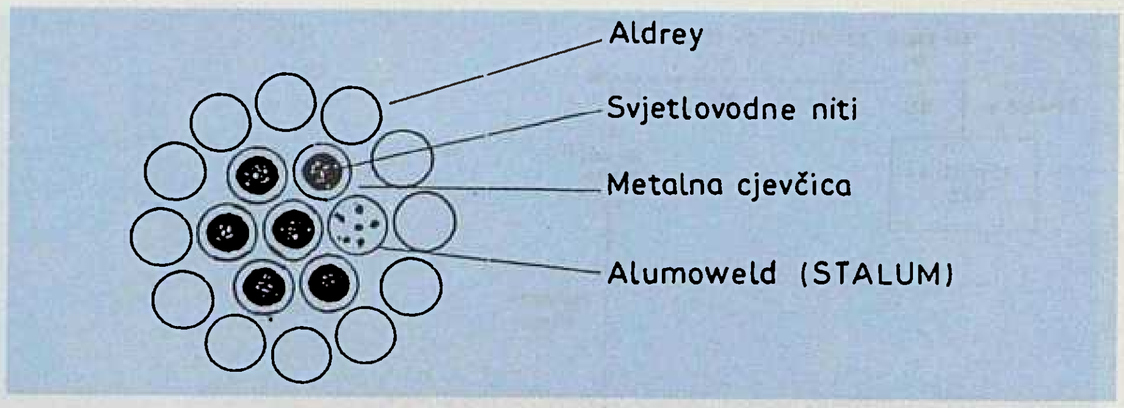
Uzimajući u obzir netom izneseno, odlučeno je da se umjesto spomenutoga zaštitnog užeta AlMg1E/Č — 95/55 mm² na dionici otočne veze do Ts Rab do KK Bili Brig ugradi zaštitno uže oznake AlMgSi 0.5/Stalum — Seil 95/55 mit 1/R. proizvođača Felten & Guilleaume s ugrađenih 10svjetlovodnih niti, dok se od stupa br. 74 do TS Novalja ugrađuje istovjetno uže s 20 svjetlovodnih niti.

5.1. Podaci o zaštitnom užetu

Oznaka zaštitnog užeta	AlMgSi 0.5/Stalum-Seil 95/55
Računski presjek užeta	144.76 mm²
Promjer kompletnog užeta	16.0 mm
Konstrukcija užeta:	
— žica plašta	12 × ∅ 3.20 mm
— žica jezgre	6 × ∅ 3.20 mm
— cjevčica sa maks. 10 svjetlovodnih niti	1 × ∅ 3.20
Volumenska masa užeta	4.352 × 10³ kg/m³
Uzdužna masa užeta	0.630 kg/m
Računska sila kidanja	87 727 N
Modul elastičnosti	99 000 N/mm²
Koeficijent linearnog toplinskog širenja	17.60 × 10⁻⁶ 1/°C
Normalno dopušteno naprezanje	254 N/mm²
Iznimno dopušteno naprezanje	436 N/mm²
Uzdužni srednji djelatni električni otpor na 20 °C	0.295 Ω/mm

Osnovom prikazanog presjeka predmetnog užeta (sl. 7), a na temelju prikazanih podataka o konstrukciji užeta i osnovnim mehaničkim i električnim svojstvima u usporedbi s poznatim karakteristikama i podacima za uže AlMg1E/Č — 95/55 mm², vidljivo je da odabrano uže u većini svojih karakteristika upravo odgovara spomenutom užetu.

Konstrukcijski je identično rješenje kao dvoslojno uže, pri čemu jedna od žica iz sastava čelične jezgre nije klasičnoga punog oblika, već je šuplje u obliku



Slika 7. Presjek zaštitnog užeta

cjevčice unutar koje je smješten odgovarajući broj svetlovodnih niti. Takvo rješenje ugradnje svetlovodnih niti ima stanovite prednosti s obzirom na to da je onemogućen prodor vlage do svjetlovodnih niti, a ujedno je zbog sistema pouzavanja osigurana dovoljna duljina svjetlovodnih niti kako bi se omogućila dodatna gušenja signala koja mogu nastati zbog linearnih izduženja kojima je tijekom montaže i eksploatacije podvrgnuto zaštitno uže.

5.2. Montaža zaštitnog užeta

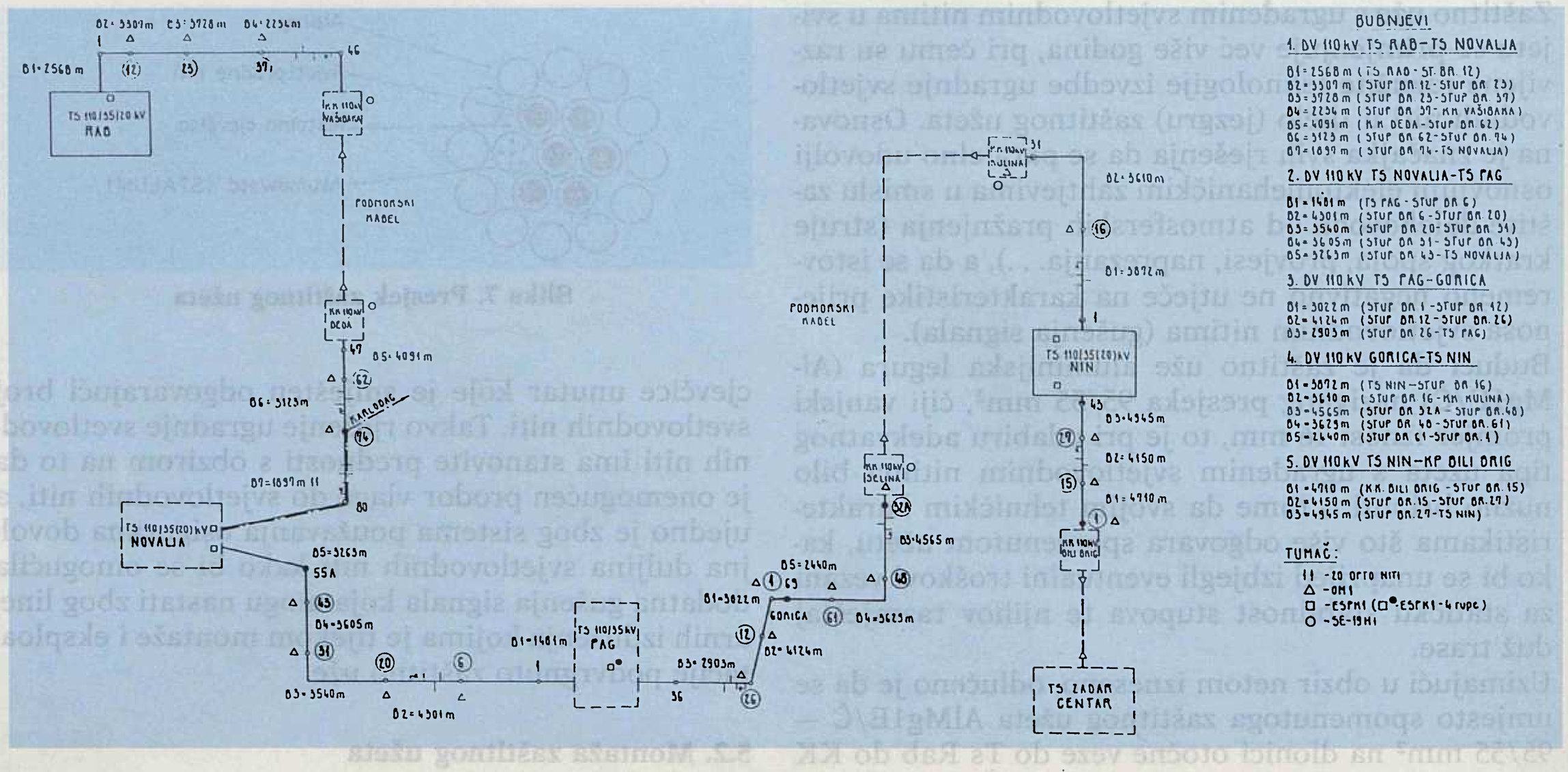
Uvidom u konstruktivne karakteristike zaštitnog užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima evidentno je da ono nije moguće fizički nastavljati na bilo kojem mjestu duž trase voda, jer klasično mehaničko nastavljanje užeta uvjetuje i potrebu nastavljanja svjetlovodnih niti, što je izuzetno složen proces i o čijoj izvedbi izravno ovisi kvaliteta budućeg prijenosa signala. Zbog toga je tehnološki predviđena odgovarajuća spojnica, koja je konstruktivno tako riješena da je isključivo u funkciji nastavljanja svjetlovodnih niti, ali ne i kompletnog užeta.

Prema tome, spomenuta spojnica nije u mogućnosti preuzimanja nikakvih mehaničkih naprezanja, koje uvjetuje montaža užeta, te stoga nastavljanje OPGW užeta nije moguće izvesti u rasponu, već isključivo na stupu, koji ujedno omogućuje pričvršćenje i naknadni pristup do same spojnice.

Vezano za prethodno navedeno, potrebno je točno poznavati potrebnu duljinu OPGW užeta između dviju spojnica, koju je potrebno namatati na odgovarajući bubanj, a bubanj je potrebno numerirati i transportirati na lokacije na trasi.

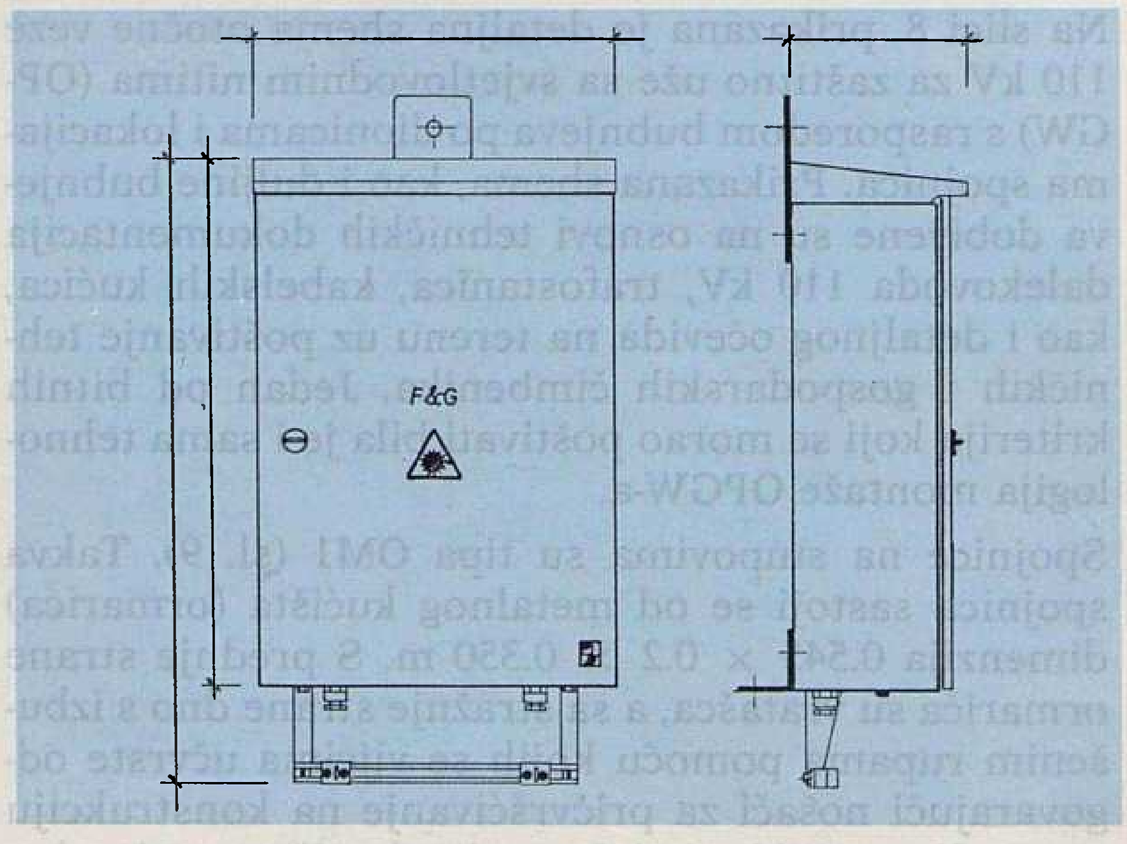
Na slici 8. prikazana je detaljna shema otočne veze 110 kV za zaštitno uže sa svjetlovodnim nitima (OPGW) s rasporedom bubnjeva po dionicama i lokacijama spojnica. Prikazana shema, kao i duljine bubnjeva dobivene su na osnovi tehničkih dokumentacija dalekovoda 110 kV, trafostanica, kabelskih kućica, kao i detaljnog očevida na terenu uz poštivanje tehničkih i gospodarskih čimbenika. Jedan od bitnih kriterija koji se morao poštivati bila je i sama tehnologija montaže OPGW-a.

Spojnice na stupovima su tipa OM1 (sl. 9). Takva spojnica sastoji se od metalnog kućišta (ormarića) dimenzija 0.545 × 0.2 × 0.350 m. S prednje strane ormarića su vratašca, a sa stražnje strane dno s izbušenim rupama pomoću kojih se vijcima učvrste odgovarajući nosači za pričvršćivanje na konstrukciju stupa. U ormariću smještena je plastična spojna ku-



Slika 8. Shema optokabela otočne veze 110 kV

tija u koju se nakon spajanja ulažu niti i koju je nakon kompletiranja moguće hermetički zatvoriti.
S donje strane metalnog kućišta nalaze se odgovarajući provrti s uvodnicama kroz koje se kompletno uže (ili podzemni kabel) uvodi u tijelo spojnice, dok se u plastičnu spojnu kutiju uvode samo cjevčice sa svjetlovodnim nitima.
Završne spojnice su tipa ESPK1 (sl. 9), a montiraju se na portale TS. Te se spojnice također sastoji od metalnog kućišta (ormarića) dimenzija 0.77 × 0.545 × 0.35 m, koji sa prednje strane ima vratašca, a sa stražnje strane dno s navarenim »L« profilima pomoću kojih se odgovarajućim nosačima spojnica učvrsti na konstrukciju portala.
Unutar ormarića također se nalazi plastična spojna kutija u koju se ulažu svjetlovodna vlakna nakon spajanja i koja se hermetički zatvara.



Slika 9. Spojnica tip OM1 i ESPK1

5.3. Ovjesna oprema

Zaštitno uže s ugrađenim svjetlovodnim nitima montira se na vrhove stupova oblika »jela«. Pri tome nosivi stupovi na svom vrhu imaju posebno dorađeni element (konzolicu) kako bi se osigurao pomak u okomitom smjeru u odnosu na trasu predmetnog voda, dok je zavješenje na zateznim stupovima predviđeno izvesti na odgovarajuću ploču na samom vrhu stupa, te je evidentno da se u ovom smislu zadržavaju svi elementi u odnosu prema dokumentaciji izrađenoj za zaštitno uže AlMg1E/Č — 99/55 mm², odnosno promjenom predviđenog tipa zaštitnog užeta zadržana su rješenja zavješenja vezana za konstruktivna rješenja samoga stupa.
Što se tiče preostale ovjesne opreme, bile su nužne neke preinake kako bi se omogućilo zavješenje OPGW užeta.
Na nosivim stupovima umjesto klasične nosive stezaljke i odgovarajućeg kompleta koji se ovjesuje preko zastavice na spomenutu »konzolicu« predviđena je ugradnja odgovarajuće nosive stezaljke s neoprenskim uloškom i preformiranim prutovima. Posebni strujni most predviđeno je izvesti od jednog (1) komada užeta AlMg1E/Č 95/55 koje se preko priključne stezaljke s jedne strane spaja na stup, a s druge preko strujne stezaljke na preformirani prut.
Ovim načinom ugradnje spriječeno je svako oštećenje užeta u tijelu nosive stezaljke i oko, a ujedno je omogućeno prenošenje sila (otklanjanje) u smjeru okomitom na smjer trase voda. Na zateznim stupovima zavješenje OPGW užeta predviđeno je izvesti preko kombinacije škopaca, regulacijskog produžnika te zaštitnoga i zateznoga performiranoga pruta.
Naime, za razliku od klasičnih užeta koja povezujemo bilo vijčanim, bilo kompresijskim stezaljkama, OPGW uže se ne prekida na mjestu učvršćenja na

stupu, već se to izvodi pomoću tzv. zateznoga preformiranog pruta (zatezne spirale). Zaštitni i zatezni preformirani prutovi odnosno spirale tehnološki su posebno izrađeni prutovi (spirale) na čije tijelo je s unutarnje strane nanesena odgovarajuća masa u čijem sastavu ima kvarcnog pijeska radi povećavanja trenja, a tako su preformirani da u potpunosti naliježu odnosno odgovaraju koraku použavanja predviđenog OPGW užeta.

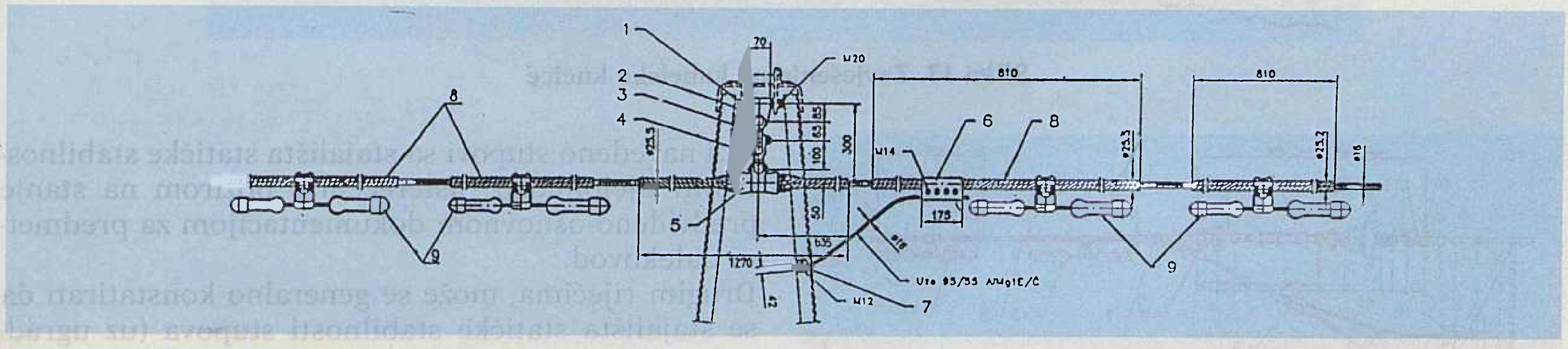
Pri tome je korak použavanja zaštitnog pruta uvijek suprotnog smjera od koraka použavanja užeta odnosno zateznog pruta. Na taj način postiže se adekvatna čvrstoća spoja međusobna nalijeganja elemenata prutova i OPGW užeta na bazi elementarnog trenja, a ujedno se sprečava bilo kakvo oštećenje OPGW užeta odnosno potreba za njegovim fizičkim prekidanjem na mjestu ugradnje.

Osim navedenih elemenata, u sastavu zavješenja nalaze se odgovarajući regulacijski produžnici, a u priključnim rasponima zatezači.

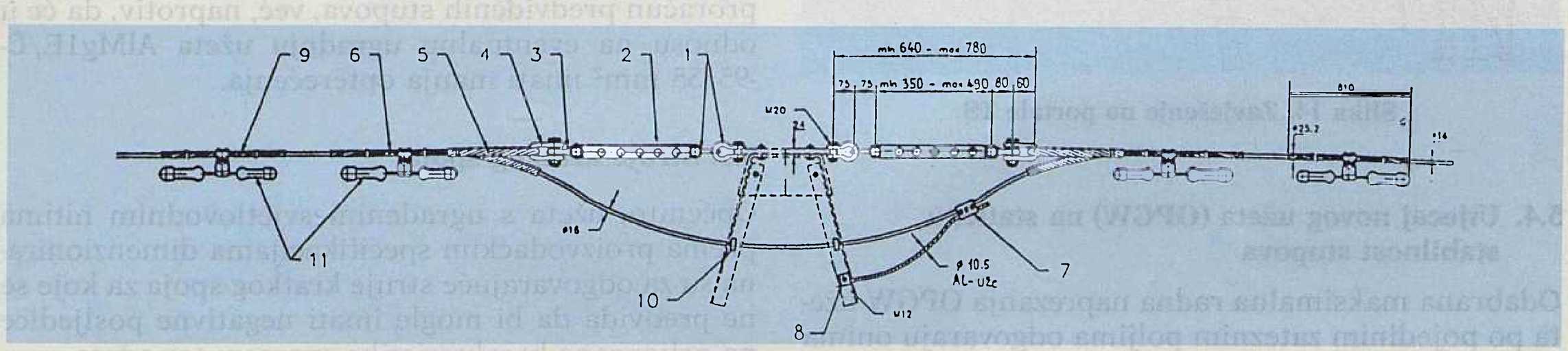
Pomoću njih omogućeno je naknadno precizno udešavanje provjesa pošto se nakon definitivne montaže prethodno opisani prutovi oforme na svoju definitivnu montažnu duljinu što bi u suprotnom moglo imati stanovitih posljedica na potrebne provjese u rasponu. Osim navedenoga, za zatezna ovješenja na portal u TS Nin i na stupu br. 1 predviđeno je da u svom sastavu imaju jedan (1) stakleni kapasti izolator u svrhu postizavanja tzv. izoliranog zavješenja.

Vođenje OPGW užeta duž konstrukcije stupa odnosno portala na mjestima gdje se ugrađuju spojnice, pričvršćenja OPGW užeta uz trup stupa predviđeno je izvesti pomoću odgovarajućih vijčanih nosača s obujmicama. Spomenuti nosači odnosno njihove obujmice prethodno su plastificirani kako bi se zaštitio vanjski sloj OPGW užeta od mogućih oštećenja, a ujedno bi se osiguralo izolirano vođenje duž svih ostalih metalnih konstrukcija.

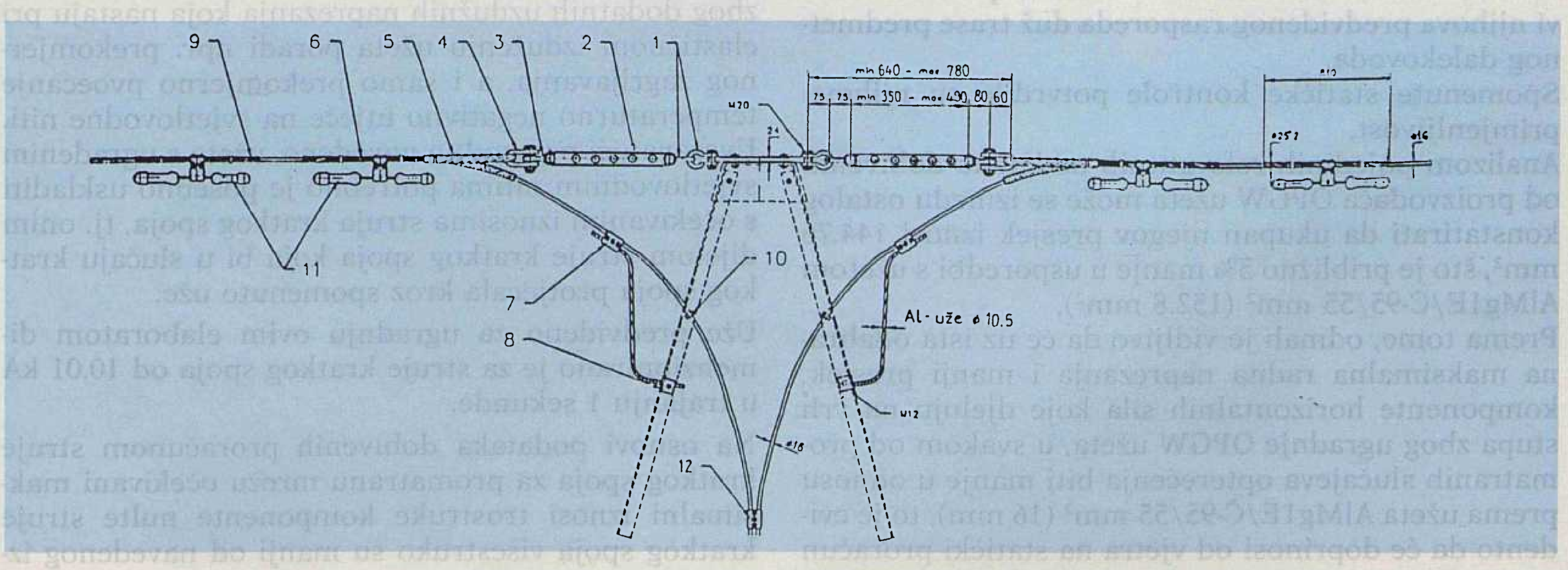
Zavješenja zaštitnog užeta (OPGW-a) dana su na slikama od br. 10 do br. 14.



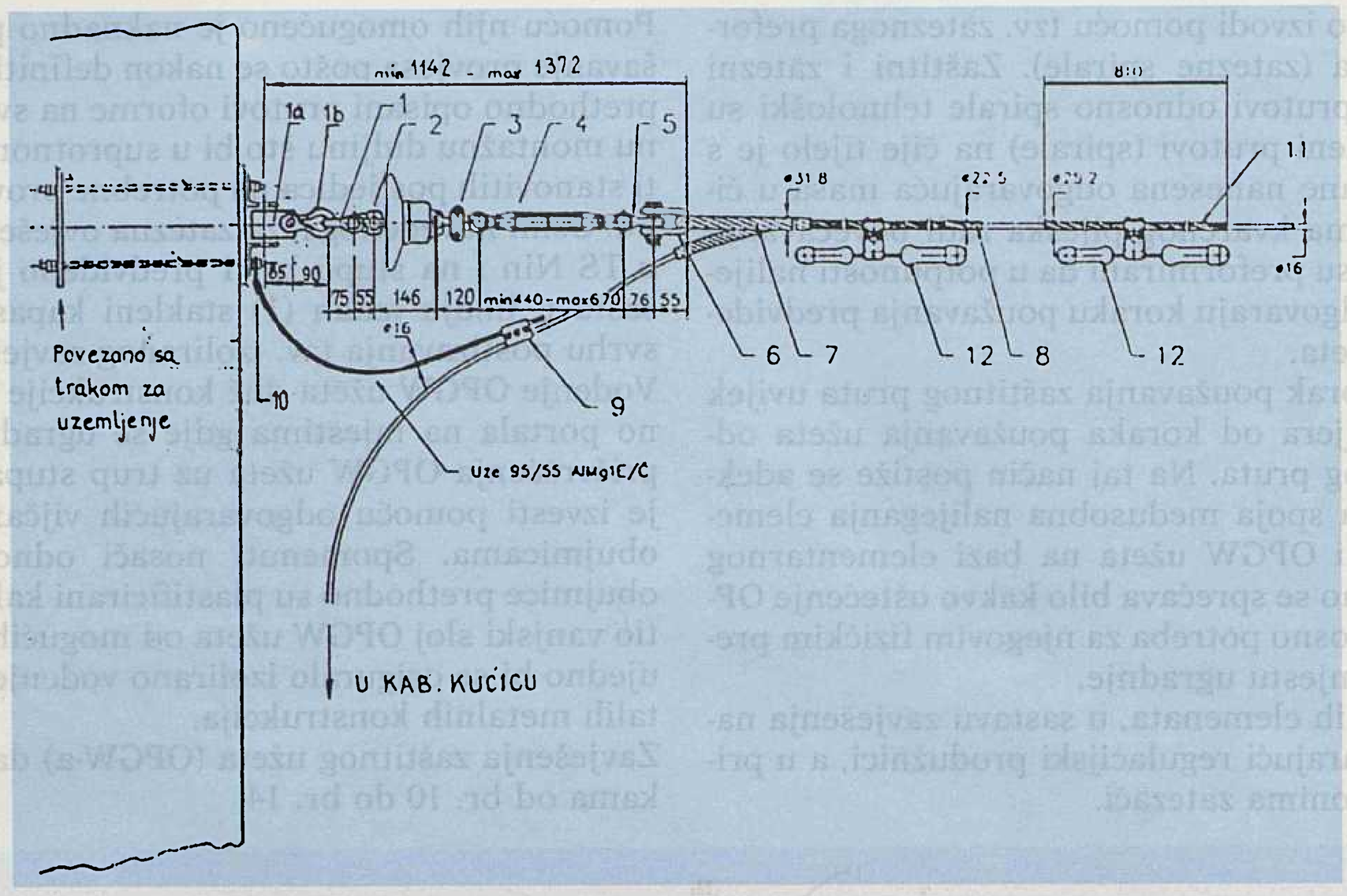
Slika 10. Nosivo zavješenje OPGW-a



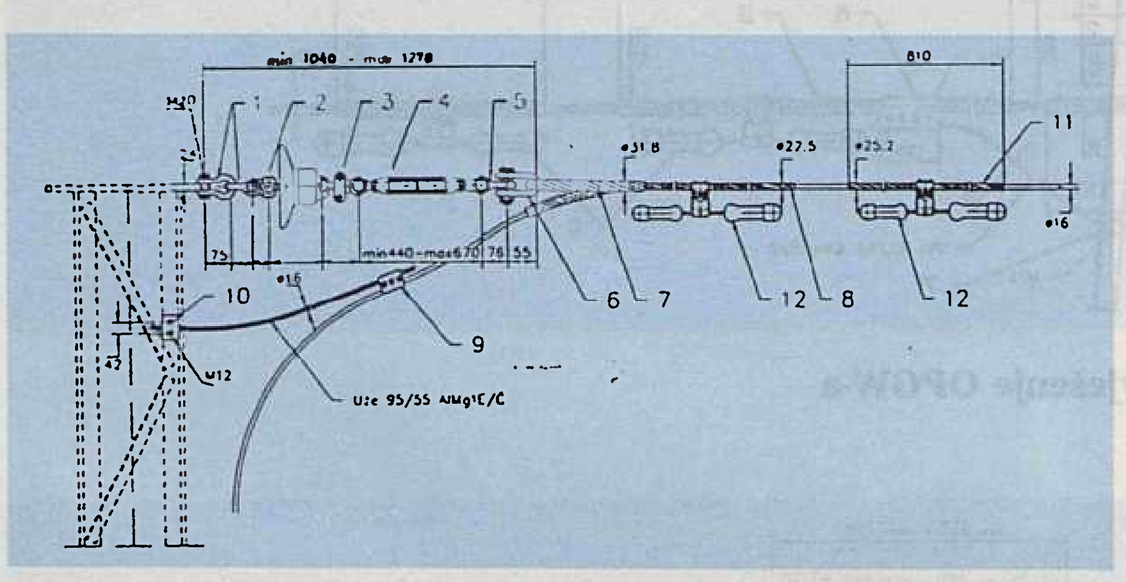
Slika 11. Zatezno zavješenje OPGW-a (prolazno)



Slika 12. Zatezno zavješenje OPGW-a (dvostrano)



Slika 13. Zavješenje na kabelske kućice



Slika 14. Zavješenje na portale TS

5.4. Utjecaj novog užeta (OPGW) na statičku stabilnost stupova

Odabrana maksimalna radna naprezanja OPGW užeta po pojedinim zateznim poljima odgovaraju onima predviđenim za slučaj ugradnje zaštitnog užeta od aluminijske legure (AlMg1E/Č-95/55) za koje su provedene statičke kontrole odabranih stupova na osnovi njihova predviđenog rasporeda duž trase predmetnog dalekovoda.

Spomenute statičke kontrole potvrdile su njihovu primjenljivost.

Analizom pojedinih relevantnih podataka dobivenih od proizvođača OPGW užeta može se između ostalog konstatirati da ukupan njegov presjek iznosi 144.76 mm², što je približno 5% manje u usporedbi s užetom AlMg1E/Č-95/55 mm² (152.8 mm²).

Prema tome, odmah je vidljivo da će uz ista odabrana maksimalna radna naprezanja i manji presjek, komponente horizontalnih sila koje djeluju na vrh stupa zbog ugradnje OPGW užeta, u svakom od promatranih slučajeva opterećenja biti manje u odnosu prema užeta AlMg1E/Č-95/55 mm² (16 mm), to je evidento da će doprinosi od vjetra na statički proračun stupova biti identični za oba užeta odnosno sumirajući navedeno stupovi sa stajališta statičke stabilnosti biti djelomično rasterećeni s obzirom na stanje predviđeno osnovnom dokumentacijom za predmetni dalekovod.

Drugim riječima, može se generalno konstatirati da se stajališta statičke stabilnosti stupova (uz ugradnju predviđenog OPGW užeta umjesto AlMg1E/Č-95/55 mm² užeta) neće negativno utjecati na statički proračun predviđenih stupova, već, naprotiv, da će u odnosu na eventualnu ugradnju užeta AlMg1E/Č-95/55 mm² imati manja opterećenja.

5.5. Struje kratkog spoja

Općenito, užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima prema proizvođačkim specifikacijama dimenzionirana su za odgovarajuće struje kratkog spoja za koje se ne predviđa da bi mogle imati negativne posljedice na prijenosne karakteristike spomenutog užeta.

Naime, svjetlovodne niti pokazuju značajke znatnog pogoršanja kvalitete prijenosa i trajnih deformacija zbog dodatnih uzdužnih naprezanja koja nastaju pri elastičnom izduženju užeta poradi npr. prekomjernog zagrijavanja, a i samo prekomjerno pvoećanje temperaturno negativno utječe na svjetlovodne niti. Uvažavajući prethodno navedeno, užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima potrebno je posebno uskladiti s očekivanim iznosima struja kratkog spoja, tj. onim dijelom struje kratkog spoja koja bi u slučaju kratkog spoja protjecala kroz spomenuto uže.

Uže predviđeno za ugradnju ovim elaboratom dimenzionirano je za struje kratkog spoja od 10.01 kA u trajanju 1 sekunde.

Na osnovi podataka dobivenih proračunom struje kratkog spoja za promatranu mrežu očekivani maksimalni iznosi trostruke komponente nulte struje kratkog spoja višestruko su manji od navedenog iznosa.

Uzimajući u obzir činjenicu da redukcijski faktor predviđenog OPGW užeta iznosi približno 06, – 0,75, te da su dalekovodi o kojima se govori visoke sigurnosti s ugrađenim uređajima za brzo iskapčanje struje kvara (0.1 sek), to je evidentno da će odabrano OPGW uže zadovoljavati s gledišta očekivanih struja kratkog spoja.

6. IZOLACIJA

Na osnovi odluke u cijeloj otočnoj vezi 110 kV na vodu predviđeni su štapni kompozitni (složeni) izolatori na osnovi silikona, vezano za studiju »Stručno mišljenje o kriterijima odabira štapnih silikonskih izolatora za 35 i 110 kV dalekovode priobalnog i obalnog područja«, izrađenom u Institutu za elektroprivredu Zagreb i zaključka stručne grupe stručnog savjeta za razvoj i planiranje prijenosne mreže.

Izolaciju predmetnih dalekovoda (iz poglavlja 2) činit će izolatorski lanci zavješeni na stupovima, sastavljeni od štapnih kompozitnih izolatora tip 138 197 – 006 proizvodnje »Sefag« Švicarska i ovjesne opreme i zaštitnih armatura (prsteni i regulacijska iskrišta) proizvodnje »Dalekovoda« d.d. Zagreb.

Navedeni izolatorski lanci predviđeni su za ugradnju i na druge 110 kV dalekovode na obalnom i priobalnom području i za njih su obavljena ispitivanja u Institutu za elektroprivredu Zagreb.

Kompozitni, tj. sastavljeni izolator sastoji se od dva izolatorska dijela — jezgre i kućišta. Na oba kraja izolator je opremljen izlaznim, metalnim priključcima. Jezgra je unutrašnji dio kompozitnog izolatora i ima zadaću nošenja mehaničkog opterećenja. Kućište se nalazi s vanjske strane jezgre u obliku štitnika (nadstrešnica) i ima zadatak štititi jezgru od posljedica loših vremenskih utjecaja. Izlazni priključci prenose opterećenje na jezgru i omogućuju spajanje izolatora s ostalom opremom.

Predviđeni štapni kompozitni izolatori na bbazi silikona (silcosil) predstavljaju u svjetskim razmjerima novu tehnologiju i do sada u Republici Hrvatskoj nisu korišteni na dalekovodima visokog napona.

Američki nacionalni institut za standarde (ANSI) svojim izdanjem C.2911 – 1989. donio je Američki nacionalni standard za kompozitne ovjesne izolatore za nadzemne prijenosne linije (American National Standard for Composite Suspension Insulators for Overhead Transmission Lines — Test). Isto tako je i Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) usvojila međunarodni standard glede kompozitnih izolatora (International Standard, Composite Insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V – IEC 1109/1992 – 03).

Izolacija dalekovoda u Republici Hrvatskoj regulirana je poglavljem V. (Izolatori i izolatorski lanci) Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91).

Očito je da su domaći propisi doneseni (naslijeđeni) u vrijeme dok je primjena kompozitnih izolatora u nas bila nepoznanica, pa se može ustvrditi da su ti propisi prihvatljivi za dosad primjenjivanu izolaciju (staklo, porculan). Ova tvrdnja može se potkrijepiti detaljnim uvidom u Međunarodni standard IEC 1109/1992 – 23, iz kojeg je vidljiv bitno drukčiji pristup ispitivanju — dimenzioniranju izolacije zbog drukčije tehnologije izradbe i karakteristika kompozitnih (sastavljenih) u odnosu na »klasičnu« izolaciju (staklo, porculan).

Uzimajući u obzir navedenu problematiku u projektima iz poglavlja 2, izvršeno je dimenzioniranje izolacije u skladu s »Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV« (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) kao Međunarodni standard IEC 1109/1992 – 03.

Takav pristup dimenzioniranju izolacije projektant smatra trenutno, do donošenja odgovarajućih nacionalnih propisa, jedino mogućim rješenjem. Dimenzioniranjem izolacije treba utvrditi zadovoljava li odabrani izolator odnosno izolatorski lanac svojim mehaničkim odnosno električnim osobinama predviđene uvjete na dalekovodu.

Rezultati provedenog dimenzioniranja izolacije navode na sljedeće zaključke:

- Odabrani štapni kompozitni izolatori, kao i ovjesna oprema s kojom čine izolatorske lance u mehaničkom pogledu, u potpunosti odgovaraju očekivanim opterećenjima na predmetnom dalekovodu.
- Na osnovi tipskih ispitivanja izolatorskih lanaca sa štapnim kompozitnim izolatorima koje je proveo Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. broj 5251, 5252, 5253 i 5253 određeni su razmaci između iskrišta za postavljene uvjete pogona pod naponom 110 kV, kao i odgovarajuće koeficijente k = 1.00 (utvrđivanje nivoa izolacije) i k = 1.25 (zaštita podmorskog/podzemnog kabela). Problem električno pojačane izolacije; budući da je odabran jedan tip izolatora, riješen je na način povećanja jednominutnoga podnosivog napona industrijske frekvencije u odnosu na ostale dijelove dalekovoda, tj. povećanjem razlike između iskrišta.
- U pogledu izloženosti dalekovoda jakoj buri, a time i jakoj posolici, odabrana je prema IEC 815/1986. najmanja nazivna specifična strujna staza za III. stupanj zagađenosti — teška zagađenost, što odgovara i domaćim propisima. S obzirom na svojstva izolatora na bazi silikona, projektant smatra da će se primjenom predviđenih štapskih kompozitnih izolatora u potpunosti ukloniti problemi zbog jake posolice, dosad očitovani na staklenim kapastim izolatorima.

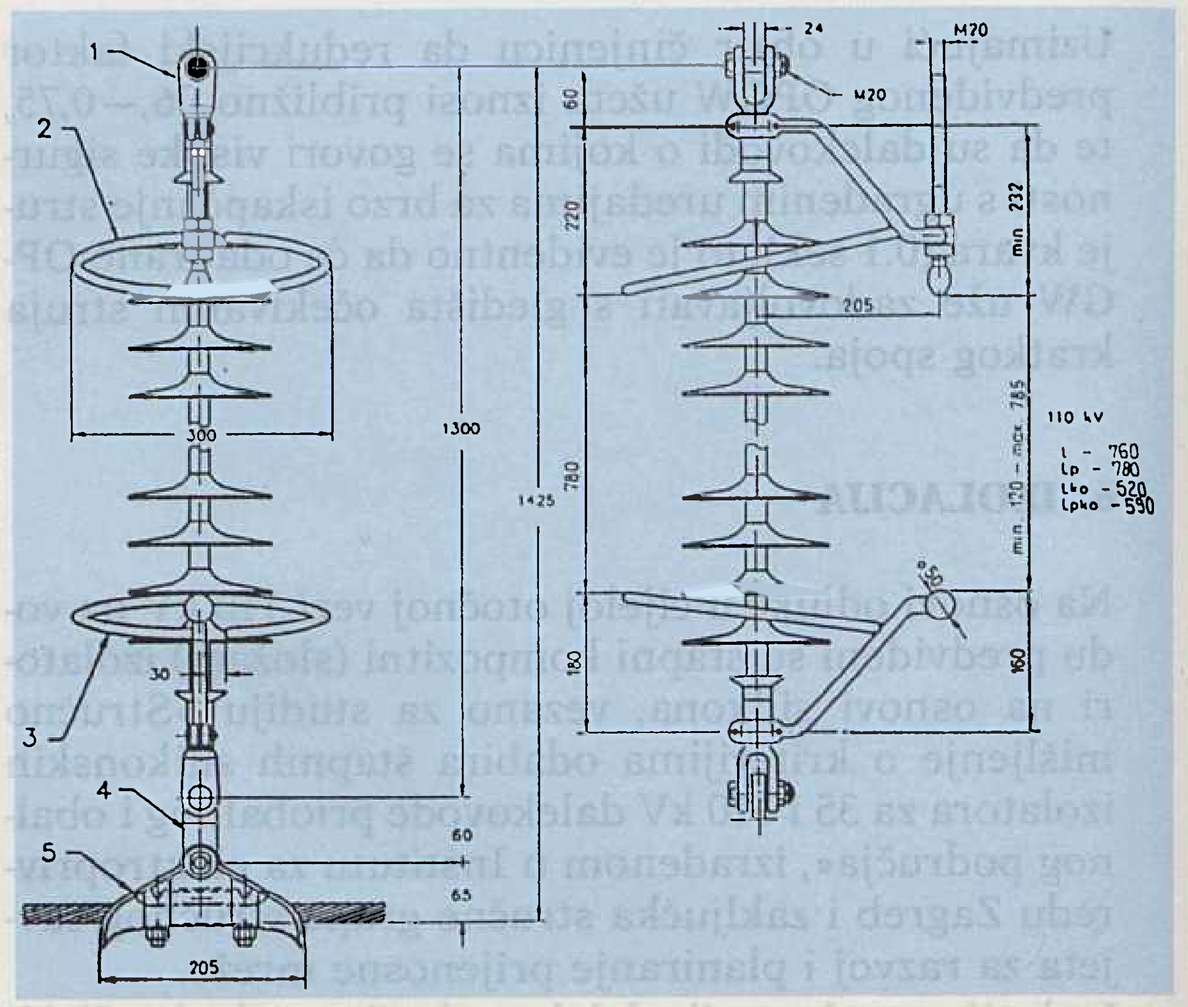
Općenito gledajući, štapni kompozitni izolatori na bazi silikona u svjetskim su razmjerima novost. Treba očekivati da će se zbog njihovih prednosti u odnosu na staklene i porculanske izolatore nastaviti trend njihova razvoja i primjene. Glede činjenice da će DV 110 kV otočne veze 110 kV biti prvi dalekovodi u Republici Hrvatskoj na kojem trebaju biti primijenjeni štapni kompozitni izolatori na bazi silikona za očekivati je da se određeni stručni krugovi uključe u praćenje primjene i ponašanja izolatora tijekom pogo-

na, kao i u donošenje odgovarajućih nacionalnih propisa za stručno područje.

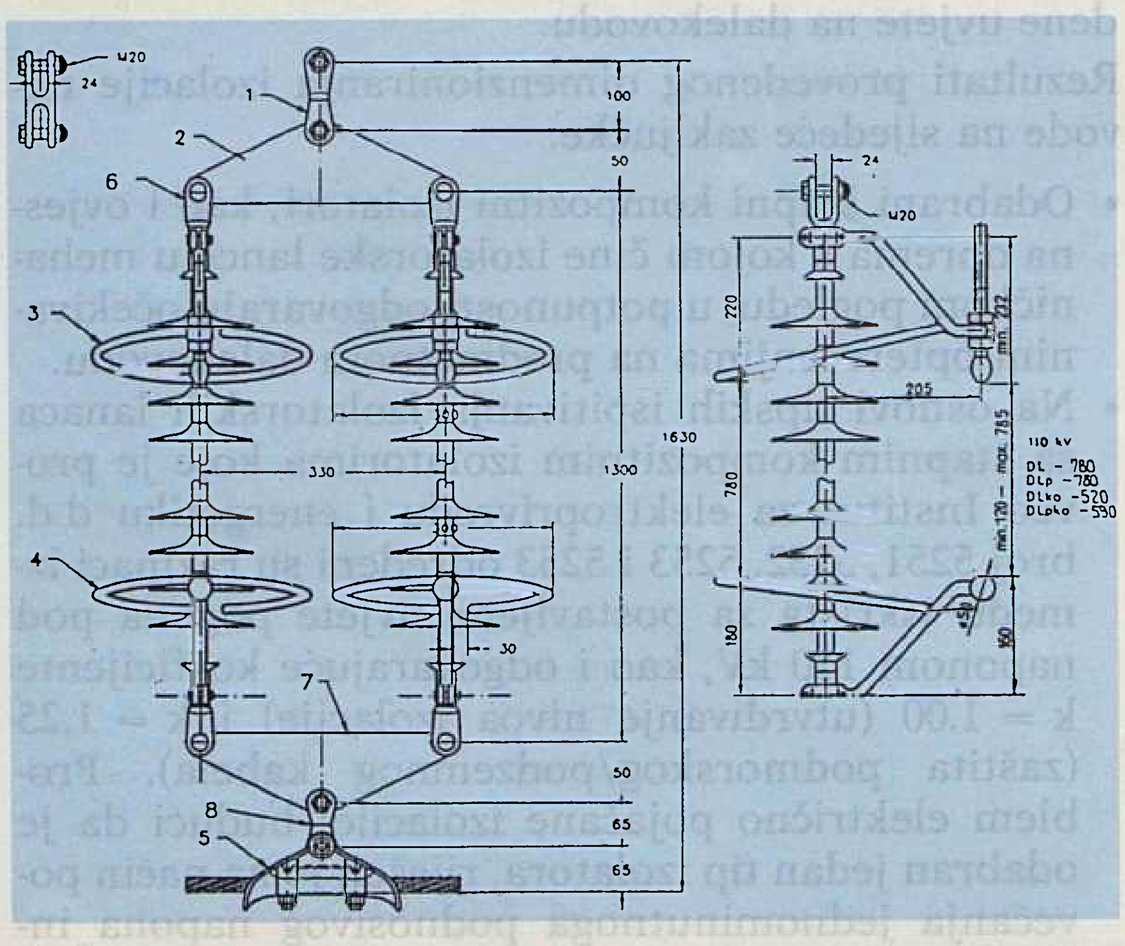
Na slikama od br. 15 do br. 18. prikazani su nosivi zatezni izolatorski lanci s regulacijskim iskrištima. Osnovne tehničke značajke štapnih izolatora oznake 138 197 – 066 (proizvodnja »Sefag« Švicarska) jesu:

- nazivni (pogonski) napon 110 kV
- jednominutni podnosivi izmjenični napon 50 Hz na kiši 230 kV
- podnosivi atmosferski udarni prenapon (1.2/50 μs) pozitivnog polariteta 550 kV
- najmanja pauzna staza 3 075 mm
- lučni razmak 1 070 mm
- naznačeni mehanički teret 120 kN
- završni priključak — vilica s vijkom Φ 20 mm
- broj kapa 20

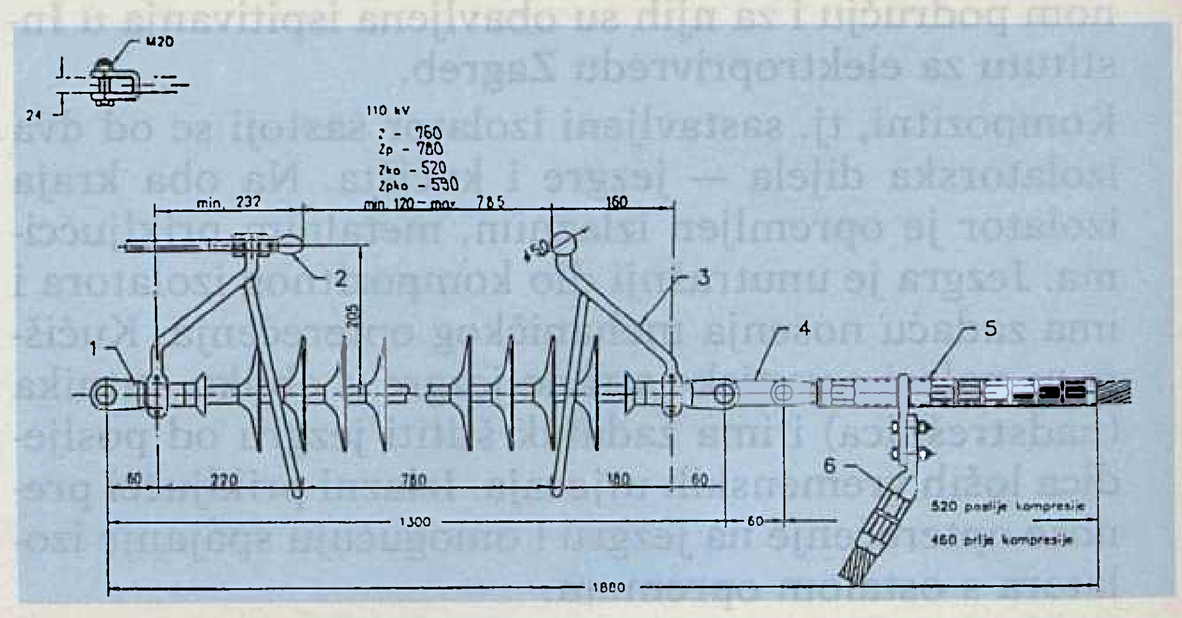
Ovjesna oprema i zaštitne armature za izolatoske lance proizvodnje su »Dalekovoda« d.d. Zagreb.



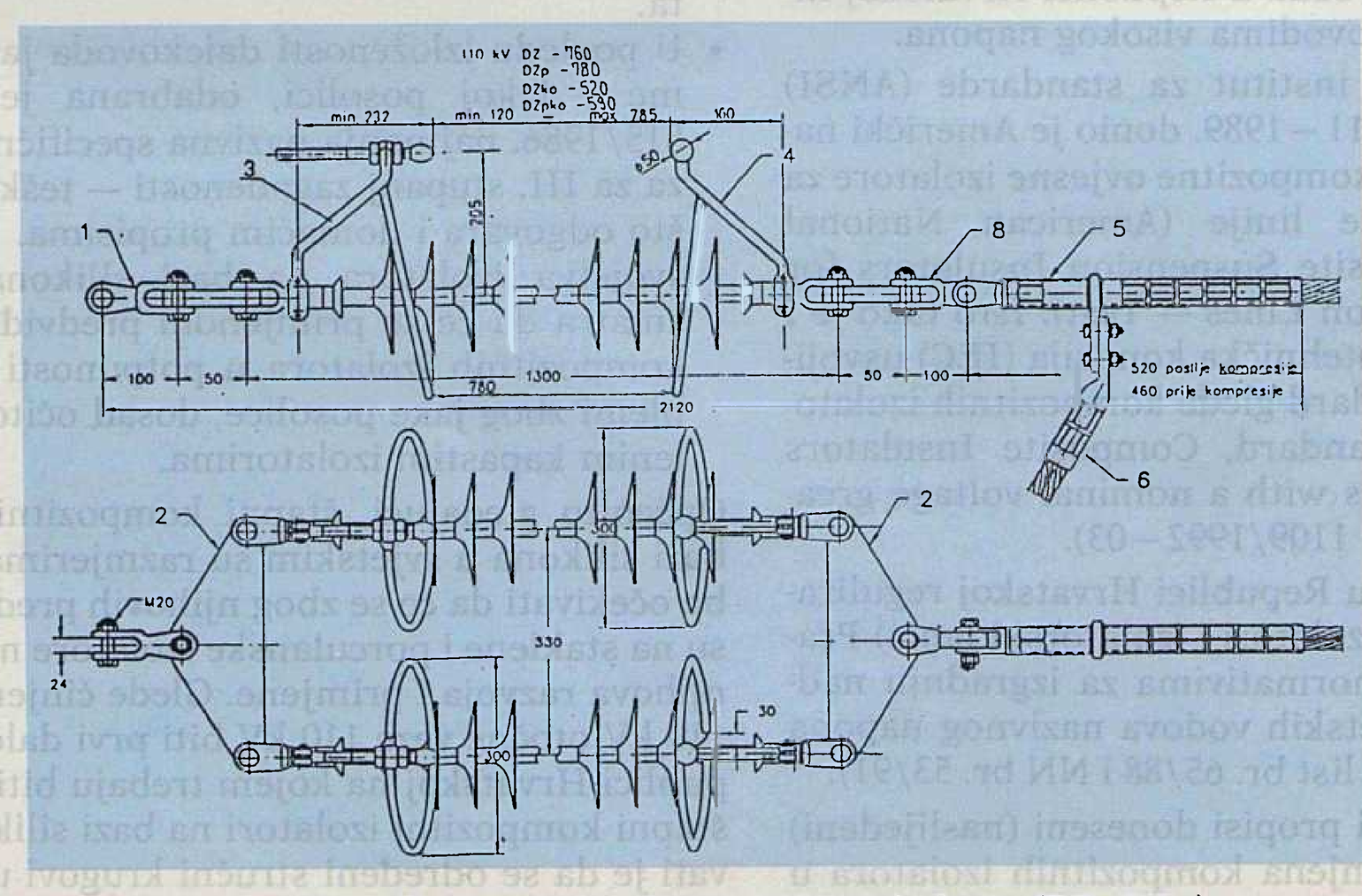
Slika 15. Jednostruki nosivi izolatorski lanac (L_i i L_{pi})



Slika 16. Dvostruki nosivi izolatorski lanac (DL_i, DL_{pi})



Slika 17. Jednostruki zatezni izolatorski lanac (Z_i, Z_{pi})



Slika 18. Dvostruki zatezni izolatorski lanac (DZ_i, DZ_{pi})

6.1. Mehaničko dimenzioniranje izolatora

U skladu s članom 43. Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) štapni izolatori i štapni izolatori u nosivim izolatorskim lancima na nosivim stupovima dimenzioniraju se tako da im je prekidno opterećenje najmanje tri puta veće od težine vodiča s dodatnim opterećenjem. Na zateznim stupovima štapni izolatori u izolatorskim lancima dimenzioniraju se tako da im je opterećenje najmanje tri puta veće od sile zatezanja vodiča. Mehaničko pojačanje izolacije postiže se primjenom dva ili više izolatora, kada je opterećenje ujednačeno na sve izolatore, a u slučaju prekida jednog izolatora ostali izolatori smiju biti opterećeni s najviše pola iznosa elektromehaničkog tereta, odnosno minimalnoga prelomnog opterećenja.

Prema navedenom, najveća dopuštena vertikalna sila za nosive izolatorske lance, odnosno najveća dopuštena sila zatezanja vodiča za zatezne izolatorske lance iznosi:

$$V_z = P_i = \frac{120}{3} = 40 \text{ kN}.$$

Na predmetnim dalekovodima najveće vertikalne sile višestruko su manje od najveće dopuštene vrijednosti 40 kN. Za odabrano najveće radno naprezanje vodiča Uže – 240/40 – A1/Č na dalekovodima najveća sila zateznom stupu iznosi:

$$P_z = q \cdot S = 282.5 \cdot 0.090 = 25.425 \text{ kN}.$$

Prema tome, sila zatezanja vodiča za predviđena najveća radna naprezanja manja je od najveće dopuštene sile zatezanja vodiča 40 kN.

Na osnovi iznesenog u nosivom i zateznom izolatorskom lancu zadovoljit će jedan izolator. U slučaju mehanički pojačane izolacije predviđena je uporaba dva izolatora u lancu, ali kao što je već navedeno, u slučaju prekida jednog izolatora preostali izolator može biti opterećen s najviše polovinom elektromehaničkog tereta, tj.

$$120/2 = 60 \text{ kN}.$$

Na osnovi prethodno iznesenog, vidljivo je da najveća vertikalna sila zatezanja vodiča ne prelaze dopuštenu vrijednost.

Štapni kompozitni izolatori, odnosno njihova jezgra, izrađeni su od materijala koji su skloni puzanju, za razliku od klasičnih izolatora (staklo, porculan). Zbog toga mehanička čvrstoća štapnih kompozitnih izolatora vremenom opada, što ovisi o amplitudi i vremenu trajanja opterećenja.

Navedeno zahtijeva nov pristup provjeri mehaničke izdržljivosti izolatora. Krivulja mehaničke čvrstoće kompozitnog izolatora, kao funkcija vremena primjene sile, može se pretpostaviti kao pravac negativna nagiba, prema logaritmu vremena primjene opterećenja, tako da je vremenska dekada na toj skali konstantan interval s omjerom 10 između svojih granica.

Opterećenja kojima su izvrgnuti izolatori tijekom životnog vijeka dalekovoda mogu se također prikazati na analogan način kao par vrijednosti **opterećenje – vrijeme.**

Cilj je pokusa da korisniku omogući provjeru položaja na krivulji **mehanička izdržljivost – vrijeme** izolatora, uzevši u obzir opterećenja očekivana tijekom proračunskoga životnog vijeka dalekovoda, npr. 50 godina u prosjeku.

Međunarodni standard IEC 1109 propisuje između ostalog slijedeće pokuse:

a) *Pokus konstrukcije*

Cilj je ovog pokusa provjera da nagib krivulje čvrstoće izolatora ovisno o logaritmu vremena nije veći od usuglašenih 8 % jednominutnog opterećenja pogreške jezgre po dekadi vremena. Ovaj pokus služi prije svega proizvođaču izolatora radi utvrđivanja osnovnih mehaničkih značajki izolatora. U uvodu su navedene osnovne karakteristike promatranog izolatora koje jamči proizvođač.

b) *Tipski pokus — pokus trajnim mehaničkim opterećenjem*

Cilj je ovog pokusa provjera nazivnoga mehaničkog opterećenja izolatora (NMO) koje garantira proizvođač, uzimajući u obzir kumulativne učinke opterećenja. To se čini prvo primjenom tereta od 0.7 NMO tijekom 96 sati, a zatim mijenjajući NMO u toku 1 minute.

Napomena: 96-satno vrijeme odabrano je praktično u sredini logaritamske skale vremena (1 min. – 50 godina), uzimajući u obzir praksu ispitnih laboratorija. Vrijednost od 0.7 NMO odabrana je za 96-satni pokus izdržljivosti zato što odgovara garantiranom 8 %-tnom nagibu krivulje **mehanička izdržljivost – vrijeme** izolatora po vremenskoj dekadi.

Informacije dobivene iz ovog pokusa korisniku mogu poslužiti kako bi se provjerilo je li krivulja karakteristike mehaničke izdržljivosti izolatora smještena iznad očekivanih opterećenja na dalekovodu.

U skladu s navedenim u ovoj točki izvršeno je tipsko ispitivanje — ispitivanje trajnim mehaničkim opterećenjem, o čemu je izdan Protokol o ispitivanju br. 386 (»Dalekovod«, Služba kontrole kvalitete), kao dio potvrde o tipskom ispitivanju br. 934/92 koje je proveo Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb, Zavod za visoki napon i prijenosne mreže.

Na osnovi provedenih ispitivanja može se zaključiti da odabrani štapni silikonski izolator tip 138 197 – 066 odgovara karakteristikama navedenim od strane proizvođača »Sefag« Švicarska.

Ovaj potvrđeni pravac **mehanička izdržljivost – vrijeme** izolatora ucrtan je u dijagram (sl. 18). Nadalje je potrebno utvrditi opterećenje izolatora tijekom pretpostavljenoga životnog vijeka dalekovoda, što se može predstaviti pravcem **opterećenje – vrijeme** izolatora, analogno kao i krivulja **mehanička izdržljivost – vrijeme** kompozitnih izolatora.

Pravac opterećenja – vrijeme izolatora projektant može odrediti na osnovi vlačnih tereta

- redovan mehanički teret (RMT)
- izvanredan mehanički teret (IMT)
- maksimalni mehanički teret (MMT)

u odnosu na vremensku skalu podijeljenu u dekade. Redovan mehanički teret (RTM) predstavlja težinu vodiča i pribora bez leda za nosivi izolatorski lanac, odnosno vlačnu silu (teret) za zatezni lanac, uzimajući u račun najčešće temperature i najčešću brzinu vjetra. Ovaj je teret zapravo najčešći prikaz terenskih uvjeta za promatrani dalekovod.

Pojmovi, najčešća temperatura i najčešća brzina vjetra nisu posebno definirani. U našem slučaju za potrebe proračuna RTM koristila su se opterećenja koja nastaju kod procijenjene srednje godišnje temperature 15 °C za područje kojim je položena trasa dalekovoda i brzina vjetra od 5 m/s (Beaufortov stupanj 3) — slab vjetar.

Vlačna sila — teret za to naprezanje iznosi:

$$F_v = \sigma \cdot q$$

Sila vjetra na vodič iznosi

$$P_v = \frac{v^2}{1.6} \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{2} \cdot d,$$

gdje su:

v (m/s) — brzina vjetra (najčešća)
a (m) — raspon
d (m) — promjer.

Rezultanta sile vodiča i sile djelovanja vjetra na vodič iznosi:

$$RTM = \sqrt{F_v^2 + P_v^2}.$$

Napomena: Vjetar djeluje okomito na vod, tj. pod pravim kutom u odnosu prema sili vlaka vodiča. Sila vjetra evidentno je zanemariva u ovom slučaju.

Izvanredni mehanički teret (IMT), za koji je procijenjeno da se pojavljuje u trajanju ukupno jednog tjedna u životnom dijelu dalekovoda, na izolatoru ne uzrokuje trajne deformacije. Projektant se odlučio da se za vrijednost IMT-a odabere opterećenje koje nastaje pri normalnom dodatnom teretu i djelovanju vjetra.

$$F_v = \sqrt{F_h^2 + V_z^2}.$$

Promjer zaleđenog vodiča pri normalnom dodatnom teretu iznosi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot DT \cdot 0.18 \cdot \sqrt{d} \cdot 10^3}{\gamma_1 \cdot \pi} + d^2},$$

gdje su:

F_h (N) — horizontalna komponenta sile zatezanja vodiča
V_z (N) — vertikalna sila vodiča
d (mm) — promjer vodiča
γ_1 (kg/dm^3) — specifična masa leda.

Sila pritiska vjetra na zaleđeni vodič iznosi:

$$P_v = p_v \cdot D_1 \cdot \frac{a}{2},$$

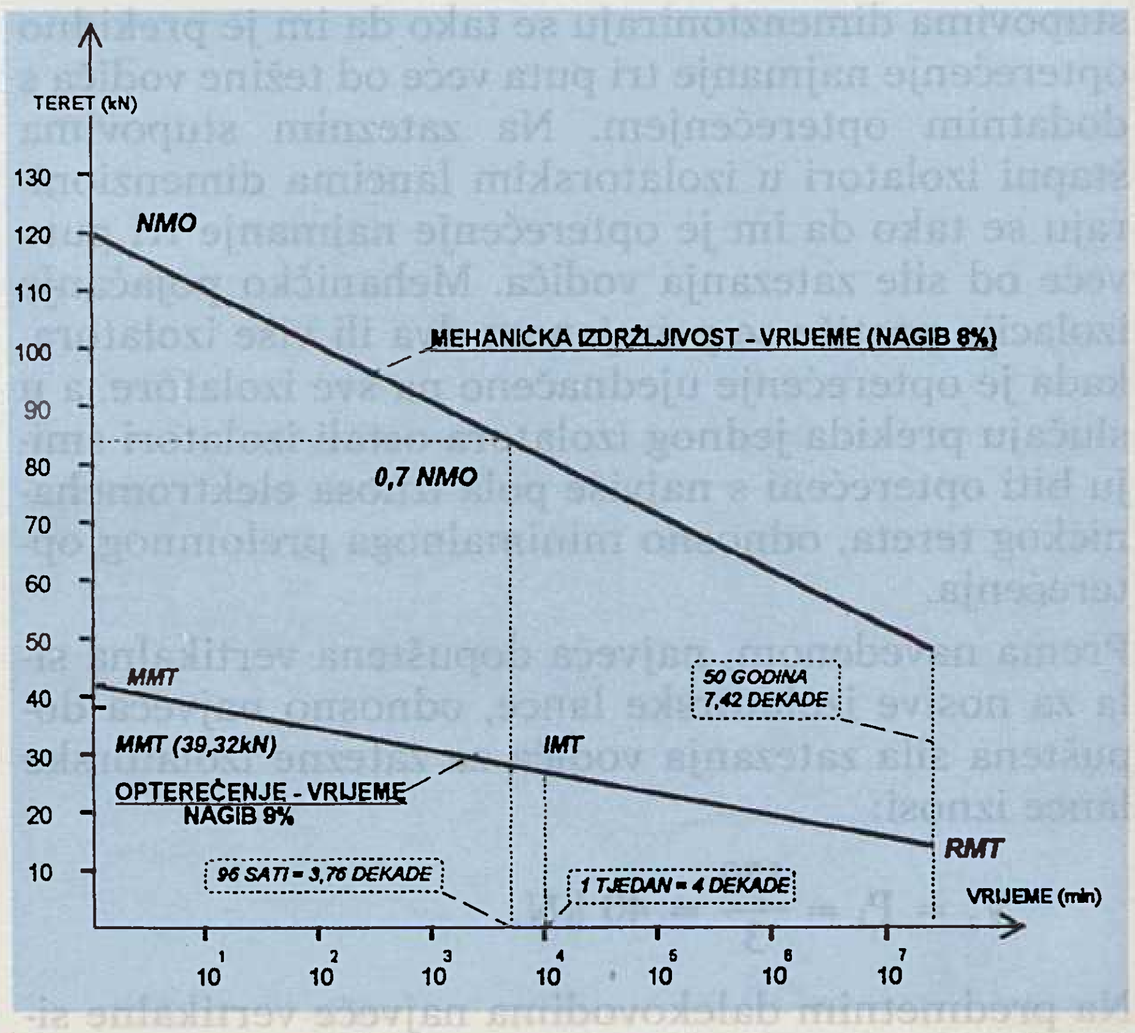
gdje je:

p_v (N/m^2) — pritisak vjetra na vodiče.

Rezultanta vlačne sile vodiča i sile vjetra na vodič iznosi:

$$IMT = F_r = \sqrt{F_v^2 + P_v^2}.$$

Na taj način dobivena je i druga točka korisnikovog pravca **opterećenje – vrijeme** izolatora (sl. 19).



Slika 19. Usporedba dijagrama mehanička izdržljivost — vrijeme izolatora i korisnikovog dijagrama opterećenje — vrijeme izolatora

Maksimalan mehanički teret (MMT) definiran je kao najveće moguće mehaničko opterećenje koje doživljavaju izolatori u cijelom životnom vijeku, a pojavljuje se vrlo brzo (1 min) i nadilazi vrijednost IMT. Pri ovom teretu ne bi se trebala pojaviti nikakva mehanička odvajanja na izolatoru, ali je prihvatljiva trajna deformacija. Samom definicijom MMT-a vidljivo je da ga teško odrediti, odnosno predvidjeti. Projektant se odlučio da vrijednost MMT-a izračuna pri trostrukoj vrijednosti normalnog dodatnog tereta (iznimni dodatni teret) i djelovanju vjetra.

Sila vlaka vodiča pri iznimnom dodatnom teretu:

$$F = q \cdot \sigma_i.$$

Promjer vodiča pri iznimnom dodatnom teretu iznosi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot DT \cdot 0.18 \cdot \sqrt{d} \cdot 10^3}{\gamma_1 \cdot \pi} + d^2},$$

Sila pritiska vjetra na zaleđeni vodič pri iznimnom dodatnom teretu iznosi:

$$P_v = p_v \cdot D_1 \cdot \frac{a}{2}.$$

Rezultanta sile vlaka vodiča i sile pritiska vjetra na vodič pri dvostrukom normalnom dodatnom teretu iznosi:

$$MMT = f_r = \sqrt{F_v^2 + P_v^2}.$$

Za orijentaciju korisnicima međunarodni standard IEC 1109 za slučaj umjerenih i neekstremnih klimatskih uvjeta daje relativne odnose mehaničkih tereta:

RMT = 0.20 – 0.33 MMT
IMT = 0.06 MMT.

Na dalekovodima otočne veze 110 kV postignuti su navedeni odnosi.

6.2. Električno dimenzioniranje izolacije

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) izolacija 110 kV dalekovoda mora izdržati:

- nazivni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije 185 kV
- najviši podnosivi atmosferski udarni prenapon 450 kV.

Tipska ispitivanja predviđenih izolatorskih lanaca proveo je u skladu s IEC 383/1983, IEC 437/1973 i BS 137/1973 Part 2 Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb. Ispitivanjima su utvrđeni razmaci između iskrišta za pogonske napone 35 kV i 110 kV, te koeficijente zaštite 1.00 i 1.25. Navedeni razmaci prikazani su u tablici 1.

Tablica 1.

Izolatorski lanac	Razmak iskrišta d (mm)	
	Koeficijent k = 1.00	Koeficijent k = 1.25
jednostruki nosivi	760 (760)	517 (520)
dvostruki nosivi	753 (760)	507(520)
jednostruki zatezni	735 (760)	503 (520)
dvostruki zatezni	753 (760)	506 (520)

Napomena: Koeficijent k = 1.00 primjenjuje se utvrđivanju stupnja izolacije. Koeficijent k = 1.25 (koeficijent zaštite) predstavlja osnovu između podnosivog udarnog napona izolacije i udarnog zaštitnog nivoa štićene opreme.

Na mjestima prijelaza dalekovoda preko određenih objekata izolaciju je potrebno pojačati u električnom smislu. Prema članu 53.2. Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) izolacija je električno pojačana ako se za masivni i štapne izolatore odabere izolator s povećanom duljinom strujne staze. Odabran je jedan tip izolatora za cijelu otočnu vezu 110 kV, no s obzirom na to da pojačaje izolacije ovisi o preskočnom, odnosno podnosivom naponu, praktično rješenje električnog pojačanja izolacije moguće je izvesti povećanjem razmaka između iskrišta. Na osnovi provedenih ispitivanja izračunan su razmaci između iskrišta izolatorskih lanaca za slučaj električno pojačanje izolacije. Navedeni razmaci prikazani su u tablici 2.

Tablica 2.

Izolatorski lanac	Razmak iskrišta d (mm)	
	Koeficijent k = 1.00	Koeficijent k = 1.25
jednostruki nosivi	780 (780)	580 (590)
dvostruki nosivi	780 (780)	587(590)
jednostruki zatezni	780 (780)	572 (590)
dvostruki zatezni	780 (780)	577 (590)

Napomena: Izračunatim razmacima iz tablice 2. postiže se jednominutni podnosivi naponi industrijske frekvencije viši za oko 4.2 % do 5.8 % u odnosu prema istim naponima na ostalom dijelu dalekovoda.

Zbog praktičnih se razloga pri ugađanju razmaka između iskrišta preporučuju jedinstveni razmaci za sve izolatorske lance navedene u zagradama.

S obzirom na jake vjetrove (bura) i blizinu dalekovoda morskoj obali očekivan je III. stupanj zagađenosti — velika zagađenost zbog pojave jake posolice na izolatorima. Prema tablici 7. Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) za navedeni stupanj zagađenosti potrebna je najmanja specifična nazivna strujna (puzna) staza faze i zemlje od 25 mm/kV. Odabrani tip izolatora 138 197 – 066 ima prema podacima proizvođača »Sefag« najmanju puznu stazu 3 075 mm. Uzimajući u obzir najviši pogonski napon opreme 123 kV, specifična nazivna strujna (puzna) staza iznosi:

$$3\,075 \text{ mm}/123 \text{ kV} = 25 \text{ mm/kV},$$

što odgovara zahtjevima.

7. KLIMATSKI UVJETI

Na cijeloj otočnoj vezi 110 kV dalekovodi su projektirani (uključujući i novi DV 110 kV Rab – Novalja) s tlakom vjetra 110 N/mm² i 1 300 N/mm² (ovisno o dionicama) i masama normalnoga dodatnog tereta 1.0 × 0.18 Vd kg/m i 1.6 × 0.18 Vd kg/m (ovisno o dionicama).

Minimalna temperatura	– 20 °C
Maksimalna temperatura	+ 40 °C
Temperatura kod koje se pojavljuje dodatni teret	– 5 °C

Ocijenjena je srednja godišnja temperatura od 15 °C.

8. ZAKLJUČAK

Kako je vidljivo iz poglavlja 2, »Dalekovod« d.d. Zagreb (djelatnost Projektiranje) izradio je ukupno 17 projekata za otočnu vezu 110 kV. Vrlo važan čimbenik u tijeku izradbe navedene dokumentacije bila je koordinacija između projektanata dalekovoda, trafostanica, podmorskih kabela i kabelskih kućica. Kao i sama dinamika građenja, uvjetovana je elektroenergetskim prilikama u Zadru i okolice. Iskustva stečena projektiranjem kompletnog energetskog sustava, kao što je otočna veza 110 kV i uspješna suradnja između projektanata i investitora HEP-a trebala bi biti iskorištena i na budućim sličnim poslovima.

TRANSMISSION LINE DESIGN OF THE 110 kV ISLAND CONNECTION

Basic information on the 110 kV transmission line design are given as well as works on existing transmission lines.

DAS ENTWERFEN VON 110 kV FREILEITUNGEN DER »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Dargestellt wurden die Grundauskünfte über das Entwerfen von 110 kV Freileitungen der »Über — Inseln — Verbindung« mit Rückblick auf diesbezügliche Eingriffe an bestehenden Freileitungen.

Naslov pisca:

Davor Đurđević, dipl. inž. el.
»Dalekovod« d.d. Zagreb
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 21.

TRANSPORT I POLAGANJE PODMORSKIH KABELA 110 kV OTOČNE VEZE

Petar Čerina, Split — Mato Mijić, Split — Boris Živković, Trogir

UDK 621.315.2.005

PREGLEDNI ČLANAK

Za potpuno stvaranje projekta otočne veze bitan dio je bio transport i polaganje podmorskih kabela, što je za potrebe HEP-a je izvela Danska tvrtka NKT. Kabeli su isporučeni i transportirani brodom polagačem — tegljenicom Henry P. Lading u ukupnoj dužini od približno 62 km (34 km — 300 mm² Cu i 28 km — 400 mm² Cu).
Potanko su obrađene sve faze polaganja, koje je praćeno i obrađeno najsuvremenijom navigacijskom i računalskom opremom.

Ključne riječi: podmorski kabel, polaganje kabela, kabelska trasa, tegljač, DGPS sistem.

UVOD

Transport i polaganje podmorskog energetskog kabela 110 kV i optičkog kabela HEP je ugovorio s proizvođačem kabela ABB iz Švedske.

ABB ne posjeduje objekt za transport i polaganje podmorskih kabela, pa je za transport i polaganje podmorskih kabela **otočne veze** angažirao Dansku tvrtku NKT.

NKT posjeduje vlastiti brod (tegljanicu) za tranposrt i polaganje Henry P. Lading, koja je, kada nije u upotrebi, usidrena uz gat pokraj tvornice.

Kabeli su ukrcani na H. P. Lading u samoj tvornici ABB u Karlskroni (tvornica je na samoj obali) i dotegljeni tegljačem za 21 dan u naš Jadran. U Zadar je stigao 21. lipnja 1994. Polaganje je na prvoj dionici trase o. Rab — o. Pag započelo 23. lipnja 1994, a završilo je posljednjom dionicom — trasom o. Ugljen — Bibinje 09. srpnja 1994. godine. Nakon iskrcavanja (10. lipnja 1994.) dvaju čeličnih bubnjeva s ostatkom kabela u luci Paženica brod polagač je otegljen prema Danskoj.

1. OPIS BRODA ZA TRANSPORT I POLAGANJE

Brod za transport i polaganje izgrađen je kao teglenica (barža) bez vlastitog pogona, a opremljen je sidrenim vitlom, četirima priteznim vitlima i trima vitlima s vertikalnom osovinom, sidrima, lancima i užadi. Raspolaže smještajnim prostorom za 25 osoba.

Najvažniji dio opreme na brodu jest kotač vertikalnog vitla za polaganje na hidraulički pogon i velika rotirajuća platforma s različitim uređajima za zatezanje na koju je smješten kabel — u našem slučaju oko 62 km jednožilnog podmorskog kabela (oko 34 km — 300 mm² Cu i 28 km — 400 mm² Cu).

Osnovni tehnički podaci:

Brod polagač

— ukupna dužina	72 m
— širina	21 m
— dubina	4.3 m
— najveći gaz pri opterećenju	3.4 m
bruto	1 631 t
neto	489 t

Oprema za polaganje

— kotač vertikalnog vitla	
vanjskog promjera	6 m
— rotirajuća platforma	
unutarnji promjer	8 m
vanjski promjer	19 m
— visina	4 m
— kapacitet	1 400 t

Jedno pokretno vitlo

— 4 pritezna vitla	6 t
— maksimalna vlačna sila	8 t
— dužina užeta	1 000 m
— dimenzije užeta	30 mm

Nadalje, H. P. Lading je opremljen s ehosonderom, opremom za mjerenje položenog kabela i navigacijskom opremom. Tijekom polaganja svi glavni podaci se ištampavaju kao kontrola kvalitete izvedenih radova.

Za komunikacijske svrhe, H. P. Lading je opremljen kratkovalnim i srednjevalnim radiom, te četiri VHF radija. Radi osiguranja točne i brze informacije posada H. P. Lading posjeduje veći broj portabl VHF radija.

2. UTOVAR I TRANSPORT

S gata u tvornici Karlskrona — Švedska kabeli su namotani direktno na rotirajuću platformu broda. Utovar kabela je trajao tri dana (sl. 1. i sl. 2).



Slika 1. Utovar kabela na brod polagač



Slika 2. Kabel na platou tvornice

Kada je cijeli kabel bio na brodu H. P. Ladinga teglio je remorker Skuld od cca 3.700 IHP prema našem Jadranu. Brzina teglenja je oko 8–9 čvorova po dobrim vremenskim uvjetima. Prijevoz do Zadra trajao je 21 dan.

3. PRIPREME ZA POLAGANJE

Prije polaganja potrebno je bilo izvršiti ove pripreme:

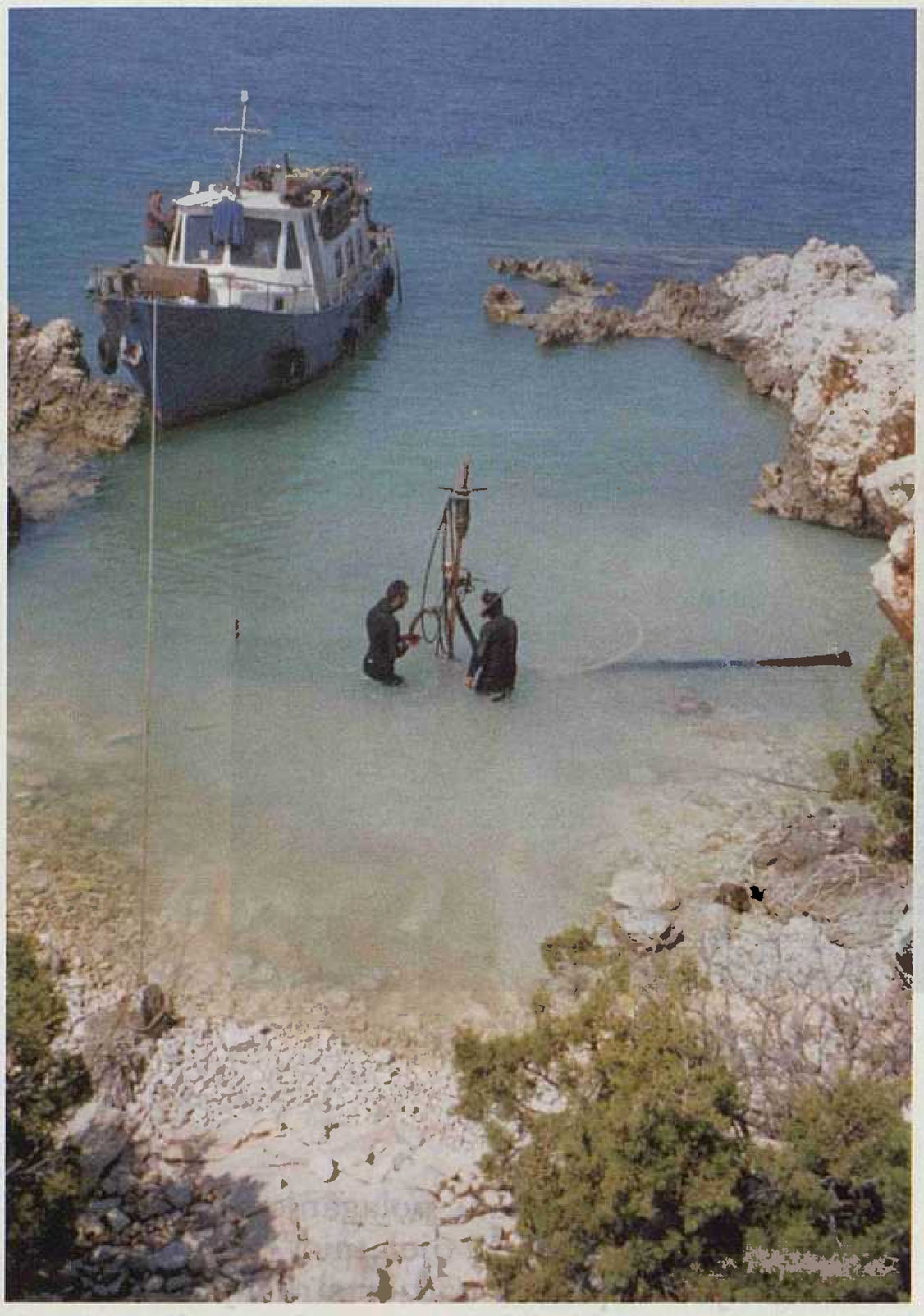
— odrediti točan redoslijed i smjer polaganja
  I. o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt Deda)
  II. o. Pag (rt Seline) — Kopno (rt Kuline)
  III. o. Pag (u. Toreta) — Kopno (u. Koromačina)
  IV. o Ugljan (Gnjoišća) — Kopno (Bibinje)
— izraditi privezišta za brod u svakoj ishodišnoj točki
— odrediti pozicije sidara pri polaganju
— pripremiti navigacijski sustav i točne koordinate
— pripremiti navigacijske i signalne oznake na kopnu i moru
— pripremiti priobalnu zaštitu za prihvat kabela
— postaviti na obali (ishodišnim točkama) strojeve za povlačenje kabela.

4. POLAGANJE

H. P. Lading usidri se uz pomoć priteznih vitala na onoj udaljenosti od obale kojoj odgovara dubina mora od približno 7–8 m.

Kabel se povlači na obalu plutajući na zračnim jastucima. Tu se zračni jastuci uklanjaju, a kabel se izvlači nakrajnji završetak. Preostali zračni jastuci se uklanjaju, a kabel tone na dno i u kanale priobalne zaštite, sve pod nadzorom lakih ronioca.

Zatim se H. P. Lading odvaja od priteznih vitala, a počinje sama operacija polaganja, s jednim tegljačem



Slika 3. Izradba priobalne zaštite

naprijed, a jednim sa strane radi ispravljanja trase, te jednim prema straga radi zaustavljanja broda polagača. Polaže se brzinom 1 – 2 km na sat (sl. 4).

Od rotirajuće platforme kabel preko regulatora naprezanja prelazi na vertikalno vitlo, te se kroz valjkasti lijevak spušta u more. Tijekom polaganja kontinuirano se mjere i registriraju položene dužine, brzina polaganja, natega kabela, kao i dubina mora i položaj broda polagača. Izračunava se natega kabela koja odgovara stvarnoj dubini mora.

Dva operatora na mostu upravljaju polaganjem. Jedan operator prilagođava brzinu rotirajuće platforme tako da je regulator naprezanja uvijek u srednjem položaju, a drugi operator prilagođava brzinu kotača vertikalnog vitla.

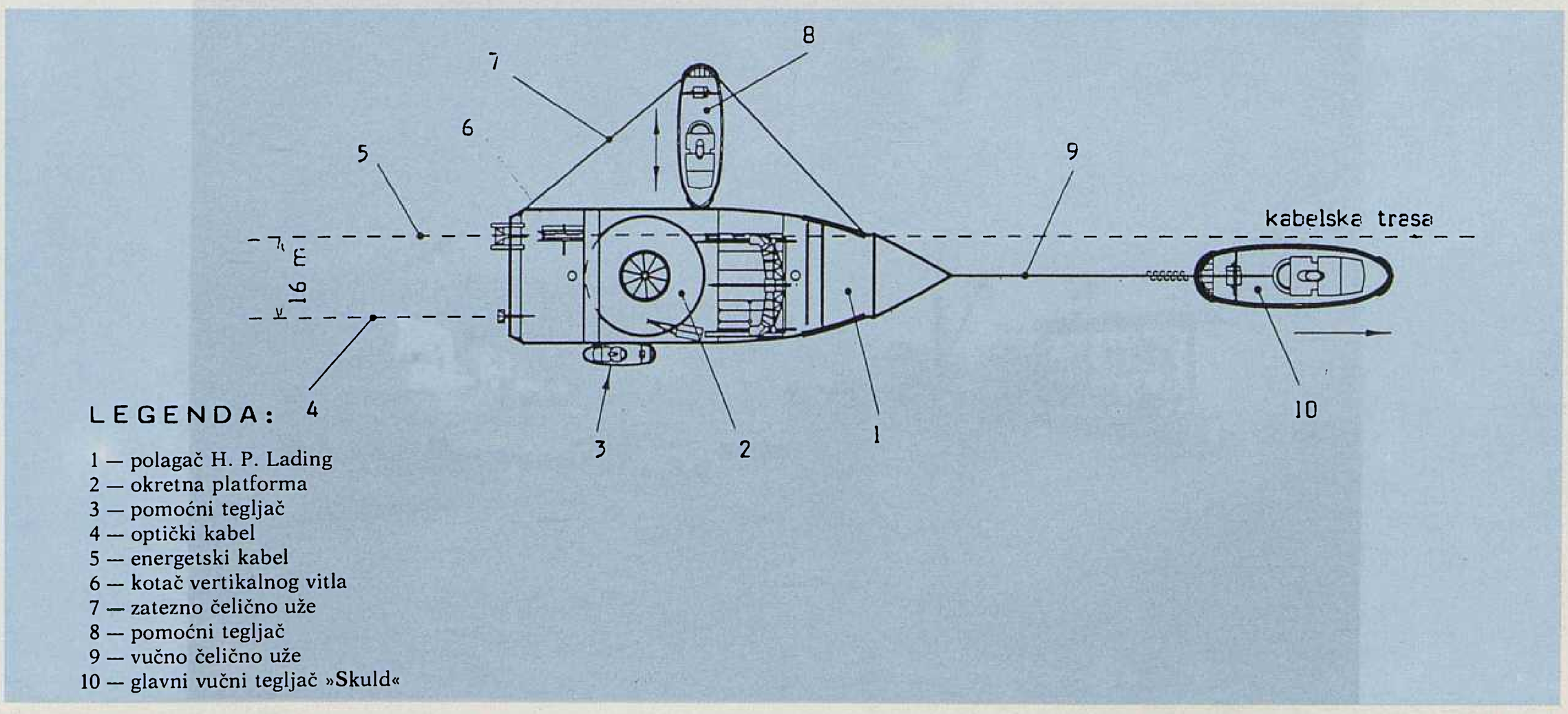
Na dubini približno sedam metara, ovisno o konfiguraciji morskog dna, H. P. Lading se zaustavlja pomoću priteznih vitala i plovi uz obalu, dok kabel pluta uz pomoć zračnih jastuka. Kada je položena točna dužina, kabel se na brodu reže, a radni brod tegli kabel na obalu. Strojevi na obali sada preuzimaju povlačenje i kabel se izvlači na obalu. Potom se zračni jastuci uklanjaju, a ronioci kontroliraju je li kabel ispravno položen u kanal priobalne zaštite.

Drugo polaganje, druga faza — žila i optički kabel, odvija se kao i prvo, samo što se dva kabela, jedan po jedan, izvlače na obalu na obje ishodišne točke. Najprije se izvlači energetski, a zatim optički kabel. Dalje polaganje provodi se jednako kao i pravo.

Treće polaganje (treća žila) odvija se prema opisu prvog polaganja.

Polaganje svake pojedine žile — faze trajalo je jedan dan.

Kada se završe sva tri polaganja uklanja se sva oprema, a H. P. Lading u teglju Skulda nastavlja prema sljedećoj dionici — trasi.



Slika 4. Polaganje podmorskog kabela



Slika 5. Izvlačenje kabela na obalu

Na prije opisani način polaganja položeni su jednožilni podmorski kabeli za sve kabelske trase, osim na trasi o. Pag (rt Seline) — Kopno (rt Kuline). Polaganje je ovdje započelo na rtu Seline, a završilo na rtu Kuline. Na ovoj kabelskoj trasi, zbog male dubine mora (veći tegljač »Skuld« se nije mogao koristiti) brod polagač se povlačio pomoću prethodno položenog čeličnog užeta i manjeg tegljača čija je pramčana strana bila okrenuta na bok H. P. Ladinga. Sve ostalo se odvijalo kao što je već opisano.

Izvlačenje kabela na obalu, polaganje u kabelski rov i vezanje u trolist izveli su djelatnici HEP-a DP Elektrodalmacije — Split uz nadzor stručnjaka ABB-a i NKT-a. Montažu kabelskih završetaka izveli su stručnjaci ABB-a uz asistenciju djelatnika HEP-a, DP Elektrodalmacije — Split.

Nakon završetka polaganja ostaci kabela 300 mm² Cu dugi 1 019 m i 400 mm² Cu dugi 1 401 namotani su na za to pripremljene čelične bubnjeve i iskrcani s broda polagača u luci Gaženica — Zadar.



Slika 6. Brod polagač



Slika 7. Izvlačenje kabela

Nakon montaže kabelskih završetaka provedeno je visokonaponsko ispitivanje svake faze — žile. Visokonaponsko ispitivanje izveo je Institut za elektroprivredu i energetiku — Zagreb. Visokonaponsko ispitivanje izvedeno je prema IEC 840 istosmjernim naponom 192 kV u trajanju 15 minuta.

5. SILA NATEZANJA KABELA ZA VRIJEME POLAGANJA

Metoda polaganja kojom se NKT koristi sastoji se u tome da kabel visi s lančanice H. P. Ladinga na priobalnu zaštitu, a uobičajeno je da kabel ostaje na priobalnoj zaštiti sa silom zatezanja približno $H = 2 - 6$ kN.

Sila zatezanja računa se po relaciji

$$T = k \times w + H,$$

gdje je

h — dubina mora

w — jedinična težina kabela u moru.

Pri polaganju kabela normalna sila zatezanja ovisi o dubini mora, kao što je prikazano:

kabel 300 mm² Cu	(2 – 20) kN
kabel 400 mm² Cu	(2 – 18) kN
optički kabel	(0.5 – 6) kN

6. NAVIGACIJSKI SUSTAV I OBRADA PODATAKA

Pri polaganju kabela H. P. Lading vođen je pomoću DGPS navigacijskog sustava (diferencijalni globalni pozicijski sustav položaja); DGPS je sistem određiva-

Pregledna tablica radova na polaganju

	Dužina (m)	Datum polaganja	Datum izrade kabelskih završetaka	Datum visokonaponskog ispitivanja
o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt Deda) — 300 mm² Cu				
En. kabel — trasa 1	10949	23. 06. 94.	23. 06. 94.	28. 06. 94.
En. kabel — trasa 2	11000	25. 06. 94.	26. 06. 94.	28. 06. 94.
En. kabel — trasa 3	11133	26. 06. 94.	27. 06. 94.	28. 06. 94.
Optički kabel	11010	25. 06. 94.	—	05. 07. 94.
Kopno (rt Kulina) — o. Pag (rt Seline) — 400 mm² Cu				
En. kabel — trasa 1	2469	29. 06. 94.	29. 06. 94.	05. 07. 94.
En. kabel — trasa 2	2434	30. 06. 94.	01. 07. 94.	05. 07. 94.
En. kabel — trasa 3	2419	01. 07. 94.	02. 07. 94.	05. 07. 94.
Optički kabel	2417	30. 06. 94.	—	06. 07. 94.
o. Pag (u. Toreta) — Kopno (u. Koromačina) — 400 mm² Cu				
En. kabel — trasa 1	2634	05. 07. 94.	06. 07. 94.	06. 07. 94.
En. kabel — trasa 2	2609	04. 07. 94.	04. 07. 94.	06. 07. 94.
En. kabel — trasa 3	2719	03. 09. 94.	03. 07. 94.	06. 07. 94.
Optički kabel	2660	04. 07. 94.	—	06. 07. 94.
o. Ugljan (Gnjoišće) — Kopno (Bibinje) — 400 mm² Cu				
En. kabel — trasa 1	3739	08. 07. 94.	—	10. 07. 94.
En. kabel — trasa 2	3709	07. 07. 94.	—	10. 07. 94.
En. kabel — trasa 3	3734	09. 07. 94.	—	10. 07. 94.

nja pozicije zasnovan na američkom sustavu satelitskog pozicioniranja GPS. Zbog greške satelitskih signala ne može se postići tražena preciznost pozicioniranja koristeći samo GPS prijemnik. DGPS označava takozvani diferencijalni sustav pozicioniranja GPS. Kopnena stanica (postavljena na fiksnom položaju) spojena na radiovezu prenosi korekcijske signale na microtel (postavljen na brodu). Korištenjem ovih signala ispravljaju se pogrešni satelitski signali, te se postiže dinamička preciznost pozicioniranja od ± 1 m. GPS sustav kalkulira poziciju u globalnom, geografskom koordinantnom sustavu WGS84. Iskalkulirana pozicija elektronički se upućuje na Navipac-sistem, koji WGS84 koordinate transformira u lokalne Gauss-Krügerove koordinate.

Navipac je navigacijski program koji kontinuirano kalkulira koordinate i uskladištuje podatke na disketu. Navigacijskom sustavu dodan je odvojeni ekran za kormilara.

Za DGPS navigaciju koristi se prijamnik Ashtech GPS Z – 12.

Dva GPS prijamnika povezana su data linkom:

Microtel — V4 — kanalski UHF predajnik i microtel 4-kanalski prijamnik.

Korištene su sljedeće geodetske točke:

o. Pag (u. Vašibaka) — o. Pag (rt Deda); o. Pag (u. Toreta) — Kopno (u. Koromačina)

Trigonometar br. 133 na otoku Rabu u Gauss-Grügerovim koordinatama:

E 5 488 422,28
N 4 951 061,98

te u WGS 84:

E 14° 50,95500'
N 44° 42,22991'

o. Pag (rt Seline) — Kopno (rt Kuline).

Poligona točka 13 na otoku Školjić u Gauss-Krüger koordinatama:

E 5 511 482,99
N 4 904 595,94

te u WGS 84:

E 15° 08,32 917
N 44° 17,13 763

o. Ugljan (Gnjoišće) — Kopno (Bibinje).

Lokalna točka nazvana RT3 smještena u luci GAŽENICA u Gauss-Krüger koordinatama:

E 5 521 614,0
N 4 882 498,0

te u WGS 84:

E 15° 15,91 417
N 44° 05,19 433

7. NAČIN PRIKUPLJANJA I USKLADIŠTENJA PODATAKA

Kompjutorski sustav izračunava koordinate i uspoređuje ih s koordinatama projektirane kabelske trase.

Nadalje, kompjutor uspješno kopira lokaciju broda za polaganje, tako da se trag može pratiti nakon završenog polaganja.

HEP je nakon polaganja od polagača dobio grafički i numerički obrađenu svaku pojedinu fazu — žilu svih četiriju kabelskih trasa.

Kompjutor je Hewlett — Packard serija 300, model 330 s odvojenom 4 MB procesnom jedinicom, tastaturom i 12" CRT. HP 330 je kompatibilan s Basic 5.1 i Pascal jezikom. Kompjutor je sistemski organizator. Interaktivni omogućuje povećanu kontrolu operatora pri sistemskim operacijama.

DISC DRIVE — koristi se HP 9153 s 10 MB winchester hard diskovima.

HP 9153 će se koristiti za program i bazu podataka.

PRINTER — Upotrebljava se printer HP 2225 Ink Jet A4.

PLOTER — Hewlett Packart HP 7475 ploter za format A3. Brzina crtanja oko 381 mm/sek, sa sedam selektivnih crtača.

HELMSMAN'S DISPLAY — RGB monitor za HP 35741 je jedinica na daljinsko upravljanje koja kormilaru daje sve potrebne informacije.

Eksplander — kompjutor ima 8-bitni ekspander za relevantne interface svrhe.

GIRO — Sperry SR 50.

TRANSPORTATION AND LAYING OF THE 110 kV SUBMARINE CABLE OF THE ISLAND CONNECTION

For the full realisation of the island connection very important task was also the transportation and the laying of the submarine cable, that was realised by the Danish firm NKT for the needs of the Croatian National Electricity. Cables were delivered and transported by the laying boat-tug Henry P. Lading, and the total length was approximately 62 km (34 km — 300 mm² Cu and 28 km — 400 mm² Cu).
All laying phases were worked out in detail, that has been followed and elaborated by the best current navigation and computer equipment.

TRANSPORT UND VERLEGUNG DER UNTERSEEKABEL 110 kV FÜR DIE »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Ein wichtiger Teil der vollen Verwirklichung des »Über-Inseln-Verbidung« genannten Projektes war der Transport und die Verlegung von Unterseekabeln, welche Arbeiten für die Zwecke der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft« die dänische Firma »NKT« durchgeführt hat.
Die Kabel in einer Gesammtlänge von etwa 62 km (34 km — 300 mm² Cu, sowie 28 km — 400 mm² Cu) sind mit dem Kabelverlegungs-Schleppkahn »HENRY P. LADING« transportiert und ausgeliefert.
Alle Stufen der, mittels allerneuesten Navigations- und Rechengeräten befolgten und durchgeführten Verlegung sind im Artikel ausführlich bearbeitet worden.

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.
Mato Mijić, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split, 58000 Split, Hrvatska
Boris Živković, dipl. ing.
HEP DP »Elektra« Trogir Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 08.

POLAGANJE KOPNENOG KABELA 110 kV BILI BRIG — TS ZADAR 1

Petar Čerina, Split — mr. Ivo Despot, Split — Filip Krnić, Split

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

Navedene su sve faze polaganja podzemnog 110 kV kabela u složenim uvjetima urbanog područja grada Zadra. Za ostvarenje bilo je potrebno precizno odrediti sve faze rada i dinamiku izvođenja svih sudionika posla.

Ključne riječi: otočna veza, polaganje, kopneni kabel, kabelska trasa, vučna sila, toplinska sonda.

UVOD

Kopnena kabelska 110 kV veza KS »Bili Brig« — TS »Zadar Centar« (u izgradnji) TS »Zadar 1« dio je ukupnog projekta otočne veze. Izvedena je svojim najvećim dijelom kroz gusto naseljeno područje, isprepleteno prometnicama i drugim podzemnim instalacijama — vodovod, kanalizacija, TT linije, VN 35, 20 i 10 kV kabelima i NN kabelskim linijama. Ukupna je dužina kabelske trase oko 4,7 km.

Kabel je jednožilni tip AXLJ, 1 × 1000 mm² Al, isporučen je na 15 drvenih bubnjeva ukupne duljine 14 250 m.

Od tvornice u Švedskoj do Zadra prevezen je cestovnim putom. Polaganje kabela izveli su djelatnici HEP-a, DP Elektrodalmacije — Split uz nadzor stručnjaka ABB-a. Kabelske spojnice i kabelske završetke izradili su stručnjaci ABB-a uz asistenciju djelatnika DP Elektrodalmacije — Split.

1. NAČIN POLAGANJA

U iskopani i očišćeni kanal postavljena je posteljica od finog tucanika (granulacija »0« maksimalnog promjera 2 mm) u visini 35 cm, nakon čega je izvršeno nabijanje i izravnavanje. Na tako pripremljenu podlogu postavljena je PVC folija debljine 0,8 mm i širine 80 cm, na cijeloj trasi. Gusto su postavljeni koluturnici kako bi se smanjila sila povlačenja kabela. Kabeli su se povlačili s tri vučna stroja: glavnog stroja Haller, maksimalne vučne sile 3 000 kp, i dva pomoćna, maksimalne vučne sile 750 kp.

Povlačenje jedne dionice, čija je prosječna dužina iznosila 1 000 m, vršena je iz dva zahvata, a dužina poludionice ovisila je o broju lomova (skretanja) kabela i postojećih prepreka odnosno instalacija koje su presijecale kabelski kanal.

Na svakih 8 – 10 m, a na skretanjima svakako, bili su raspoređeni monteri, sa zadaćom da prate kabel radi ispravljanja linije povlačenja premještanjem koloturnika i čišćenjem kanala od urušavanja materijala. Takvim načinom rada, dobrom organizacijom, optimalnim brojem izvršilaca i ispravno razmještenim ručnim strojevima postignuti su dobri rezultati. Tako je brzina izvlačenja iznosila i do 25 m/min, a maksimalna vučna sila koju su registrirali instrumenti na stroju iznosila je kod najtežih dionica 1 860 kp.

Nakon položene sve tri žile na dionici izvlačena je folija, na kojoj se zadržao urušeni materijal, tako da je posteljica ostala potpuno čista. Odmah se pristupilo vezanju kabela u trolist plastičnim vrpcama na udaljenosti 3 – 5 m.



Slika 1. Detalj polaganja kabela



Slika 2. Detalj polaganja kabela

Nakon izvršenog vezanja kabela obavljeno je postavljanje gornjeg sloja posteljice u visini 35 cm, nabijanje i postavljanje zaštitnih betonskih ploča dimenzija 60 × 60 × 6 cm. Nakon čega se pristupilo zatrpavanju kabelskog kanala i postavljanju traka upozorenja.

Opisani način rada vrijedi za polaganje kabela u tzv. otvorenom kamalu, tj. kanalu bez prepreka. Za ostale dijelove dionica s karakterističnim presjecima predviđeni su dodatni građevni radovi: betoniranje dna kanala radi izravnanja površine, postavljene betonskih nearmiranih montažnih elemenata za zaštitu kabela u »zatvorenom« kanalu, postavljanje bočnih betosnkih nearmiranih ploča za zaštitu kabela kod realizacije II. etape, itd. (sl. 4, 5, 6).

Ovdje se može također napomenuti da je osim polaganja 110 kabela obavljeno i polaganje cijevi za optički kabel na cijeloj dužini, te još 20 kV kabela na dionici TS »Zadar Centar« — TS »Zadar 1«.

2. PETLJA KOD TS »ZADAR CENTAR«

Kako je već spomenuto, TS »Zadar Centar« je u izgradnji, a stupanj dogotovljenja radova nije omogućavao ulazak kabela u sami objekat iz pravca KS »Bili Brig« i TS »Zadar 1«, te da bi se ostvarila potrebna veza KS »Bili Brig« — TS »Zadar 1« obavljeno je spajanje kabela na platou sjeverozapadno od TS »Zadar Centar«.

Pri ovom zahvatu vodila se briga da se:

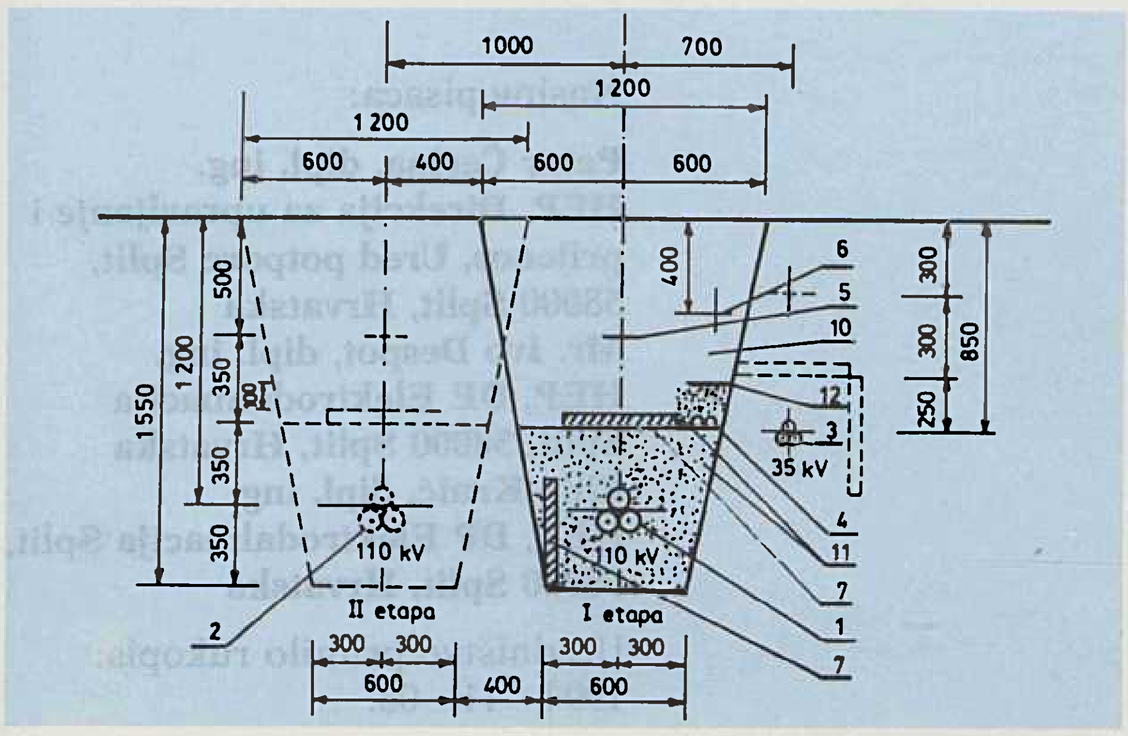
— osigura dovoljna duljina kabela pri izradbi spojki, kako bi ostaci kabela bili što manji kod konačnog rješenja ulaska u TS »Zadar Centar«
— stvore uvjeti da kabel može bez izgradnje TS »Zadar Centar« biti u pogonu.

To je postignuto tako da su na platou izgrađeni betonski nearmirani kanali za pet paralelnih dionica —

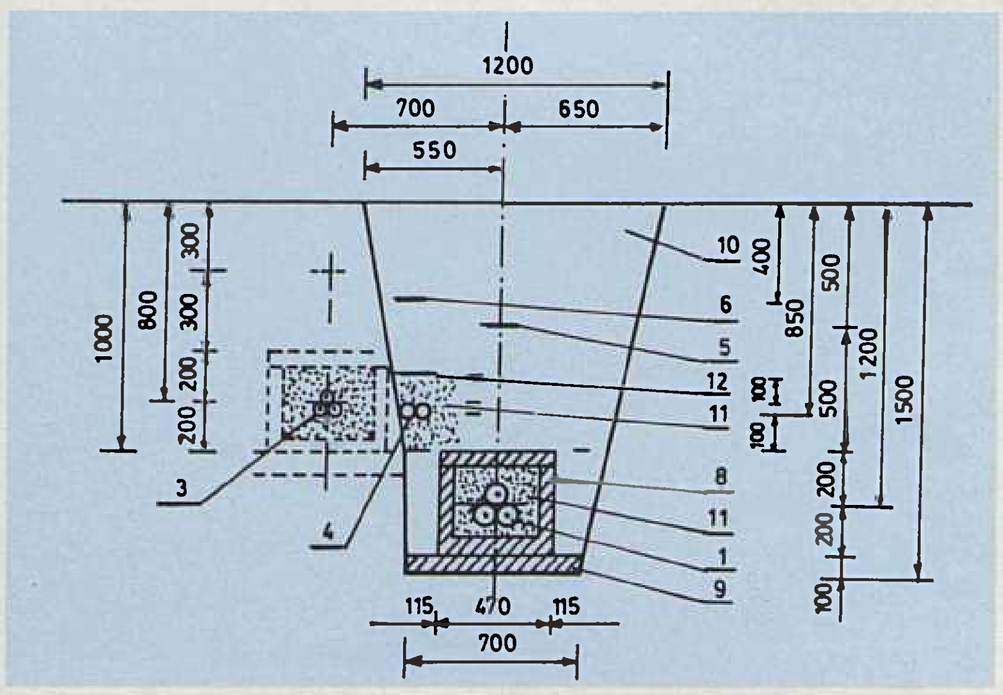


Slika 3. Kabelska »petlja« kod TS »Zadar Centar«

petlja u koje je nakon postavljanja donje posteljice položen kabel, te postavljen i gornji sloj posteljiče. Kabelski betonski kanali zatim se pokriveni betonskim pločama i cijela je površina zatrpana (sl. 3).



Slika 4. »Otvoreni« kanal



Slika 5. »Zatvoreni« kanal

3. KONTROLA ZAGRIJAVANJA KABELA I OZNAČAVANJE

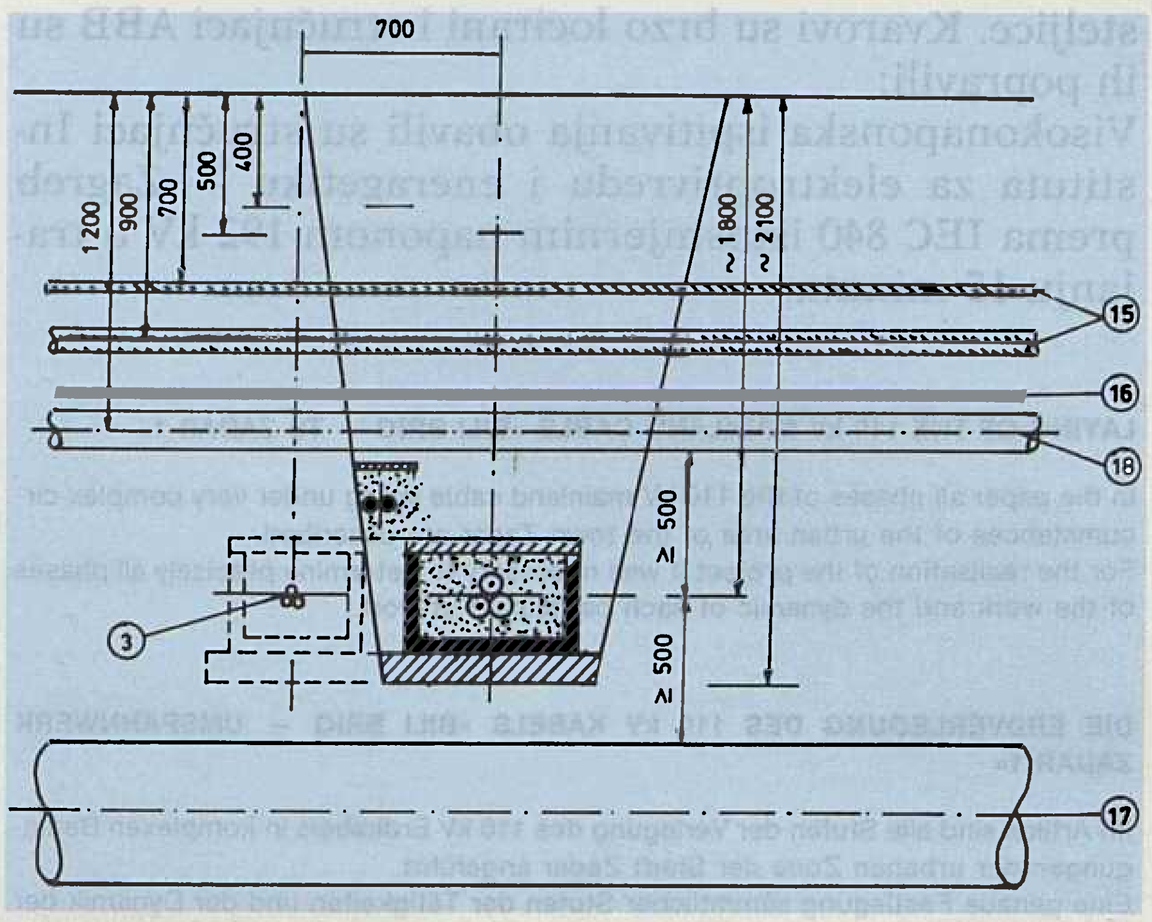
Za kontrolu zagrijavanja kabela postavljene su toplinske sonde na najugroženijim mjestima i vidljivo su označene metalnom pločom dimenzija 500 × 500 mm s natpisom »Toplinska sonda na KB 110 kV«. Inače, na svim većim kutovima loma, na križanjima s cestama, i ogradama u KS »Bili Brig« i TS »Zadar Centar« postavljene su metalne ploče dimenzije 150 × 150 mm s oznakom KB 110 kV

Također su na mestima izrade spojnice postavljene ploče s upisanim brojem i nadnevkom izradbe. (sl. 7).

4. ISPITIVANJE NA TERENU

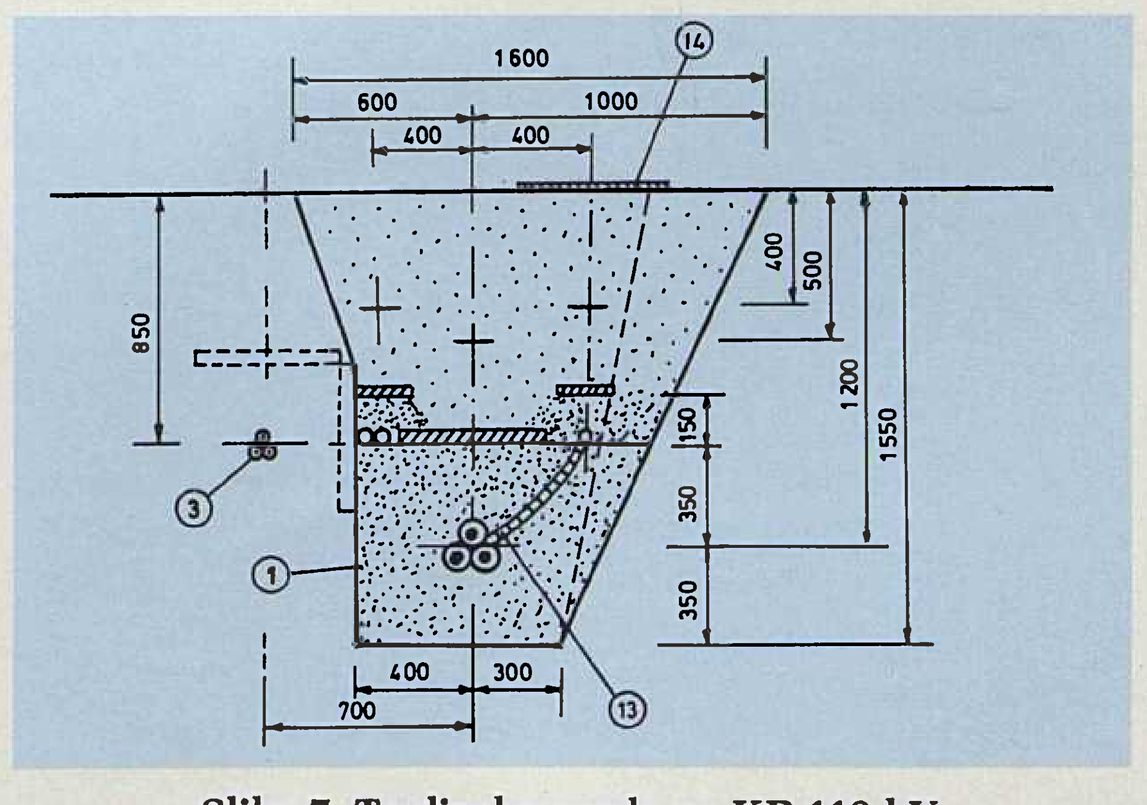
Radi sigurnosti višestruko je provedeno ispitivanje plašta kabela:

— ispitivanje plašta kabela na bubnjevima
— ispitivanje plašta kabela položenog na posteljicu
— ispitivanje plašta kabela nakon drugog sloja posteljice



Slika 6. »Zatvoreni« kanal KB 110 kV i križanja

1. — Kabel 110 kV — I etapa
2. — Kabel 110 kV — II. etapa
3. — Postojeći kabel 35 kV
4. — Cijevi za optičke kabele
5. — PVC upozoravajuća traka energetskog kabela 110 kV — crvena
6. — PVC upozoravajuća traka optičkog kabela 110 kV — žuta
7. — Betonska nearmirana ploča za zaštitu kabela u »otvorenom« kanalu
8. — Betonski nearmirani montažni element za zaštitu kabela u »zatvorenom« kanalu
9. — Betonski za izravnavanje dna jarka
10. — Nasip miješanim materijalom
11. — Zaštitna ispuna kamenim pijeskom
12. — AC ploča za zaštitu optičkih kabela
13. — Toplinske sonde
14. — Metalna ploča 500 × 500 mm — označavanje
15. — Distributivni energetski kabeli
16. — PTT kabeli
17. — PVC cijevi kanalizacije
18. — Vodovodna cijev



Slika 7. Toplinske sonde na KB 110 kV

— ispitivanje plašta kabela nakon izradbe spojki
— ispitivanje plašta kabela nakon izredbe kabelskih završnica, tj. na ukupnoj dionici.

Ispitivanja su provedena u sklopu s odredbama IEC 229/1982 10 kV istosmjernim naponom u trajanju jedne minute, korištenjem kabelskih mjernih kola HDW — 700 DP Elektrodalmacija — Split.

U tri slučaja oštetio se plašt zbog urušenog materijala prije postavljanja drugog sloja posteljice ili pak nepažnjom građevinskih radnika pri nanošenju po-

steljice. Kvarovi su brzo locirani i stručnjaci ABB su ih popravili:
Visokonaponska ispitivanja obavili su stručnjaci Instituta za elektroprivredu i eneragetiku — Zagreb prema IEC 840 istosmjernim naponom 192 kV u trajanju 15 minuta.

LAYING OF THE 110 kV MAINLAND CABLE »BILI BRIG — TS ZADAR 1«

In the paper all phases of the 110 kV mainland cable laying under very complex circumstances of the urban area of the town Zadar are described.
For the realisation of the project it was nesessary to determine precisely all phases of the work and the dynamic of each participant at work.

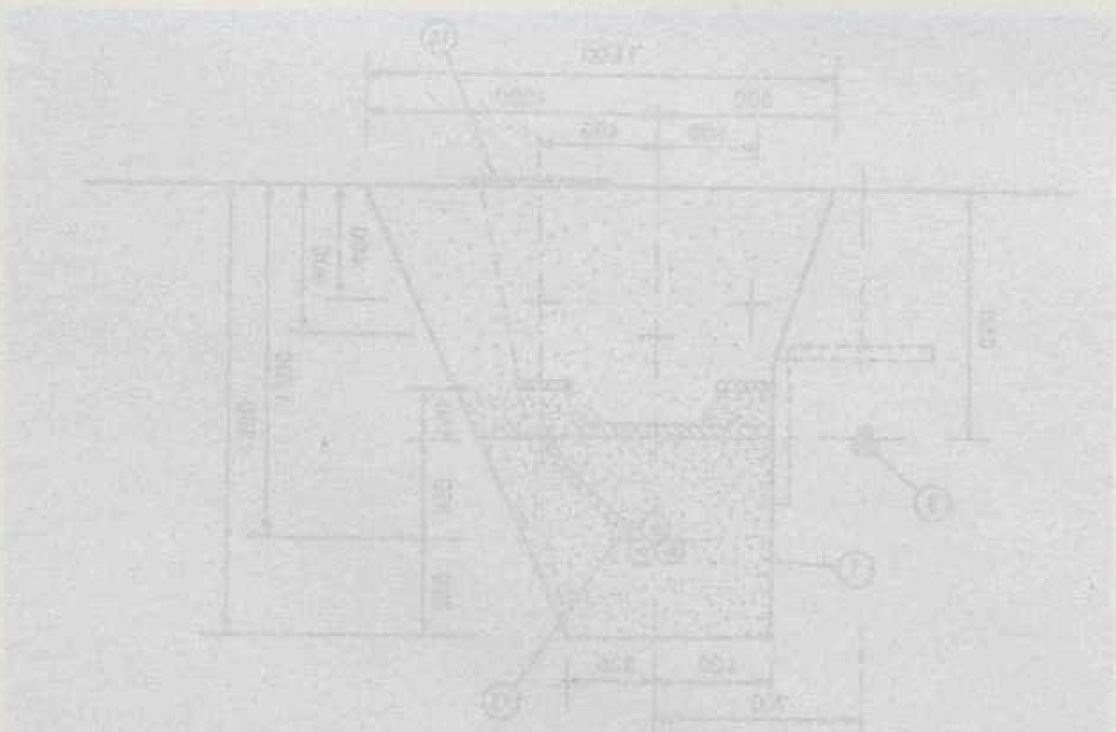
DIE ERDVERLEGUNG DES 110 kV KABELS »BILI BRIG — UMSPANNWERK ZADAR 1«

Im Artikel sind alle Stufen der Verlegung des 110 kV Erdkabels in komplexen Bedingungen der urbanen Zone der Stadt Zadar angeführt.
Eine genaue Festlegung sämmtlicher Stufen der Tätigkeiten und der Dynamik der Ausführungsarbeiten aller beteiligten war notwendig, um die Verlegung durchzuführen

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split, 58000 Split, Hrvatska
Mr. Ivo Despot, dipl. ing.
HEP, DE Elektrodalmacija Split, 58000 Split, Hrvatska
Filip Krnić, dipl. ing.
HEP, DP Elektrodalmacija Split, 58000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 08.



TELEKOMUNIKACIJSKI SUSTAV ZA VOĐENJE OBJEKATA OTOČNE VEZE 110 kV IZ CDU BILICE

Ivo Rumora, Split — Slavko Saša, Split

UDK 621.395.661.15
PREGLEDNI ČLANAK

Otočna veza 110 kV u ovom je trenutku najvažniji projekt HEP-a. Zajedno s izgradnjom 110/x kV transformatorskih stanica realizira se i privatna mreža veza kako bi se zadovoljili sve veći zahtjevi na kapacitet i raspoloživost transmisijskih linkova za prijenos govora i podataka. U ovom članku se opisuje dio te mreže od centra daljinskog upravljanja (CDU) Bilice do većeg broja daljinski vođenih podstanica. Prijenos se ostvaruje optičkim nitima u zaštitnom užetu DV u kombinaciji s dionicama podmorskih optičkih kabela. Koriste se uređaji PDH.

Ključne riječi: elektromunikacijska mreža, optičko vlakno, plesiokrona digitalna hijerarhija (PDH), sinkrona digitalna hijerarhija (SDH), sustav daljinskog vođenja.

1. UVOD

Osnovni dokument na kojem se treba temeljiti razvoj i izgradnja mreže veza HEP-a jest »Generalni plan razvoja mreže veza HEP-a« (listopada 1993. god.) u kojem se mreža veza HEP-a definira kao funkcijska (privatna) telekomunikacijska mreža koja rasprostranjenošću predstavlja mrežu nacionalnog obilježja, a konceptom mrežu veza s obilježjima digitalne mreže integriranih usluga.

Uzimajući u obzir tehnološke procese i poslovne cjeline, kao i vrste informacija značajne za djelatnost HEP-a, identificiraju se podmreže (ukupno 10) od kojih se svojim značenjem ističu:

- Komutirana mreža (integrirana komutacija govora i podataka)
- Telefonska mreža dispečerske službe
- Mreža procesne informatike (uključuje SDV)
- Mreža poslovne informatike.

Sve podmreže koriste se kao podlogom za svoje funkcioniranje jedinstvenom mrežom (sustavom) veza, iz čega proizlazi da ta mreža mora u pogledu svoje strukture i tehničkih značajki objediniti zahtjeve svih korisnika.

Mreža procesne informatike, što i treba očekivati, posebno je zahtjevna u odnosu prema raspoloživosti (99,99 % za veze između nacionalnoga dispečerskog centra (NDC) i CDU/KL, a isto vrijedi i za veze objekata koji su u sustavu automatske sekundarne regulacije), dok su kapaciteti relativno skromni (64 kbit/s kanal korišten izravno ili uz primjenu submultipleksera na svim razinama izuzev razine NDC–CDU-/KL). Mreža poslovne informatike koristi se većom brzinom prijenosa, tako da se kod nje u većoj mjeri susrećemo sa zahtjevom za brzinama prijenosa 2 i 8 Mbit/s, tj. znatno većim kapacitetima u TK mreži.

Logično je da se pojavljuju lokacije izrazite koncentracije više funkcija (podmreža), što te lokacije ujedno definira kao glavne čvorove (transmisijske i komutacijske) u mreži veza. Posebno se ističu, strukturom i brojem korisnika, područje Zagreba, Osijeka, Rijeke i Splita. Linkovi koji povezuju glavna čvorišta mreže veza predstavljaju magistralne veze HEP-a.

2. OTOČNA VEZA 110 kV — DIO MAGISTRALNOG PRAVCA VEZA HEP-a

Na koji način i u kojim rokovima realizirati telekomunikacijski sustav, a posebno magistralne veze kao okosnicu cjelokupne mreže veza HEP-a, pitanje je (a posebno odgovor) prvorazredne važnosti.
Razvoj tehnologije i telekomunikacijskih sustava uklonio je neke dileme. Nedvojbeno je da se telekomunikacijski sustav, koji se razvojno koncipira za razdoblje 10–15godina, mora u osnovi temeljiti na optičkom prijenosnom mediju i sustavima sinkrone digitalne hijerarhije (SDH). Takvo opredjeljenje, prisutno u svim značajnijim TK sustavima, za HEP je realno veoma prihvatljivo s obzirom na činjenicu da su dalekovodi (posebno novi) veoma pogodni za implementaciju optičkog prijenosnog medija (optičkih niti).
U sklopu HEP-a do sada je izrađeno nekoliko projekata za određene pravce odnosno dionice magistralnih veza. Za nas je u ovom trenutku posebno važan idejni projekt »Optički TK sustav prijenosa HEP: Melina – Split – Dubrovnik« (ožujka 1994. god.) u kojem je:

- trasa otočne veze 110 kV, i to šire promatrano, tj. od TS Rab preko TS Zadar – Centar do TS/CDU Bilice, dionica ovog magistralnog pravca veza HEP-a
- utvrđena tehnička izvodivost te je pokazano da su EE objekti otočne trase 110 kV tako locirani da je

moguće jednostavno odgranjavanje potrebnih TK kapaciteta, te da nisu potrebne dodatne regeneratorske stanice
- pokazano da je tehnička realizacija prijenosnog TK sustava moguća u PDH i SDH
- rečeno da pojedine relacije ne mogu zadovoljiti raspoloživost 99,99 %.

Uzgred napomena da je u 1993. godini ostvarena prva dionica ovoga magistralnog pravca s optičkim TK sustavom po DV 2 × 110 kV TS Komolac – Plat (HE Dubrovnik).

3. TEHNIČKO RJEŠENJE TK SUSTAVA OBJEKATA OTOČNE VEZE 110 kV

U skladu s utvrđenim razinama u sustavu daljinskog vođenja (SDV) te dogovorenim razgraničenjem, iz centra daljinskog upravljanja (CDU) Bilice, smještenog u istoimenoj TS 220/110/30 kV kod Šibenika, nadziru se odnosno upravljaju sljedeći elektroenergetski objekti (TS 110/× kV) otočne veze 110 kV: TS Zadar, TS Zadar – Centar, TS Nin, TS Pag i TS Novalja. Na istom pravcu, gledano iz CDU Bilice, nalaze se i TS Biograd te (planirana) TS Kapela — vidi sl. 1.

Tehničko rješenje TK sustava u osnovi se temelji na optičkom prijenosnom mediju realiziranom optičkim nitima u zaštitnom užetu DV, te podmorskim i podzemnim optičkim kabelima položenim uz energetske 110 kV kabele. Samo za najkritičniju funkciju (daljinsko vođenje) realizira se i minimalni broj rezervnih kanala veze kroz sustav HPT odnosno v.f. vezama (postojećim) po DV.

U prilog izgradnje optičkog prijenosnog medija (u daljnjem tekstu: optički kabel) može se u najkraćim crtama navesti sljedeće:

- realizacija značajne dionice južnog pravca magistralnih vaza HEP-a
- nemogućnost da se potrebni TK kapaciteti za objekte otočne veze 110 kV, čak i samo za SDV i govorne veze, te utvrđena raspoloživost veza, ostvare dopunama odnosno proširenjem postojećeg sustava veza (min. potrebnih 4 TK kanala prosječno po pojedinoj dionici odnosno objektu; raspoloživost 99,99 % za CDU — TS Zadar – Centar i 99 % CDU — ostali objekti),
- službeno potvrđen interes HPT za korištenje našeg optičkog kabela na potezu TS Rab — TS Zadar – Centar (što pruža šire mogućnosti razmjene kapaciteta),
- izuzetno povoljna cijena (po kanalu) digitalnih TK sustava u odnosu na »klasične« v.f. veze po DV,
- visoka cijena zakupa TK kapaciteta HPT.

Na cijelom potezu od TS Rab do TS/CDU Bilice optički kabel se ostvaruje sa 10 jednomodnih optičkih niti, uz iznimku dijela kroz Zadar (12 niti) namjena kojih je sljedeća:

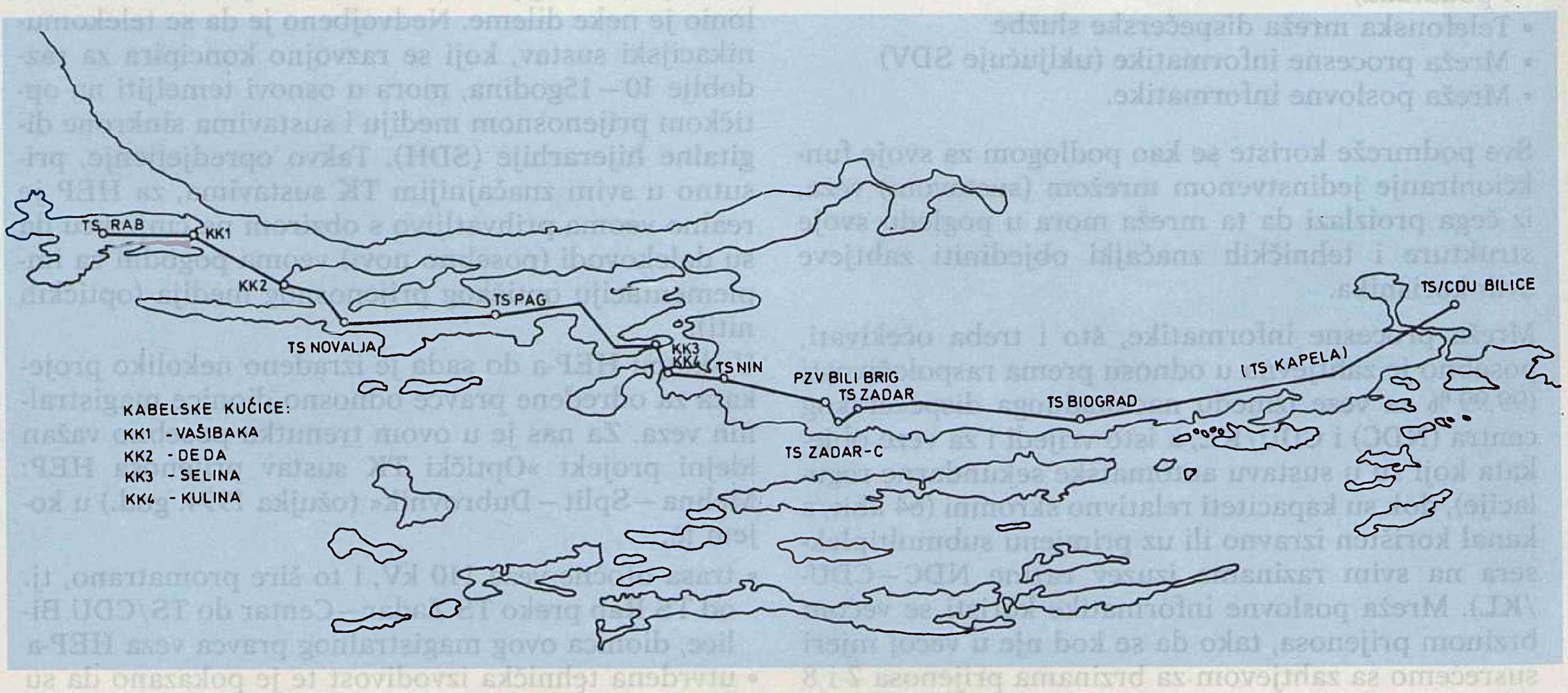
- 6 niti za potrebe HEP-a (2 – magistralne veze; 2 – lokalna povezivanja; 2 – rezerva)
- 4 niti za potrebe HPT.

Ukupna duljina optičkog kabela iznosi približno 164 km (od čega na potez TS Rab – TS Zadar otpada 96,5 km, a ostalo nosi DV (2x) 110 kV Bilice – Biograd – Zadar).

Po dionicama imamo sljedeću realizaciju:

- Optički kabel u zaštitnom užetu DV:
  TS Rab – KK Vašibaka (11,8 km); KK Deda – TS Novalja (9,1 km); TS Novalja – TS Pag (16,2 km); TS Pag – KK Selina (20,7 km); KK Kulina – TS Nin (7,2 km); TS Nin – PZV Bili Brig (13,8 km); TS Zadar – TS Biograd (23,5 km); TS Biograd – (TS Kapela) – TS/CDU Bilice (44 km)
- Podmorski optički kabel:
  KK Vašibaka – KK Deda (11,1 km); KK Selina – KK Kulina (2,2 km)
- Podzemni optički kabel:
  PZV Bili Brig – TS Zadar – Centar (1,8 km); TS Zadar – Centar – TS Zadar (2,3 km).

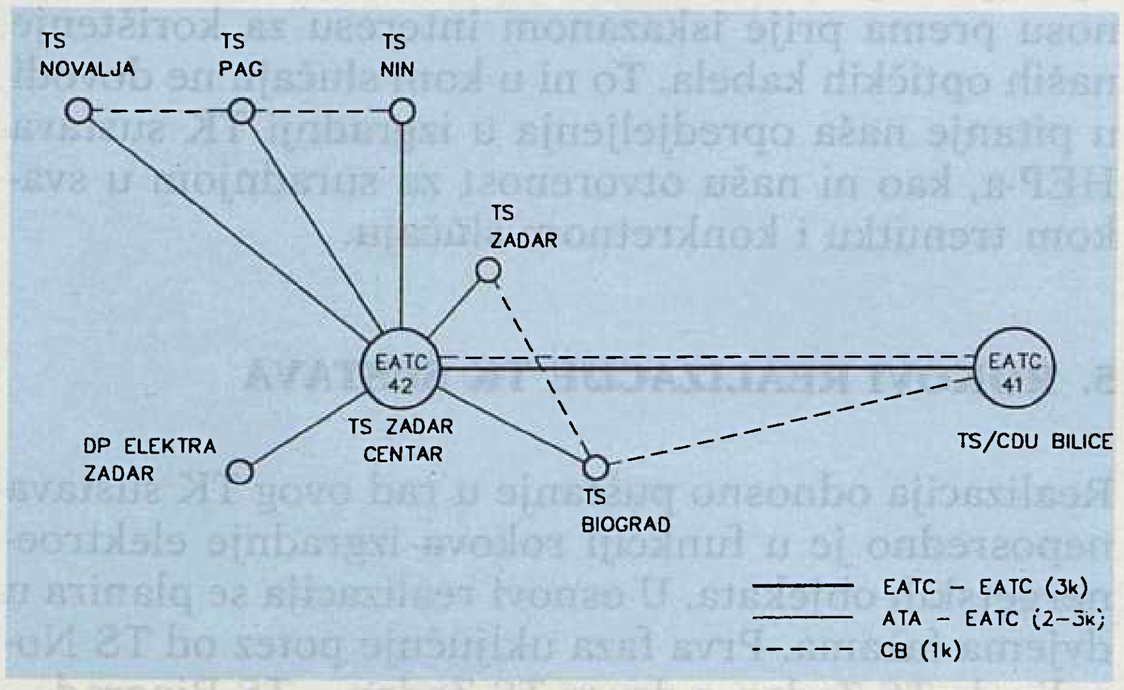
U svim objektima optički kabeli završavaju na optičkom razdjelniku, što daje punu fleksibilnost pri ko-



Slika 1. Pregled objekata i trase otočne veze

rištenju niti i omogućuje jednostavnu kontrolu (mjerenja) svake dionice.
Pri određivanju konfiguracije i kapaciteta (optičkog) TK sustava objekata otočne veze 110 kV razmotreno je i uzeto u obzir sljedeće:

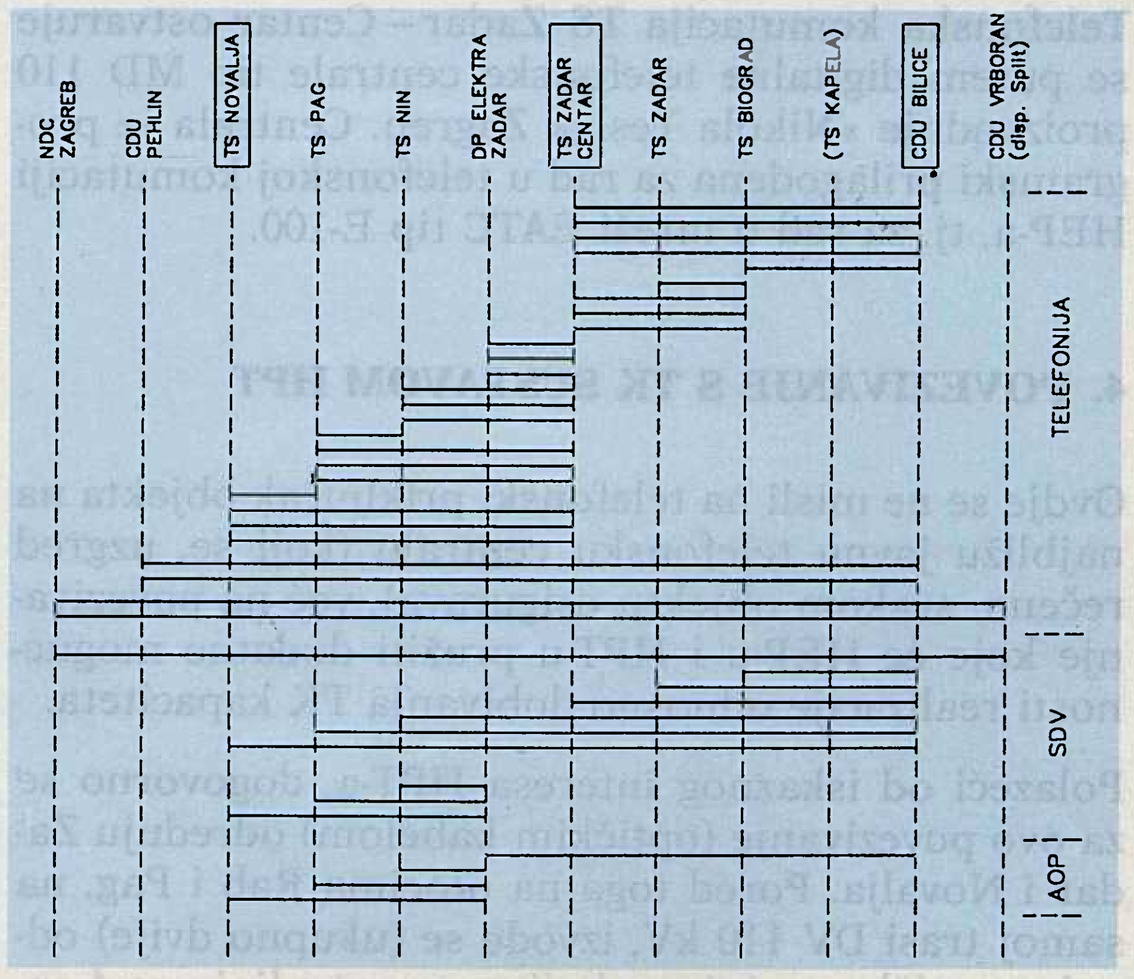
- *Telefonska komutacija*
  Postojeći objekti prijenosne mreže na širem području Zadra povezani su, kao daleki pretplatnici, na elektroprivrednu automatsku telefonsku centralu (EATC) tip E-100 u TS/CDU Bilice. Ta EATC je komutacijski čvor druge razine. Porastom broja EE objekata, te udaljenosti istih od CDU Bilice, nameće se potreba uvođenja komutacijskog čvora treće razine za ovo područje (dodatni razlog je ograničeni kapacitet EATC Bilice). TS Zadar – Centar pokazuje se kao najpovoljnija lokacija za novu EATC zbog pregledne zvjezdaste strukture mreže na trećoj razini komutacije, te lokacije dispečerskoga upravljačkog centra (DUC) DP Elektra Zadar u tom objektu.
  Objekti TS Zadar, TS Nin, TS Pag, TS Novalja i TS Biograd priključuju se na ovu EATC kao daleki pretplatnici (2 – 3 priključka po objektu). Tehnički je omogućeno i povezivanje KATC DP Elektra u Zadru te poslovnica u Pagu i Ninu.
  Veze među pojedinim susjednim EE objektima ostvaruju se i kao CB veze.
  EATC Zadar – Centar i EATC CDU Bilice povezuju se sa 3 kanala (međumjesni promet).
  U TS Novalja, kao graničnom objektu područja dvaju CDU-a, omogućena je i ručna komutacija veza (preko KTP).
  Na sl. 2 dan je shematski prikaz rješenja telefonske komutacije.



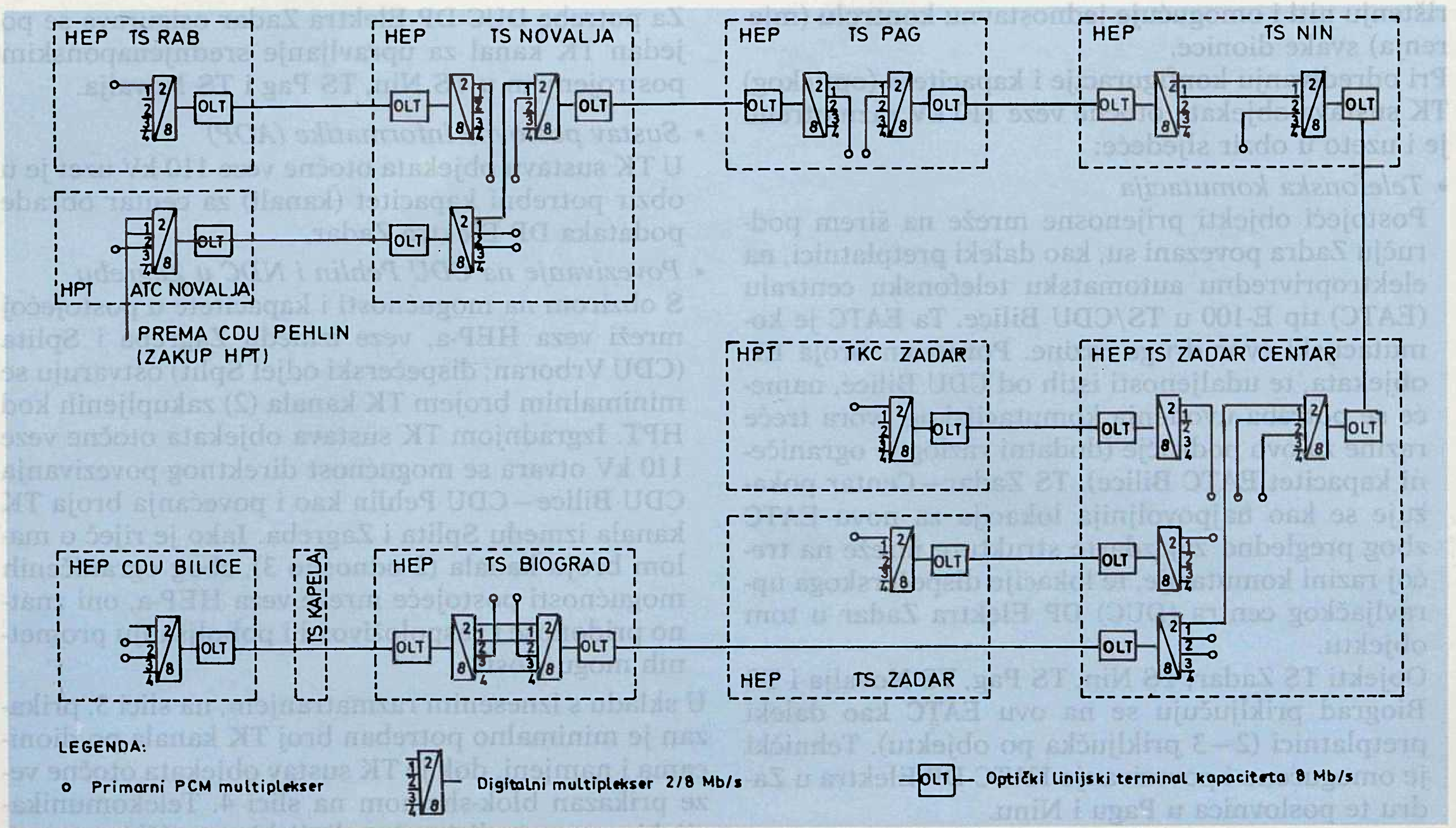
Slika 2. Rješenje telefonske komutacije

- *Sustav daljinskog vođenja (SDV)*
  Svaki daljinski vođeni objekt (TS 110/x kV) povezuje se na CDU Bilice jednim direktnim telekomunikacijskim kanalom za brzine prijenosa do 2 400 bit/s (mogućnost prijelaza na 64 kbit/s). Iako će u prvom razdoblju biti korištene manje brzine prijenosa (TS Zadar Centar: 1 200 bit/s, ostali objekti: 200 bit/s) što uvjetuje postojeća oprema u CDU Bilice i v.f. veze po DV koje će se koristiti kao rezervni kanali za SDV, novoizgrađeni dijelovi mreže veza moraju poštivati odrednice Generalnog plana razvoja mreže veza HEP-a.
  Za potrebe DUC DP Elektra Zadar osigurava se po jedan TK kanal za upravljanje srednjenaponskim postrojenjem u TS Nin, TS Pag i TS Novalja.
- *Sustav poslovne informatike (AOP)*
  U TK sustavu objekata otočne veze 110 kV uzet je u obzir potrebni kapacitet (kanali) za centar obrade podataka DP Elektra Zadar.
- *Povezivanje na CDU Pehlin i NDC u Zagrebu*
  S obzirom na mogućnosti i kapacitete u postojećoj mreži veza HEP-a, veze između Zagreba i Splita (CDU Vrboran; dispečerski odjel Split) ostvaruju se minimalnim brojem TK kanala (2) zakupljenih kod HPT. Izgradnjom TK sustava objekata otočne veze 110 kV otvara se mogućnost direktnog povezivanja CDU Bilice – CDU Pehlin kao i povećanja broja TK kanala između Splita i Zagreba. Iako je riječ o malom broju kanala (2 odnosno 3), zbog ograničenih mogućnosti postojeće mreže veza HEP-a, oni znatno pridonose i raspoloživosti i poboljšanju prometnih mogućnosti.

U skladu s iznesenim razmatranjem, na slici 3. prikazan je minimalno potreban broj TK kanala po dionicama i namjeni, dok je TK sustav objekata otočne veze prikazan blok-shemom na slici 4. Telekomunikacijski sustav realizira se s linijskim optičkim terminalima 8 Mbit/s. Uređaji rade na valnoj duljini 1 300 nm (II prozor). Broj primarnih PCM multipleksera (2 Mbit/s), opremljenih uglavnom sa svih 30 kanala, prilagođen je neposrednim potrebama odnosno mogućnostima korištenja. Budući da se u ovom trenutku sva povezivanja rade na nivou kanala, jedna 2 Mbit/s grupa može se koristiti za više objekata.
Može se postaviti pitanje što je s telekomunikacijskim kanalima koji bi se koristili za prijenos signala/naloga zaštite dalekovoda. Pri određivanju kapaciteta TK sustava oni nisu neposredno navedeni jer takav zahtjev nije postavljen. Iznimka je dionica TS Zadar Centar – TS Zadar, na kojoj će se dvije optičke niti koristiti za međusobnu komunikaciju uređaja digitalne diferencijalne zaštite. Odabrani kapacitet TK



Slika 3. Minimalni potrebni broj kanala između objekata



Slika 4. Blok-shema TK sustava otočne veze

sustava omogućuje, međutim, uz minimalne dodatne zahvate osiguranje potrebnog broja kanala za ovu funkciju.

Taj TK sustav, iako prije svega rješava »lokalna« povezivanja, može »ponuditi« dvije 2 Mbit/s grupe magistralnom pravcu veza.

Sustav je realiziran uređajima plesiokrone digitalne hijerarhije (PDH), što u idućem razdoblju u potpunosti zadovoljava, a to treba shvatiti kao međukorak do šire primjene SDH u mreži veza HEP-a.

Opremu za realizaciju prve faze TK sustava u cjelini isporučuje poduzeće »Nikola Tesla« Zagreb (uređaji su proizvodnje »Telettra« i »Nikola Tesla«).

Telefonska komutacija TS Zadar – Centar ostvaruje se putem digitalne telefonske centrale tip MD 110 proizvodnje »Nikola Tesla« Zagreb. Centrala je programski prilagođena za rad u telefonskoj komutaciji HEP-a, tj. za rad u mreži EATC tip E-100.

4. POVEZIVANJE S TK SUSTAVOM HPT

Ovdje se ne misli na telefonski priključak objekta na najbližu javnu telefonsku centralu (koji se, uzgred rečeno, svakom objektu osigurava), već na povezivanje koje će HEP-u i HPT-u pružiti dodatne mogućnosti realizacije odnosno dobivanja TK kapaciteta.

Polazeći od iskaznog interesa HPT-a, dogovorno se za ovo povezivanje (optičkim kabelom) određuju Zadar i Novalja. Pored toga na otocima Rab i Pag, na samoj trasi DV 110 kV, izvode se (ukupno dvije) odvojne optičke spojnice u kojima se ostavljaju po 4 optičke niti HPT-u na korištenje.

Povezivanje TK sustava odmah omogućuje HEP-u povezivanje 2 Mbit/s grupom CDU Pehlin na CDU Bilice (Zakup na relaciji Novalja — CDU Pehlin). U ovoj će se etapi za to koristiti jedan dio kapaciteta (kanala).

Potrebno je međutim, upozoriti na znakovito, u posljednje vrijeme izraženo distanciranje HPT-a u odnosu prema prije iskazanom interesu za korištenje naših optičkih kabela. To ni u kom slučaju ne dovodi u pitanje naša opredjeljenja u izgradnji TK sustava HEP-a, kao ni našu otvorenost za suradnjom u svakom trenutku i konkretnom slučaju.

5. ROKOVI REALIZACIJE TK SUSTAVA

Realizacija odnosno puštanje u rad ovog TK sustava neposredno je u funkciji rokova izgradnje elektroenergetskih objekata. U osnovi realizacija se planira u dvjema fazama. Prva faza uključuje potez od TS Novalja do TS Zadar, a druga TS Zadar — TS Biograd — TS Bilice.

Konkretno to znači da će do kraja ove godine (moguće i nešto prije) biti kompletno položen odnosno postavljen optički kabel od TS Novalja do TS Zadar, no ne ulazi na lokaciju TS Pag (izgradnja još nije započela), a u TS Zadar-Centar, s obzirom na stanje građevnih radova, samo se uvodi i obavlja privremeno spajanje minimalnog broja niti u zadnjem kabelskom zdencu. Znači, uspostavit će se samo dio veza, i to u konfiguraciji nešto različitoj od ovdje iznesene . Potkraj prvog kvartala 1995. god., s puštanjem u rad TS Zadar-Centar, bit će završena i prva faza TK sustava. Druga faza, a time i cijeli sustav, trebala bi biti ostvarena potkraj 1995. godine.

Takva fazna izgradnja vlastitog TK sustava nužno uvjetuje, u cijelom razdoblju od stavljanja pod napon TS Novalja pa do realizacije i druge faze TK sustava znatnije korištenje telekomunikacijskih kapaciteta HPT (zakup), posebno između Zadra i CDU Bilice.

6. ZAKLJUČAK

Telekomunikacijski sustav za vođenje objekata otočne veze 110 kV iz CDU BILICE predstavlja suvremen TK sustav bez kojeg se funkcija SDV-a ne može ostvariti. To ni u kojem slučaju nije projekt za »lokalne« potrebe jednog DCU-a, već ima izuzetnu važnost za cjelokupnu mrežu veza HEP-a, jer je to i prvi krupni korak u realizaciji magistralnih veza, kao i korištenju optičkog medija. Jedino uz ovakvu orijentaciju i spremnost da se još intenzivnije nastavi s izgradnjom, u prvom redu magistralnih pravaca u mreži veza HEP-a, može se nadoknaditi zaostajanje koje je već sasvim evidentno na ovom području.

LITERATURA

[1] »Generalni plan razvoja mreže veza HEP-a« (listopad 1993. god.)

[2] Idejni projekt »Optički TK sustav prijenosa HEP Zagreb — (Melina) — Split — Dubrovnik« (ožujak 1994. god. — Elektroprojekt Zagreb)

[3] »Otočna veza 110 kV — Idejno rješenje telekomunikacija« (siječanj 1994. god. — HEP Projektni biro Split)

TELECOMMUNICATION SYSTEM FOR THE CONTROL OF THE 110 kV ISLAND CONNECTION FROM THE REMOTE CONTROL CENTRE BILICE

The 110 kV island connection is at the moment the most important project of the Croatian National Electricity. Together with a construction of 110/x kV transformer substations, a private telecommunication network has been realised to meet the growing demands considering capacity and availability of the transmission links for the speech and data transmission. A part of that network stretching between the control centre (CDU) Bilice and a number of remote controlled substations is described in this article. Optical fibre earth wire together with sections of submarine optical cable are used to form the transmission path. Equipment used is that of the PDH.

FERNMELDESYSTEM FÜR DIE OBJEKTENFÜHRUNG DER »ÜBER – INSELN – VERBINDUNG« 110 kV AUS DER FERNSTEURUNGSSTELLE BILICE

Zur Zeit ist die »Über-Inseln-Verbindung« 110 kV der wichtigste Projekt der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft«.
Um dem immer größeren Verlangen nach mehr Kapazität und Verfügbarkeit der Fernmeldeverbindungen für die Übertragung von Sprache und Daten nachzukommen, wird zusammen mit dem Ausbau der Umspannwerke 110/x kV, das eigene Fernmeldenetz hergestellt. In diesem Artikel wird jener Teil dieses Fernmeldenetzes beschrieben, welcher von der Fersteuerungsstelle »Bilice« zu mehreren ferngesteuerten Unterwerken führt. Die Übertragung wird durch optische Faser im Erdseil der Fernleitungen in Verknüpfung mit den Abschnitten der optishen Unterseekabel verwirklicht. Verwendet werden die Einrichtungen der plesiosynchronen digitalen Hierarchie (PDH).

Naslov pisaca:

Ivo Rumora, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Prp Split,
58000 Split, Hrvatska,
Slavko Saša, dipl. ing.
HEP, Projektni biro Split,
58000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-08.

Tesla TELEKOMUNIKACIJE ZAGREB

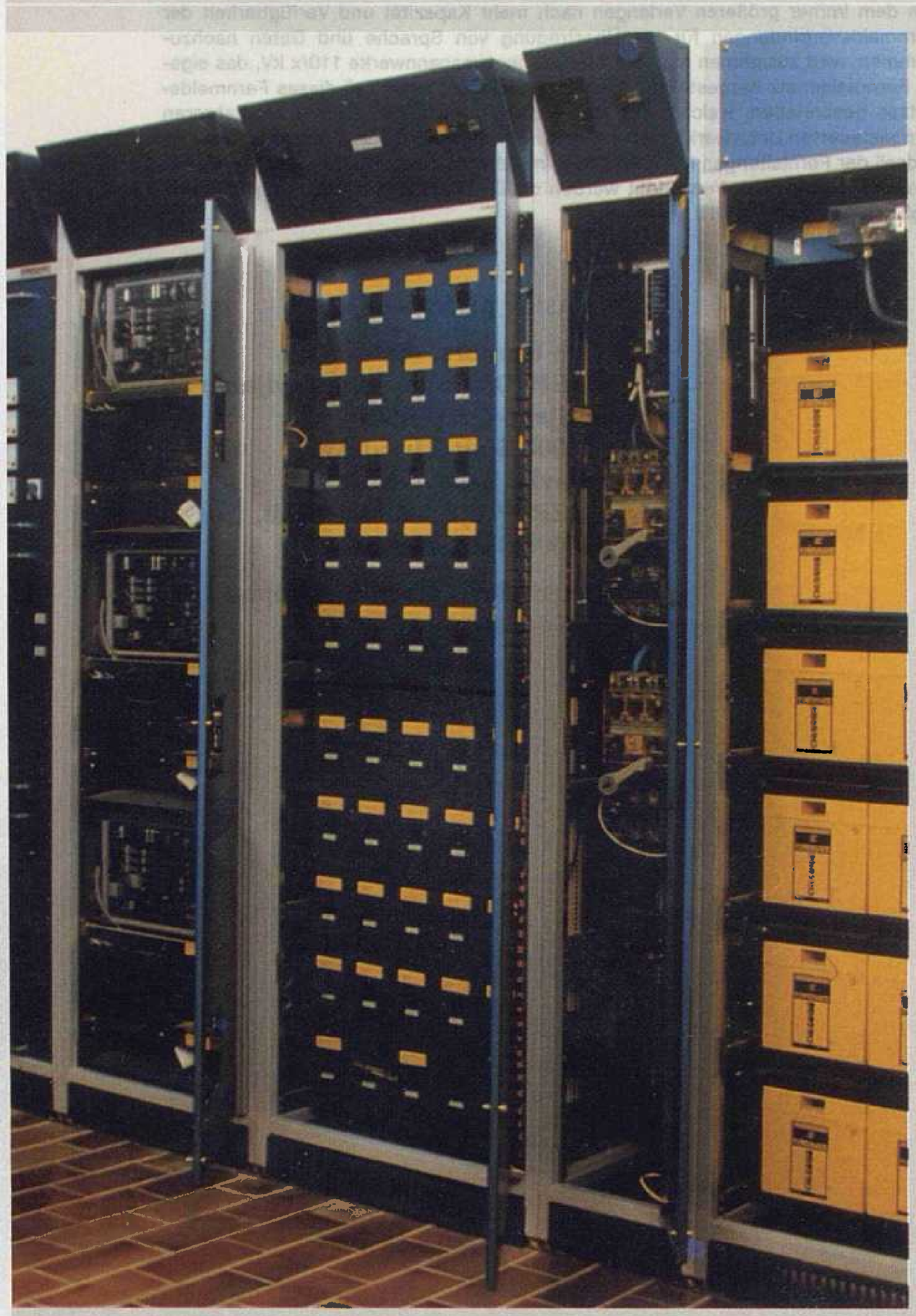
nikola tesla

Poduzeće za proizvodnju telekomunikacijskih sistema i uređaja p. o.

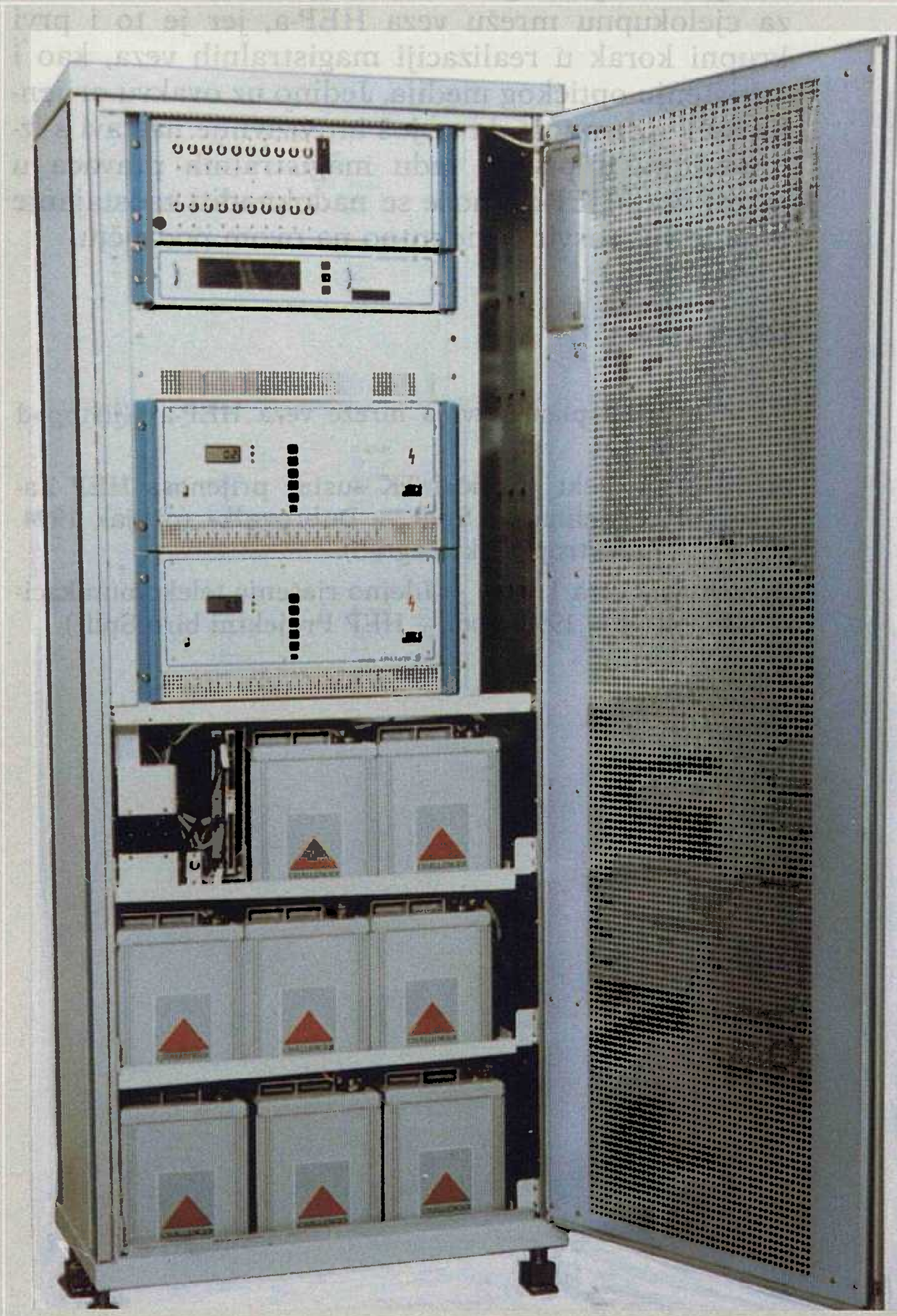
Zagreb, Krapinska 45

PROJEKTIRA • RAZVIJA • PROIZVODI • MONTIRA

SUSTAVE NAPAJANJA



SUSTAV ISTOSMJERNOG NAPONA 220 V



SUSTAV NAPAJANJA 48 V

Dugogodišnja prisutnost tvornice "NIKOLA TESLA" na tržištu u preko 30 zemalja Europe, Amerike i Azije svrstava nas u red prepoznatljivih vodećih svjetskih proizvođača profesionalnih sustava napajanja.

Na osnovi našeg 20 godišnjeg iskustva u razvoju, projektiranju, proizvodnji i montaži, nudimo kompletne sustave napajanja na području telekomunikacija, elektroprivrede, željeznice, računala, kao i drugih korisnika.

JAVITE NAM SE - MI IMAMO PRAVA RJEŠENJA!

Telefon: + 385 01 35 3 5 35 - Telefax: + 385 01 32 85 40, Telex: 21 416 ZG NT RH

UTJECAJ NAČINA POLAGANJA PODMORSKIH JEDNOŽILNIH KABELA NA ELEKTROKOROZIJU METALNOG PLAŠTA

Petar Čerina, Split — Bruno Šaina, Opatija

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

Do sada se prilikom polaganja podmorskih jednožilnih kabela nije mislilo o sprečavanju propadanja metalnog plašta kabela zbog djelovanja elektrokorozije. Ova pojava je teoretski razmatrana i dane su smjernice za njeno izbjegavanje.
Posebno su obrađena rješenja za smanjenje elektrokorozije metalnih plašteva za jednožilne kabele 110 kV na podmorskim trasama **otočne veze** 110 kV TS **Rab** — TS **Zadar**

Ključne riječi: podmorski kabel, elektrokorozija, polaganje kabela.

UVOD

Podmorski jednožilni kabeli zaštićeni su od mehaničkih oštećenja plaštem od čelične galvanizirane žice ili aluminijske žice.

Kabeli su pod morem polagani u jednoj ravnini na projektiranoj međusobnoj udaljenosti pojedinih faza. Ta udaljenost je veća od dubine mora na mjestima polaganja. Uz obalu se približavaju i ulaze u zajedničku priobalnu zaštitu.

U području približavanja odnosno udaljavanja podmorskih jednožilnih kabela (što je redovito u priobalnom dijelu podmorske trase) pojavljuje se elektrokorozija metalne armature zbog toka struje iz metalnog plašta u more.

Uzrok je pojavi korozije u nastanku elektromagnetskog polja koje inducira poprečne komponente napona u zonama približavanja odnosno udaljavanja pojedinih faza kabela. Tu složenu elektromagnetsku pojavu kao i način njezina smanjenja, razradili smo zajedno s stručnjacima proizvođača kabela ABB Švedska.

1. TEORIJSKO RAZMATRANJE

Struja u metalnom plaštu kabela jest:

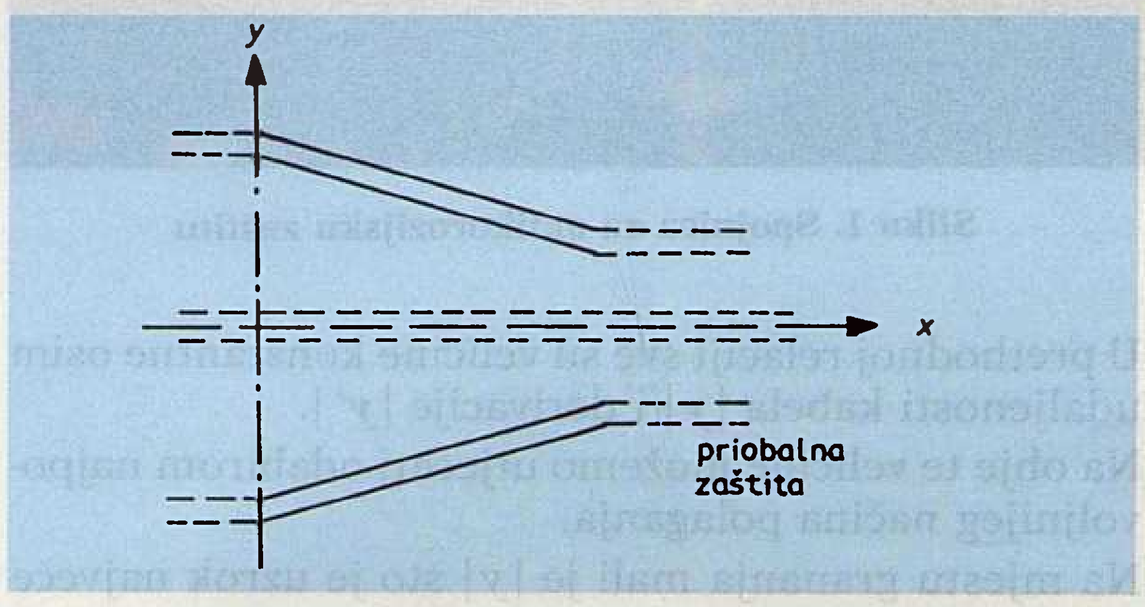
$$I_p = \frac{-jX}{R+jX} I_v \qquad (1)$$

I_p — struja plašta (A)
I_v — struja vodiča (A)
R — otpor plašta (ohm/faza × m)
X — reaktanca plašta (ohm/faza × m)

Reaktancija metalnog plašta jest:

$$X = \frac{j\omega\mu_o}{2\pi}\left(\frac{2y}{d}\right) \qquad (2)$$

y — razmak faza (m)
d — vanjski promjer metalne armature plašta (m)



Na kosom dijelu trase (crtež) inducirani napon se uzduž metalnog plašta mijenja, pa se i struja mijenja, t.j. nastaje tok struje u more — korozijska struja.

Njezina veličina se određuje derivacijom jednadžbe (1) po kosom dijelu kabelske trase:

$$\frac{\partial I}{\partial s} P = -j\frac{\partial X}{\partial y}\cdot\frac{\partial y}{\partial s}\frac{R}{(R+jX)^2} I_v \ (A/m) \qquad (3)$$

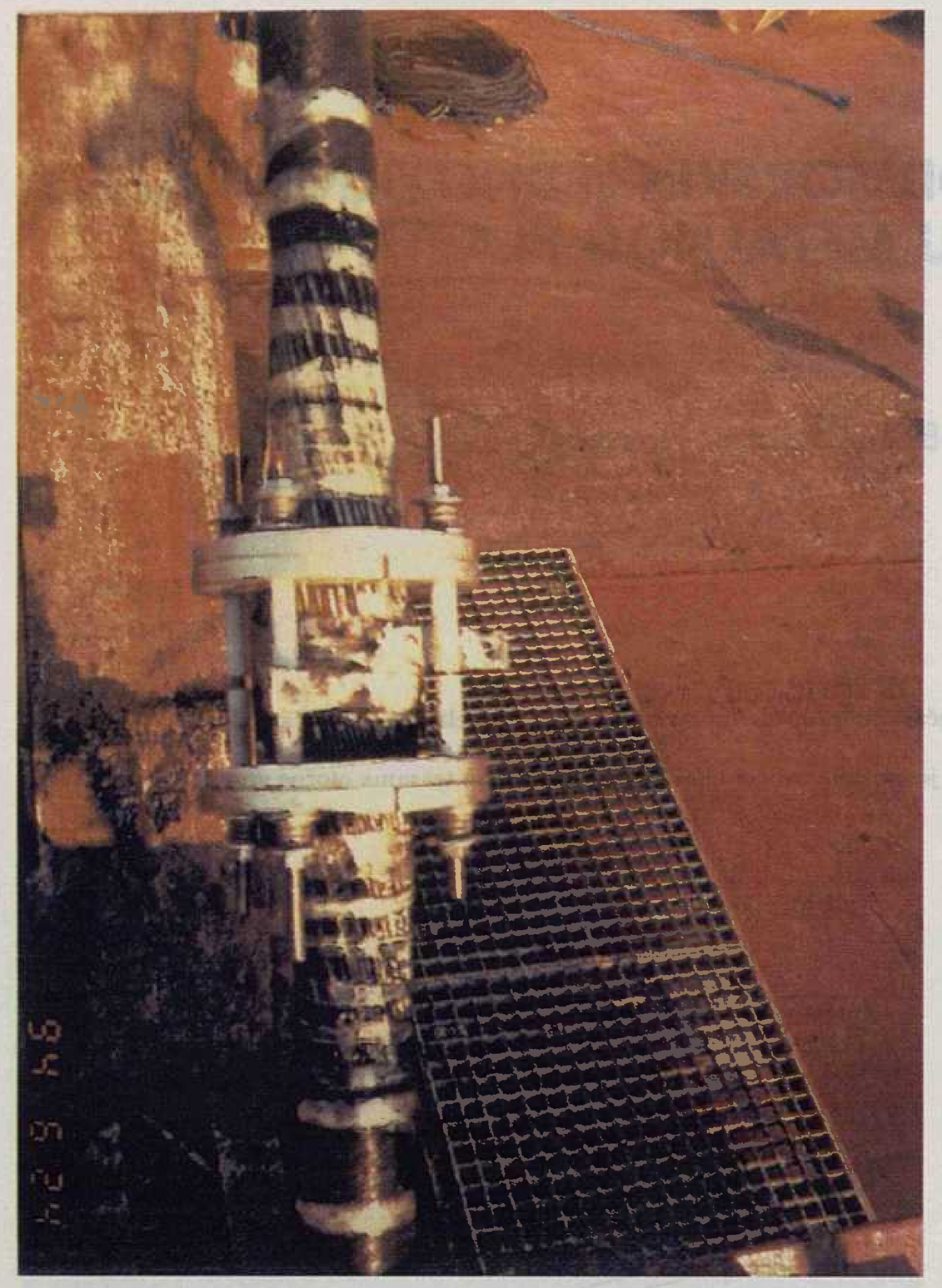
$$ds = \sqrt{dx^2+dy^2}$$

$$\frac{\partial y}{\partial s} = \frac{y'}{\sqrt{1+(y')^2}}$$

Sređenjem jednadžbe (2) dobijemo relaciju:

$$\frac{\partial Ip}{\partial s} = -j\frac{\omega\mu_o}{2\pi}\cdot\frac{1}{y}\cdot\frac{y'}{\sqrt{1+(y')^2}} \cdot \frac{R}{\left(R+j\frac{\omega\mu_o}{2\pi}\ln\left(\frac{2y}{d}\right)\right)^2}\cdot I_v. \qquad (4)$$

Gustoća korozijske struje dobije se dijeljenjem jednadžbe (4) opsegom kabela $d\times\pi$ (m).



Slika 1. Spojnica za antikorozijsku zaštitu

U prethodnoj relaciji sve su veličine konstantne osim udaljenosti kabela $|y|$ i derivacije $|y'|$.

Na obje te veličine možemo utjecati odabirom najpovoljnijeg načina polaganja.

Na mjestu grananja mali je $|y|$ što je uzrok najveće gustoće korozijske struje.

Mala vrijednost $|y'|$ znači blagu strminu, što ima za posljedicu smanjenje gustoće korozijske struje.

2. ZAŠTITA OD KOROZIJSKE STRUJE PODMORSKIH JEDNOŽILNIH KABELA ZA OTOČNU VEZU 110 kV

Podmorski kabeli 110 kV otočne veze su jednožilni s izolacijom od umreženog polietilena, olovnim plaštem debljine 2,5 mm, mehaničkom zaštitom od aluminijske žice debljine 4 mm iznad koje je završni sloj debljine 2 mm (namot od polipropilena) koji propušta more. Presjeci kabela su 300 mm² Cu i 400 mm² Cu, a proizvodnje su ABB Švedska.

Kabeli su položeni pod morem u jednoj ravnini na međusobnoj udaljenosti pojedinih faza većoj od dubine mora. U priobalnom dijelu faze se postupno približavaju i ulaze u zajedničku priobalnu zaštitu. U priobalnoj zaštiti i na kopnenoj trasi kabeli su položeni u trolistu.

Da bi se izbjeglo djelovanje elektrokorozije, postupilo se ovako:

— na mjestu grananja jednožilnih kabela (mali y — kabeli blizu) treba očekivati relativno veliku gustoću korozijske struje. Zato je u blizini priobalne zaštite (mjesto grananja kabela) izvedeno međusobno galvansko spajanje metalnih plašteva svih triju jednožilnih kabela,
— postupno udaljavanje (niska derivacija y') između faza u moru.

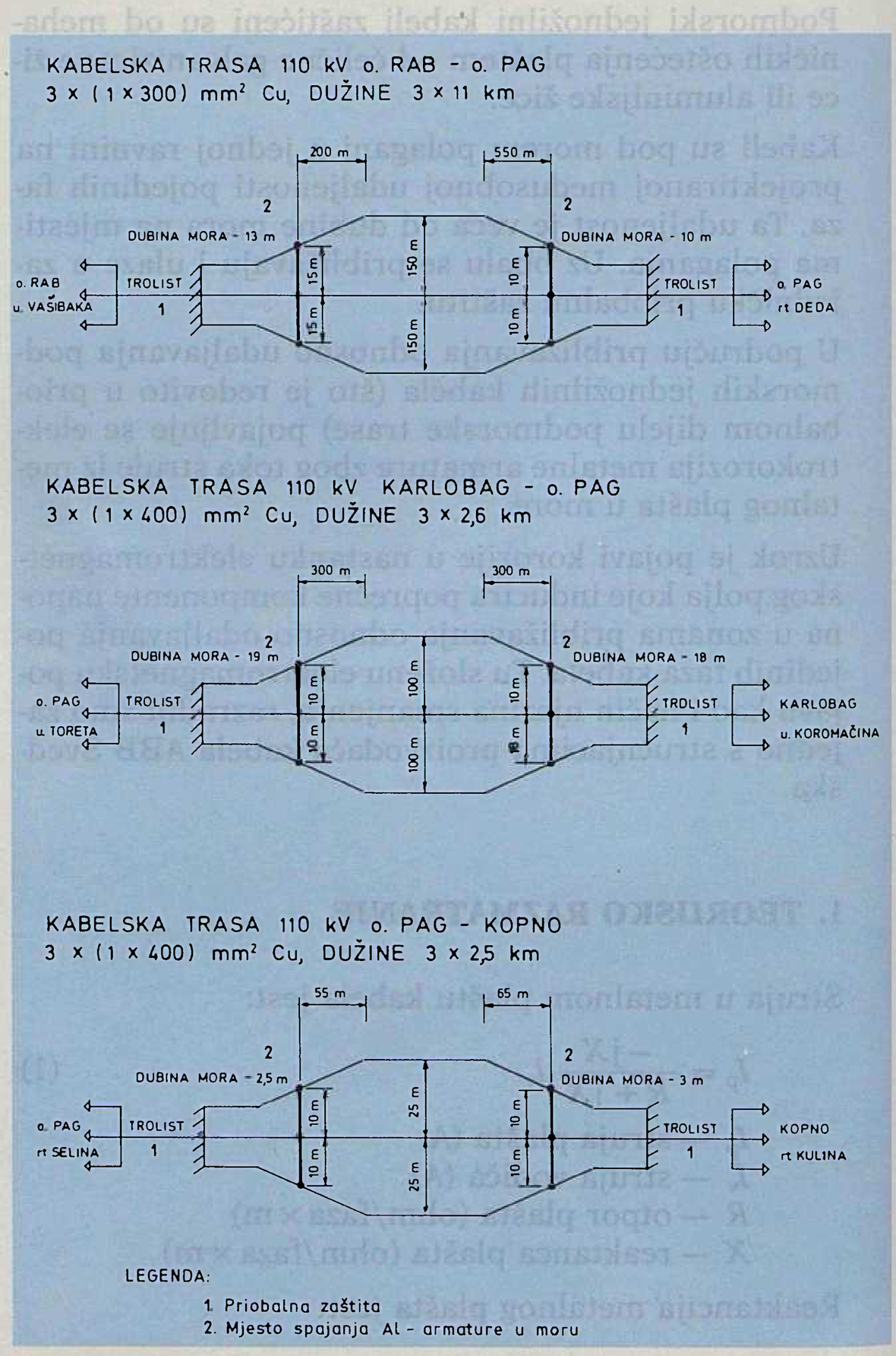
Navedeno je prikazano na priloženim slikama 2. i 3.

3. ZAKLJUČAK

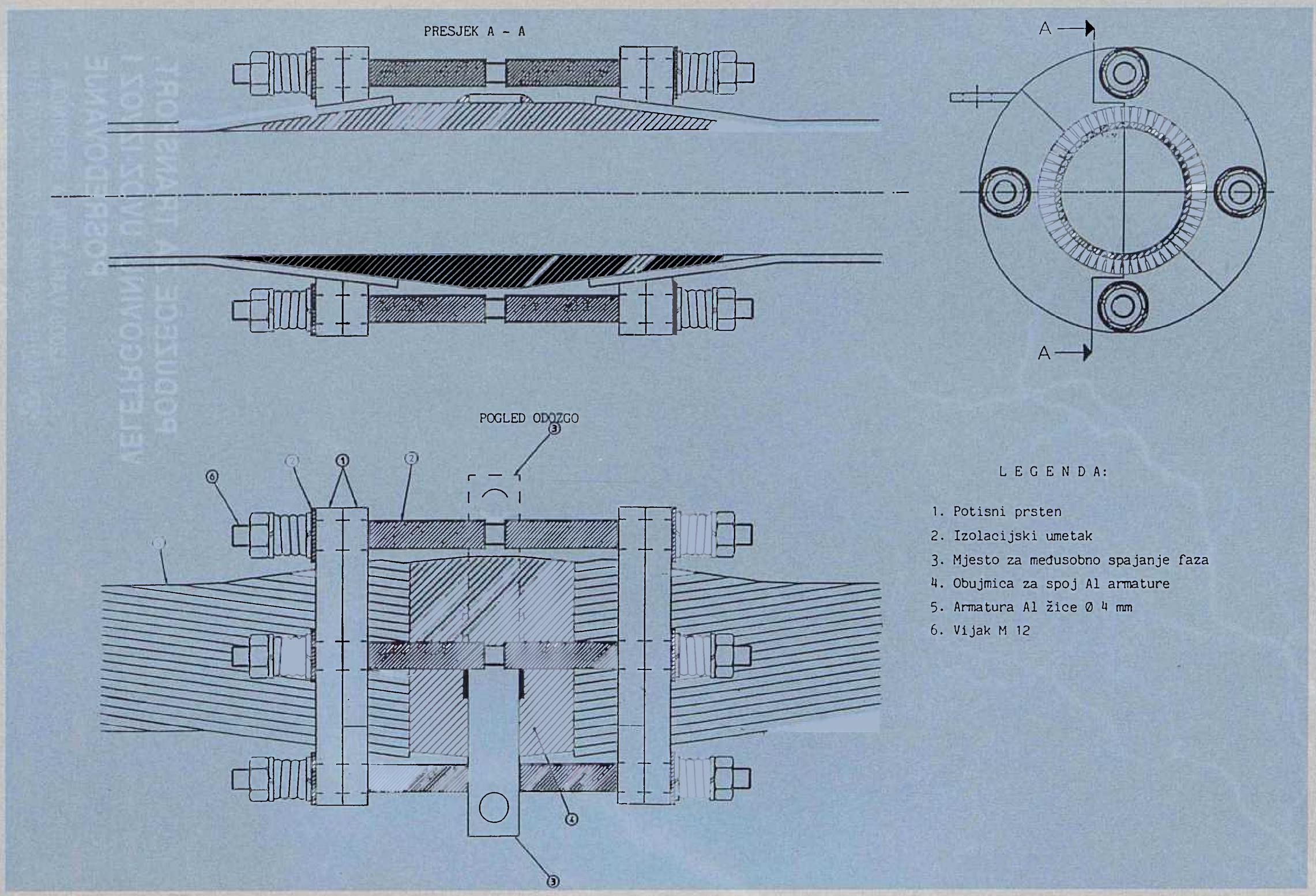
Da bi se izbjegla elektrokorozija metalnih plašteva, treba nastojati da se jednožilni kabeli pod morem polažu u jednoj ravnini što bliže i bez nagiba, a na kopnu treba međusobno povezati metalne plašteve svih triju faza.

Da bismo udovoljili tom vrlo strogom kriteriju pri projektiranju, treba voditi brigu o sljedećem:

— o udaljenosti pod morem pojedinih faza radi uvjeta radova na moru, popravaka, konfiguracije morskog dna,



Slika 2. Kabelske trase 110 kV »Otočne veze« — polaganje kabela i zaštita od električne korozije



Slika 3. Detalj spojnice metalnih armatura

— je li zajednička priobalna zaštita za sve tri faze ili nije (problem »grananja« pojedinih se faza može izbjeći ako imamo posebnu priobalnu zaštitu za svaku fazu, no to je rješenje skupo i traži dosta prostora u ishodišnoj točki),
— o polaganju kabela pod morem u trolistu (ovo se preporučuje za dubine do 20 m).

Sigurno će za svaku podmorsku kabelsku vezu trebati naći najpovoljnije rješenje, ali svakako takvo da se elektrokorozija svede na najmanju mjeru.

4. BUDUĆI ZADACI

— provjeriti ima li oštećenja na metalnim plaštevima djelovanjem struje korozije kod jednožilnih kabela koji su već duže vremena u pogonu
— dogovoriti način stalnog praćenja ove pojave
— znanstveno produbiti nastanak elektrokorozije u području izmjeničnih struja.

LITERATURA

Tehnička dokumentacija proizvođača kabela ABB Švedska.

THE INFLUENCE OF SUBMARINE SINGLE-CORE CABLE LAYING METHOD ON THE ELECTRIC CORROSION OF THE METAL ARMOURING

Untill now not enough attention has been paid to prevent deterioration of the cable metal armouring due to electric corrosion by laying of the submarine single core cables. This phenomenom is theoretically discussed and the guidelines for its prevention are given.
Solutions how to avoid the electric corrosion of the metal armouring of the single-core 110 kV cable on the submarine routes of »110 kV Island Project TS Rab — TS Zadar are separately elaborated.

DER EINFLUSS DER VERLEGUNGSART EINADRIGER UNTERSEEKABEL AUF DIE KORROSION DES METALLMANTELS

Bisher hat man bei der Verlegung einadriger Unterseekabel dem Verfall des Metallmantels der Kabel durch die Einwirkung von Elektrokorrosion keine Aufmerksamkeit gewidmet. Diese Erscheinung ist theoretisch bearbeitet worden und es sind Richtlinien für deren Vermeidung gegeben.
Besonders bearbeitet sind die Maßnahmen zur Einschränkung der Elektrokorrosion der Metallmäntel einadriger 110 kV Kabel an den unter See verlaufenden Trassen der »Über-Inseln-Verbidung« 110 kV: Umspannwerk Rab — Umspannwerk Zadar.

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split,
58000 Split, Hrvatska
Bruno Šaina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos,
Prp Elektroprijenos Opatija,
51410 Opatija, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 08.



SPECIJALIZIRANI DOBAVLJAČ
DOMAĆE I UVOZNE
ELEKTROOPREME I REPROMATERIJALA

COTRA

PODUZEĆE ZA TRANSPORT,
VELETRGOVINU, UVOZ-IZVOZ I
POSREDOVANJE

42000 VARAŽDIN, A. STEPINCA 7,
☎ 042/51-023, 042/51-255, 042/51-010,
FAX: 042/51-424, 042/55-440,
MOBITEL: TEL. 099-411-407

SNIMANJE POLOŽENIH PODMORSKIH KABELA 110 kV OTOČNE VEZE

Petar Čerina, Split — Petar Senjanović, Rijeka

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

Podmorski kabeli 110 kV Otočne veze pregledani su na morskom dnu upotrebom daljinski upravljane ronilice — skraćenica R. O. V. (Remotely Operated Vehicle) Prikazani su osnovni podaci o upotrebljenoj opremi, te je prikazan način rada i rezultati.

Ključne riječi: podmorski kabeli, način polaganja, metalni plašt, elektrokorozija.

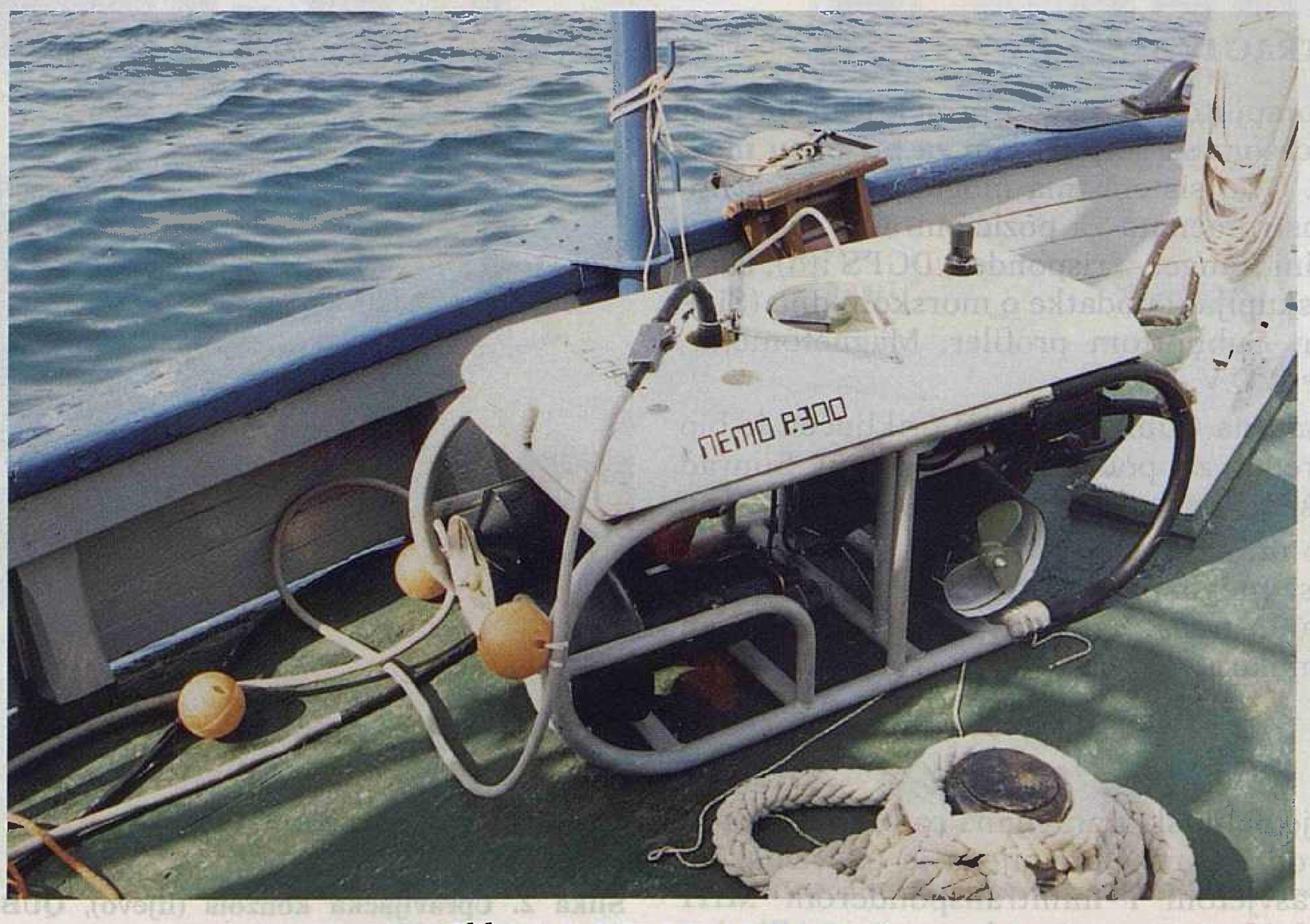
1. UVOD

Sve objekte izgrađene ili položene na morsko dno potrebno je tijekom gradnje ili nakon završetka pregledati te dati prikaz postojećeg stanja. Kako je većina građevinskih objekata (lukobrani, priobalne zaštite, podmorski temelji) izgrađena u priobalju, pregledi se najčešće izvode ronjenjem, podvodnim mjerenjem i podvodnom fotografijom.

Pregledi naftovoda, vodovoda i podmorskih energetskih i telekomunikacijskih kabela položenih na morsko dno (uglavnom na većim dubinama) danas se obavljaju daljinski upravljanim ronilicama, koje se mogu spustiti na morsko dno i do 1 000 m dubine. Ronilice su opremljene motorima i propelerima smještenim tako da se mogu gibati u svim smjerovima. Na njih se montiraju telekamere, rasvjeta, razni senzori, već prema tome kakva je vrsta pregleda. Upravljane su s površine preko multipolarnog kabela namotanog na vitlo. Upravlja se s upravljačke konzole na kojoj su smješteni uređaji za podvodnu navigaciju, kao i ekrani za promatranje podmorja. Snimanje se registrira na video vrpce.

Taj način pregleda objekata položenih na morsko dno omogućuje stručnjacima da s površine, ili naknadno pregledom videovrpca, donesu meritornu ocjenu o kakvoći obavljenog posla.

Stručni naziv ronilica je R.O.V. (Remotely Operated Vehicle).



Slika 1. R.O.V. NEMO P 300

Energija, god. 43 (1994) 6, 393 – 396

Geodetski zavod Rijeka d.d. u suradnji sa talijanskom tvrtkom IMPRESUB iz Trenta obavio je u kolovozu i rujnu 1994. pregled Otočne veze 110 kV. Upotrijebljena je ronilica R.O:V. Nemo P.300 (sl. 1) sa svim pratećim uređajima i stručnjacima koji ih opslužuju. Pregled je obavljen istraživačkim brodom »Vila Velebita« kojem je vlasnik institut »Ruđer Bošković«.

2. KRATAK OPIS NAVIGACIJSKE OPREME

2.1. DGPS (Diferencial Global Position System) Trimble 4000

Diferencijalna GPS metoda mjerenja upotrebljava se uglavnom u geodeziji i preciznoj navigaciji. To je poboljšana metoda u satelitskom određivanju položaja točke na površini Zemlje. Dok ustaljeno određivanje geografskih koordinata neke točke na površini Zemlje koristi prostorni presjek natrag sa 4 vidljiva satelita, koji se u svakom času nalaze iznad GPS primača, u ovoj se metodi koriste dva primača koji simultano primaju signale sa satelita. Jedan primač se postavlja na točku, čije su koordinate poznate (npr. trigonometar), a drugi primač na nepoznatu točku (u ovom slučaju brod koji je u pokretu). Te su točke povezane radio-likom. Složeni kompjutorski programi kontinuirano korigiraju dužinu i smjer između tih dviju točaka, te prisiljavaju novoodređenu točku na točku s poznatim koordinatama. Teorijska položajna točnost ove metode je unutar jednog metra.

Ova metoda pozicioniranja broda na moru istisnula je u novije vrijeme sve ostale metode pozicioniranja zbog svoje jednostavnosti, pouzdanosti i točnosti.

U našem slučaju upotrijebili smo uređaje Trimble 4000 RS i 4000 DS.

2.2. QUBIT TRAC IVB

Prijenosni kompjutorski sistem projektiran na bazi HP 9920 procesora sa softwareom za preciznu navigaciju (sl. 2). Ovaj sistem ima mogućnost integriranja raznih instrumenata za pozicioniranje na moru (Microfix, Mini Ranger, Trisponder, DGPS itd), kao i uređaja koji skupljaju podatke o morskom dnu (Side Scan Sonnar, Subbottom profiler, Magnetometar, Echosounder R.O.V. itd.).

U ovom slučaju na Qubit Trac IVB priključen je bio DGPS, te uređaj za podvodnu navigaciju Simrad HPR 300 P, kao i konzolu za upravljanje R.O.V.-om.

Također smo unijeli podatke o projektiranim trasama, kako bi se mogla pratiti odstupanja u navigaciji od projektiranih trasa. Uređaju je dodan i poseban ekran za kormilara.

2.3. Ronilica

Nemo P 300 je daljinski upravljana ronilica s mogućnosti urona do 300 m. Opremljena je televizijskom kamerom, rasvjetom i minitransponderom MHT 316/319 (uređaj koji omogućava lociranje ronilice), a povezana je s matičnim brodom multipolarnim kabelom dužine 450 m (sl. 1).

Tehnički podaci ronilice

Tip NEMO P 300

Dimenzije:	dužina	150 cm
	visina	70 cm
	širina	70 cm
Težina:	140 kg	
Pogon:	4 električna motora mogućnost mijenjanja smjera okretaja mogućnost variranja brzine jedan vertikalni motor: potisak 22 kg jedan bočni motor: potisak 22 kg dva uzdužna motora: potisak 44 kg	
Oprema:	elektronski dubinomjer: 60 BAR elektronski kompas: 0/360 mjerač nagiba: +45 (na obje osi) telekamera CCD u bojama (mogućnost rotacije oko obje osi) minitransponder MHT 316/319 četiri halogene lampe 25 W.	

2.4. Vitlo

Vitlo je izrađeno od lagane slitine anticorodala i čelika AIS/304. Električni motor snage 3 HP s elektronikom za kontrolu. Slip ring je unutar vitla. Oprem-



Slika 2. Upravljačka konzola (lijevo), QUBIT TRAC IVB (desno)

ljen je multipolarnim kabelom (plaštem od poliuretana — unutarnji ovoj kevlar) dulje 450 m.

Upravljačka konzola (sl. 2):
upravljačko računalo IBM kompatibilan, sa serijalom RS 232
interface sa sistemom za navigaciju (QUBIT TRAC IV B)
televizijski monitor u boji
PC monitor
joystick s komandama za pogon
joystick s komandama za navigaciju na površini mora
kontrola vitla
pokazivač ispuštenog kabela
jedinica za snagu i transformaciju
podvodni akustični navigacijski sistem SIMRAD HPR 300 P
žirokompas Robertson
videorekorder
uređaj SONY video print
televizijski monitor u boji za potrebe klijenta
motogenerator 7,5 kW.

2.5. Ostale mogućnosti

Na ronilicu možemo montirati grabilicu za uzimanje uzoraka morskog dna, kao i neke druge uređaje, ovisno o potrebi istraživanja, npr. uređaj nazvan »PIPE TRACKER«. Taj uređaj u stanju je otkrivati metalne predmete zakopane u mulju (nevidljive). On bi imao veliko značenje za lociranje nevidljivih kabela (telekomunikacijski, energetski kabeli, minska polja itd.).

3. OPIS RADA

Za lakše shvaćanje načina rada ovog sistema proučimo sliku 3. (Na slici je prikazan i Side Scan Sonar »Minescan«, čija problematika nije razmatrana u ovom članku.)

Na ronilicu je montiran minitransponder SIMRAD MHT 316/319 koji može emitirati snopove ultrazvuka u rasponima od 120 ili 180. Na boku broda učvršćen je Transducer PMT 300 (samoispravljan za posrtanje i valjanje broda). Snop ultrazvuka ovog Transducera pokriva prostorno 360.

Uređaj mjeri kosu dužinu do transpondera i u računalu je povezuje sa žirokompasom, te na ekranu pokazuje položaj ronilice u odnosu prema brodu.

Upravljačka konzola ronilice povezana je s navigacijskim uređajem QUBIT TRAC IVB, koji je povezan sa DGPS. Računato preračunava geodetske koordinate ronilice na morskom dnu.

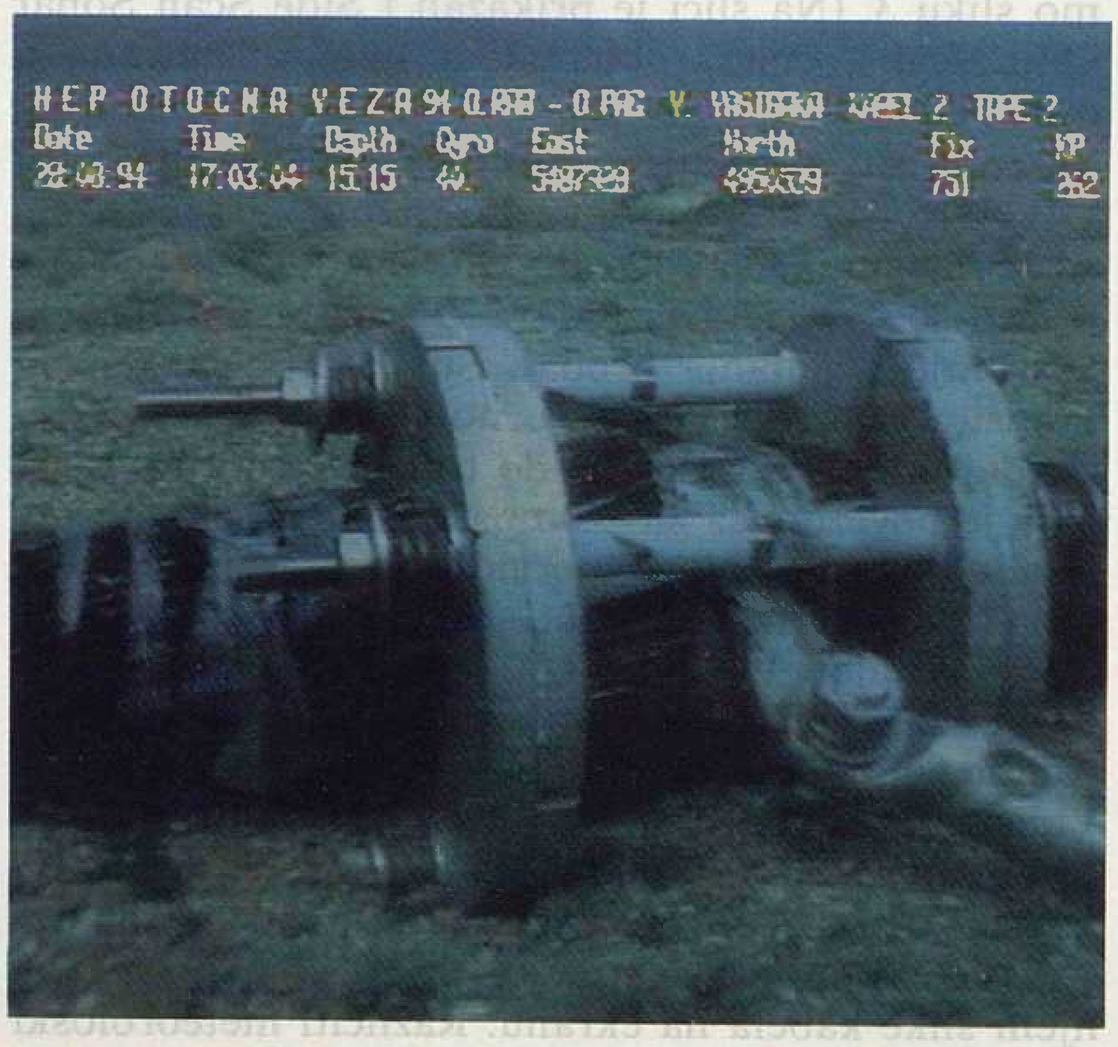
Videosnimanje podmorskih kabela započinje se na priobalnoj zaštiti. Ronilica R.O.V. postavi se otprilike 1 m iznad kabela, te započinje snimanje uzduž trase kabela. Ronilica se upravlja joystickom, promatranjem slike kabela na ekranu. Različiti meteorološki uvjeti za vrijeme snimanja otežavaju rad, te se generalno gledajući snimanje odvija relativno sporo. U slučaju nestanka slike kabela s ekrana navodi se ronilica ponovno na kabel (koordinate projekta polaganja su poznate).

Rezultat snimanja su videovrpce pojedinih dionica. Svaka pojedinačna videosnimka obilježana je na svom gornjem dijelu (sl. 4) imenom dionice, brojem



Slika 3. Shematski prikaz načina rada

trase, datumom, vremenom snimanja, dubinom, kutom žirokompasa, koordinatama yg i xg, brojem fix-a, te stacionažom na kojoj je snimljen.



Slika 4. Videoslika, spojnica za antikorozijsku zaštitu kabela

4. OBRADA PODATAKA

Za izradbu analize točnosti polaganja podmorskih kabela otočne veze potrebno je usporediti tri vrste podataka: podatke iz projekta, podatke dane od polagača, te podatke proizašle iz snimanja R.O.V-om (vidjeti sl. 5)

Analiza nije još potpuno završena, ali se već sada može reći da nema bitnijih odstupanja među ovim podacima. Podaci proizašli iz snimanja R.O.V.-om usvojit će se i pri izradbi katastra podvodnih vodova *otočne veze,* a bit će vrlo korisni u projektu MORKAB.
Osim ove analize,.u tijeku je i pregled videovrpca. Taj pregled daje sliku kvalitete polaganja podmorskog kabela. Ustanovit će se mjesta na kabelskoj vezi (pojedinačne stijene na koje je kabel postavljen, neprilijeganje kabela na morsko dno, sidara koja su već zapela za kabel itd.).
Kako su koordinate svake snimke poznate, izradit će se točan plan dijelova trasa s obilježenim »opasnim« mjestima u krupnijem mjerilu, što će olakšati posao planerima podvodnih radova i kalkulaciju sanacija.

MONITORING OF THE 110 kV LAID SUBMARINE CABLE OF THE ISLAND CONNECTION

The 110 kV submarine cables have been surveyed on the sea bottom using a remotely operated vehicle (R.O.V.). In the paper, basic data on the equipment used are illustrated as well as the way of work and the results.

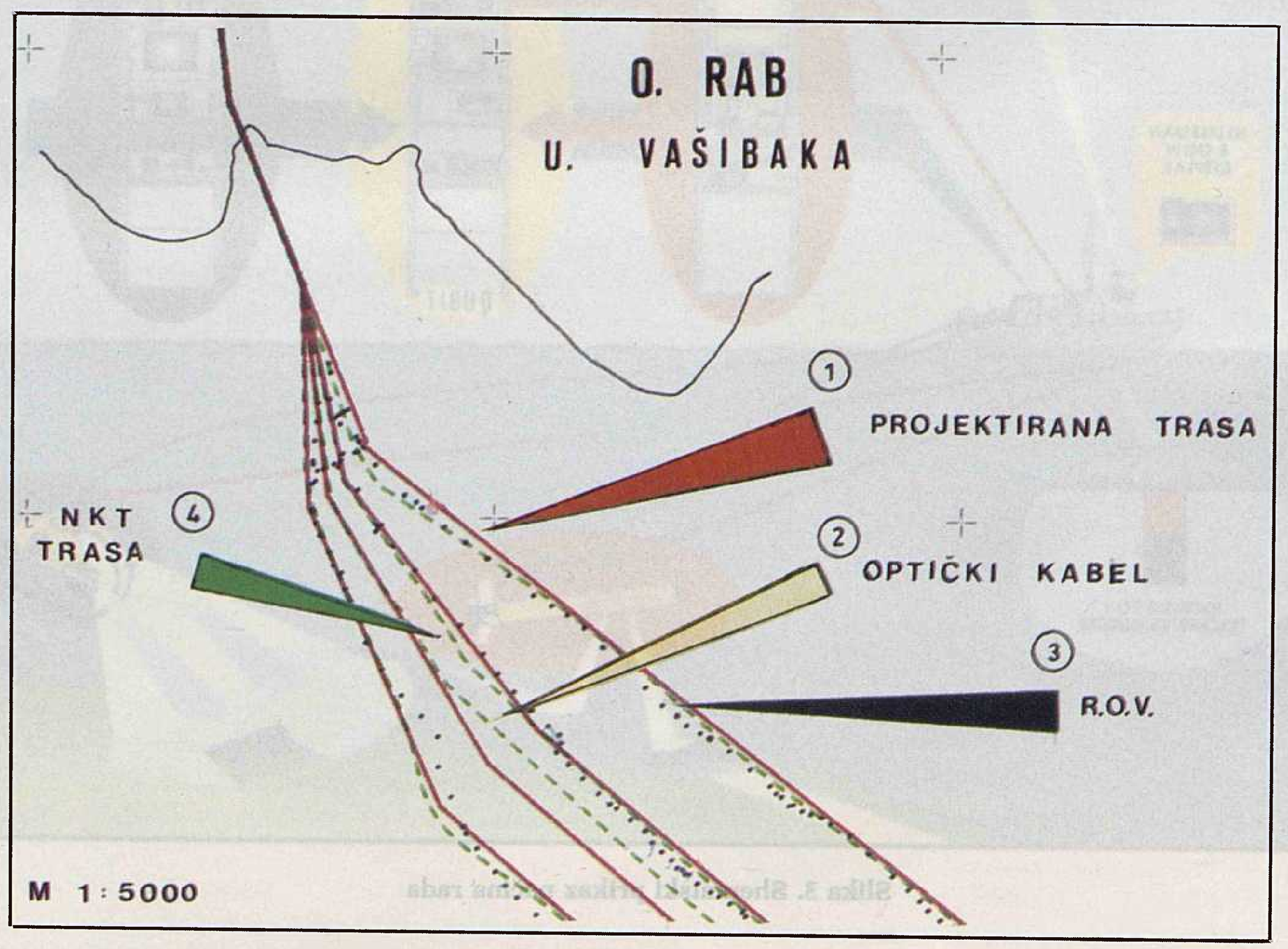
DIE AUFNAHMEN VERLEGTER UNTERSEEKABEL 100 kV DER »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Mittels eines ferngesteuerten Tauchfahrzeuges (im englischen R.O.V.=Remote Operating Vehicle) sind Unterseekabel 110 kV der »Über — Inseln — Verbidung« besichtigt worden. Im Artikel sind Grundangaben über die verwendete Ausrüstung gegeben und die Verfahren der Besichtigung sammt Ergebnissen dargestellt.

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split, 58000 Split, Hrvatska
Petar Senjanović
Geodetski zavod Rijeka, 51000 Rijeka, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-08.



Slika 5. Usporedba podataka

ABB — VISOKONAPONSKI KABELI

Mr. Ove Tollerz, Švedska

UDK 621.315.21
PREGLEDNI ČLANAK

Za potrebe Hrvatske elektroprivrede ABB HV cable isporučio je i stavio u funkciju 110 kV podmorske i kopnene jednožilne kabele s izolacijom od umreženog polietilena za **Otočnu vezu.**
U članku je naveden povijesni razvoj ove stare i vrlo uspješne švedske tvrtke.
Opisana je nova tvornica u gradu Karlskroni s novim proizvodnim procesima, ispitnim laboratorijem, osiguranjem kvalitete itd. Navedeni su značajniji projekti i isporuke ove tvrtke, s posebnim naglaskom na isporuke u Hrvatskoj.

Ključne riječi: podmorski i kopneni kabel, XLPE kabelski pribor, laboratorij, visoki napon, ispitivanje.

UVOD

ABB HB Cables, smještena u gradu Karlskroneu, na jugoistočnoj obali Švedske, ima višegodišnju tradiciju u proizvodnji elektrokabela. Prvi električni kabel proizvoden je 1883. Tvrtka je osnovana 1870. za proizvodnju žice za osigurače. Potražnju za žicom za osigurače potakao je Alfred Nobel — slavni utemeljitelj — koji je u neposrednoj blizini izgradio tvornicu dinamita.



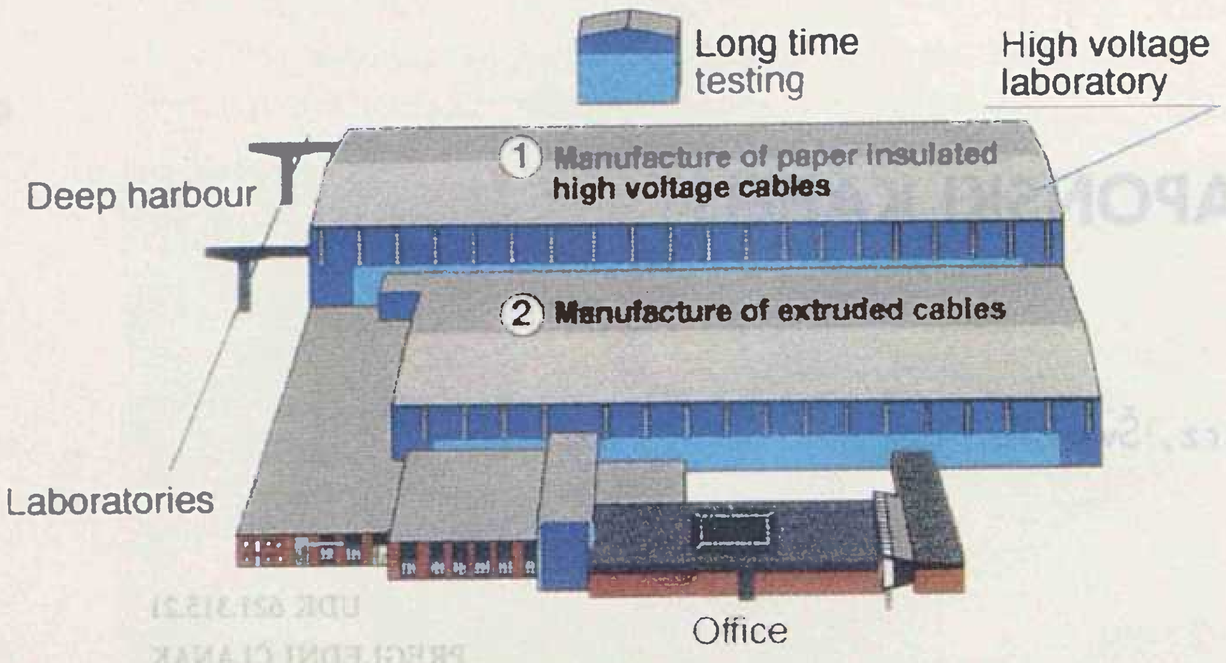
Slika 1. Košara balona — užeta proizvodnje ABB

Godine 1897. ekspedicija na Sjeverni pol, predvođena gosp. Andreeom, napustila je Spitsbergen pomoću zračnog balona »The Eagle« radi istraživanja arktičkih područja. »The Eagle« je bio opremljen užetima iz »Ljiljeholmensa« koja su visjela i koristila trenje sa zemlje radi kontrole brzine. Zbog tih užeta balon je mogao kormilariti bočno korištenjem jedra.

O ekspediciji se ništa nije čulo sve do 1930, kada su pronađena tijela Andreea, dvaju njegovih ljudi i olupina balona, »The Eagle«.

Nakon nekoliko godina proizvodnje, 1916. godine započela je proizvodnja električnih kabela. ASEA je pridobila tvrtku Liljeholmes kabelfabrik, pa je ime promijenjeno u ASEA KABEL. Nakon spajanja švedske ASEA i švicarske Brown Boveri 1988. god. ASEA CABEL postala je ABB Cables.

ABB High Voltage Cables osnovana je 1990. god. Inauguracija nove tvornice u Karlskroni bila je 1992. god. Kompanija se otada koncentrirala na visokonaponske podmorske kabele i instalacijske projekte.
ABB High Voltage Cables posjeduje moderno postrojenje za proizvodnju papirno-uljnih izoliranih i XLPE izoliranih kabela za korištenje u podmorskim



Slika 2. ABB High Voltage Cables, Karlskrona

i kopnenim projektima. Postrojenje je namijenjeno velikim podmorskim kabelima koji se ukupnom dužinom mogu utovariti na brod za polaganje u luci tvornice.



Slika 3. Tvornica s utovarnom lukom

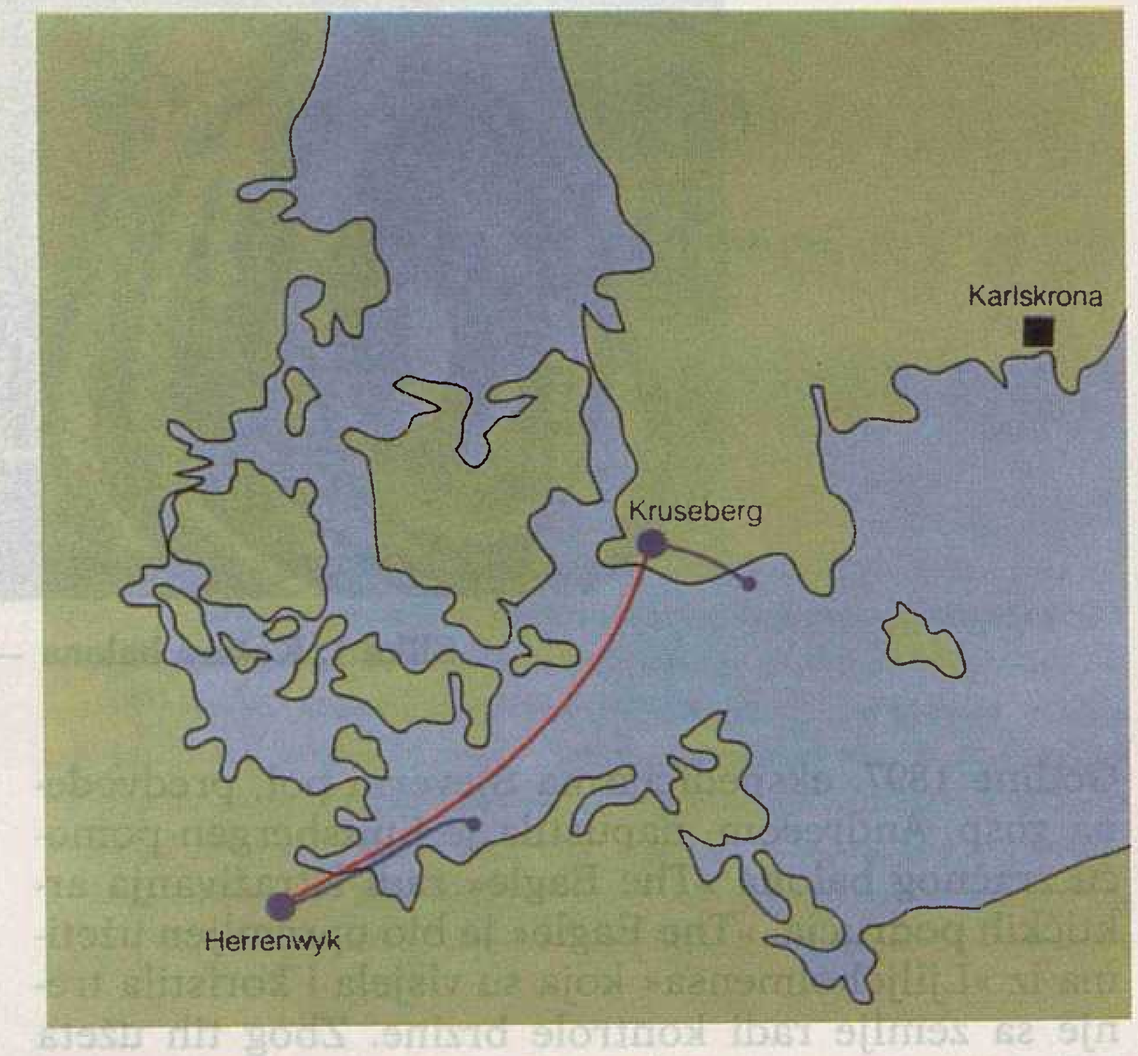
1. ZNAČAJNE ISPORUKE KABELA

Iskustvo stečeno proizvodnjom kabela među prvima na svijetu, inicijativa i tehnička inovacija doveli su do niza rekorda tijekom godine. Navodimo nekoliko primjera:

1950. Prvi 380 kV kabel u svijetu proizveden je za Swedish State Power Board.
1952. Najduži podmorski energetski kabel na svijetu za istosmjernu struju bio je dug 100 km, 100 kV, položen između švedskog kopna i otoka Gotlanda.
1973. Najduži na svijetu podmorski kabel XLPE položen je između Švedske i otoka Alanda. Spoj ima tri kabela, svaki dužine 55 km, 84 kV.
1985. Najduži svjetski XLPE kabel razine 245 kV isporučen je Stockholm Energi.
1989. Fennoskan: Najduži na svijetu HVDC pomorski kabel položen je između Švedske i Finske. Dužina 200 km, 500 MW i 400 kV DC; najveći napon na svijetu u to vrijeme.
1994. Opet se obara rekord baltičkim kabelskim projektom. Radi se o HVDC podmorskom kabelu između Njemačke i Švedske. Snaga 600 MW, 450 kV DC, dužina 250 km, ukupna težina 14 000 t. Glavno podmorsko polaganja obavljeno je u dva dijela, svako 120 km.

Isporuka ABB High Voltage Cables u Hrvatsku:

1968. Dugi Rat — o. Brač, 8,0 km 110 kV trožilnog uljnog pomorskog kabela
1977. Senj 2.1 km 110 kV XLPE kabela
1979. Senj 2.1 km 110 kV XLPE kabela.
1979. Zagreb 18 km 110 kV XLPE kabela
1979. o. Krk 25 km 110 kV XLPE kabela
1985. Rijeka 1.2 km 110 kV XLPE kabela
1994. HEP — Otočna veza podmorski jednožilni HLPE 110 kV dužine 62 km, a kopneni 14,3 km.



Slika 4. Kabelska trasa Švedska — Njemačka

Energija, god. 43 (1994) 6, 397 – 401

2. PODMORSKI I KOPNENI KABELI U PROJEKTU »OTOČNA VEZA«

Otočnom vezom položen je prvi 110 kV podmorski kabel u Hrvatskoj s krutom izolacijom polietilena XLPE. Prethodni kabeli 110 kV imali su papirno-uljnu izolaciju sa sistemom punjenja ulja u kopnenim stanicama.
Kod XLPE kabela nema ulja, te je u tome njihova prednost, jer ne zagađuju okoliš ako zbog kvara dođe do curenja. XLPE kabeli jednostavni su za održavanje, vrlo su čvrsti i otporni. Time se smanjuje rizik oštećenja kabela od opreme za ribarenje ili sidara. Osim toga, popravak kabela na moru u vrlo teškim uvjetima manje je kritičan kada je čvrst i otporan. Današnji XLPE kabeli koriste se za napone do 400 kV. Kod svih energetskih kabela najvažniji su uvjet dugotrajnosti dielektrični i mehanički zahtjevi. Izvanredna elektrosvojstva i mehanička svojstva XLPE čine ga izuzetno pogodnim izolacijskim materijalom za niz napona, od niskih do vrlo visokih.

Prethodna iskustva primijenjena na kabele otočne veze

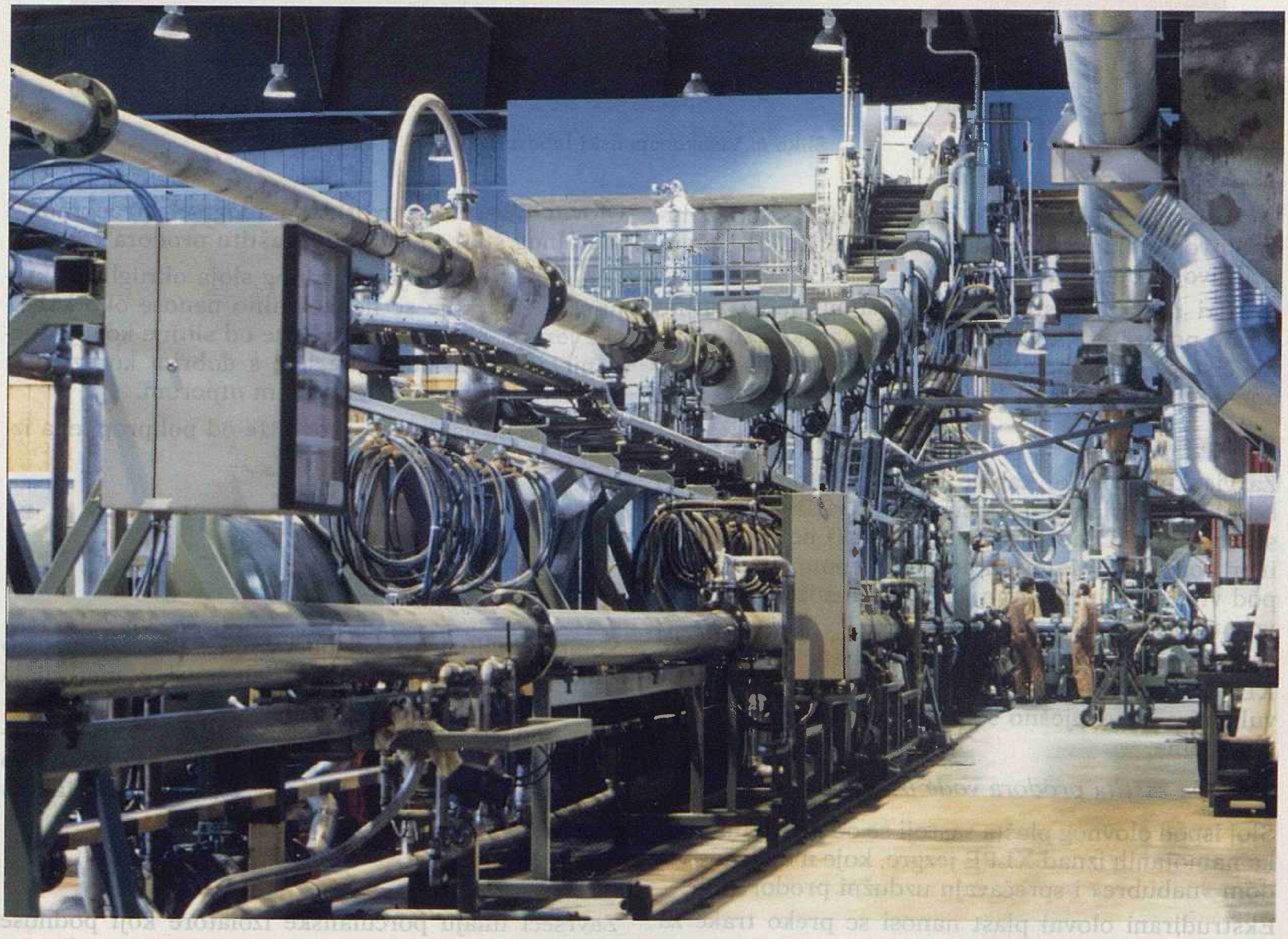
Ulaz vode u aluminijski vodič podmorskih kabela
Voda i aluminij stvaraju naslagu aluminijskog hidroksida i vodikovog plina. Na taj način gram vode daje litru vodikova plina. Time se postiže visoki tlak plina, čime se oštećuju kabelske spojnice izrađene od samovulkanizirajuće gume. To se izbjegava upotrebom bakrenih vodiča u podmorskim sekcijama.

Kabeli s olovnim plaštem na velikim dubinama mora

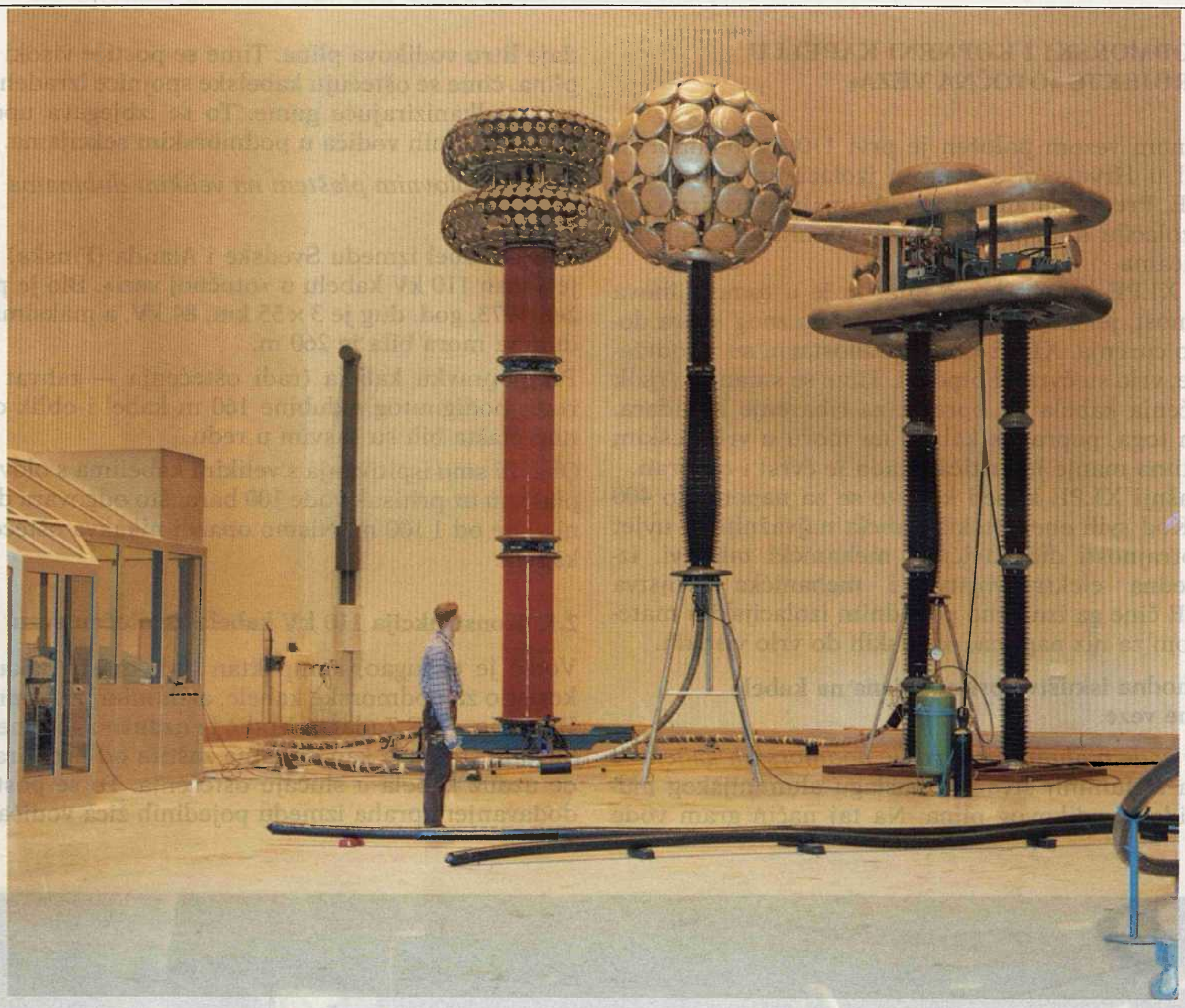
XLPE Kabel između Švedske i Alanda (Finska) vrlo je sličan 110 kV kabelu u »otočnoj vezi». Bio je položen 1973. god. dug je 3 × 55 km, 84 kV, a maksimalna dubina mora bila je 260 m.
Pri popravku kabela (radi oštećenja — zahvat sidrom) podignutog s dubine 160 m kabel i oblik olovnog plašta bili su sasvim u redu.
Obavili smo ispitivanja s velikim kabelima s olovnim plaštem uz pritisak vode 100 bara, što odgovara dubini vode od 1 100 m. Nismo opazili nikakva oštećenja kabela.

2.1. Konstrukcija 110 kV kabela za otočnu vezu

Vodič je okrugao, kompaktan i vlaknast. Bakar se koristio za podmorske kabele, a aluminij za kopnene Bili Brig — TS Zadar 1. Vodič je uzdužno vodonepropustan, što služi kao dodatna zaštita od prodora vode uzduž kabela u slučaju oštećenja. To se postiglo dodavanjem praha između pojedinih žica vodiča.



Slika 5. Proizvodnja kabela



Slika 6. Visokonaponski laboratorij

Trostruki XLPE izolacijski sistem sastoji se od: poluvodljivog sloja iznad vodiča, izolacije XLPE i poluvodljivog sloja iznad izolacije.

Sve tri naslage ekstrudirane su simultano i zatim čvrsto povezane. Odabrane sirovine visokog su stupnja čistoće i za kabele, i za sistem rukovanja, čime se onemogućuje dodatna kontaminacija izolacije.

Proces ekstruzije

Za visokonaponske kabele koristio se proces suhe, besplinske izolacije. Izolacijski materijal vulkanizira se kod Long Land Die (čelične cijevi) bez protoka i inertnog plina. Materijal potpuno ispunjava matricu pod vrlo visokim tlakom, čime se postiže izolacija s vrlo niskim sadržajem vlage.

Ta tehnika dala je izvanredne rezultate i na 400 kV, XLPE kabelima. Naš proces vodoravne ekstruzijske vulkanizacije uspješno se primijenjuje punih dvadeset godina.

Uzdužna zaštita prodora vode iznad izolacije

Sloj ispod olovnog plašta sastoji se od provodnih traka namotanih iznad XLPE jezgre, koje u dodiru s vodom »nabubre« i sprečavaju uzdužni prodor vode.

Ekstrudirani olovni plašt nanosi se preko trake za uzdužnu zaštitu.

Olovni plašt ima dvostruku ulogu-elektroekrana i metalnog štita za radijalnu zaštitu prodora vode.

Armatura se sastoji od jednog sloja okruglih aluminijskih žica koje se helikoidalno nanose oko kabelske jezgre. Žice su napravljene od slitine koja je mehanički čvrsta, nemagnetska, s dobrim korozivnim svojstvima i malim električnim otporom.

Na kraju se vanjski pokrov diže od polipropilena iznad armatrunih žica.

2.2. Kabelski pribor

Kabelske spojnice

Spojnice uključene u instalaciju lijevanog su tipa, što znači da je izolacija od istog izolacijskog materijala koji se koristi za kabele. Spojnice su unakrsno povezane pod pažljivo kontroliranom temperaturom i tlakom. I ostale komponente spojnica izrađene su kao kod kabela. Stoga su spojnice ekvivalentne kabelu kako električki, tako i mehanički.

Kabelski završeci

Završeci imaju porculanske izolatore koji podnose visoki napon u uvjetima vlage i prisutnosti soli.

3. ISPITIVANJE KABELA I KABELSKOG PRIBORA

Izgrađen je novi visokonaponski laboratorij kapaciteta do 3,2 MV potreban za razvojne radove i tipska ispitivanja. XLPE 400 kV kabelski sistem, uključujući kabel, spojnice i završetke, prošao je tipsko ispitivanje. Trenutačno se ispituje kabel za velika naprezanja u velikim dubinama. Radi se o 500 kV papirom izoliranom kabelu s 2 000 mm² bakrenim vodičem za dubinu 1 100 m.

Novi visokonaponski laboratorij raspolaže visokokapacitetnom opremom kojom upravlja sposobno i iskusno osoblje.

Glavna oprema za elektroispitivanje uključuje:

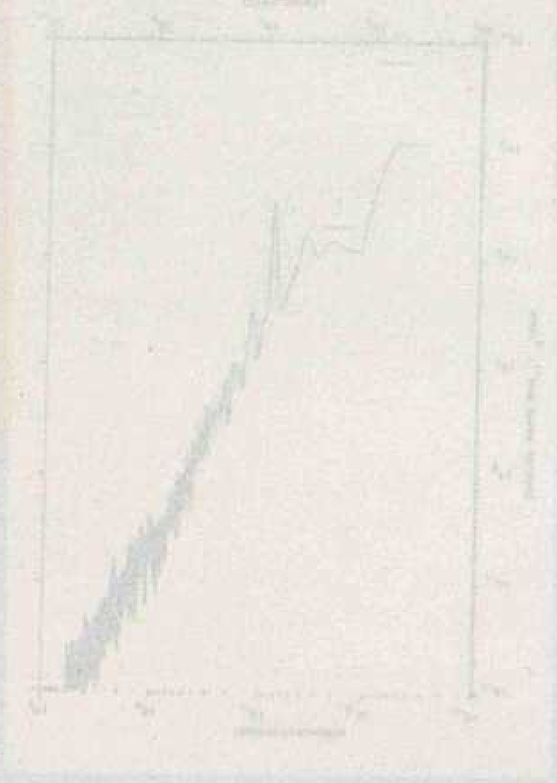
- impulsne generatore: 2 400 kV i 3 200 kV
- AC naponske transformatore 250 kV, 625 kV i 700 kV
- DC naponske generatore: 550 kV, 1 000 kV, 1 200 kV i 1 600 kV
- DC strujne generatore
- mjerna oprema je poznatih proizvođača Tettex, Haefely itd.

Visokonaponski laboratorij, konstruiran kao dio glavne tvornice, raspolaže prizemljem površine 28 × 35 m, visine 35 m. Poseban dio čine pažljivo uređeni sistemi uzemljenja i zaštite.

Drugi (stariji) visokonaponski laboratorij ima površinu 17 × 20 m, visinu 15 m, uključuje impulsni generator i visokonaponsku opremu (istosmjernu i izmjeničnu) za dugotrajnije ispitivanje.

4. SIGURNOST KVALITETE

ABB High Voltage Cables ima visokorazvijeni sistem sigurnosti kvalitete zasnovan na potrebama i željama kupaca. Sistem kvalitete pomaže osoblju da od samog početka pravilno radi, počevši od razvojne faze do konačne isporuke. Sistem ispunjava zahtjeve ISO 9001, a certificirala ga je švedska Institucija za standard, SIS, organizacija što ju je akreditirala švedska vlada za certifikate trećim stranama.



Sistem kvalitete zadovoljava

- zahtjeve kupca vezane za svojstva proizvoda, izvedbu, vrijeme isporuke itd.
- tehničke zahtjeve potrebne za proizvodnju i instaliranje proizvoda
- zahtjeve okoliša
- ABB međunarodne zahtjeve.

Sistem kvalitete pokriva

- organizaciju: dobro zamišljenu, s jasno zacrtanim područjima odgovornosti i ovlaštenja.
- rutine: dobro zasnovane radne rutine i jasne upute glede obavljanja posla.
- revizije: unutrašnju i vanjsku kontrolu proizvoda, procesa proizvodnje i sustava kvalitete.
- obrazovanje: školovanje, naobrazbu i kvalifikaciju osoblja uposlenog na kritičnim zadacima.

ABB HIGH VOLTAGE CABLES

For the needs of the Croatian National Electricity ABB High Voltage Cables delivered and put into operation 110 kV submarine and underground single care cables, isolated with cross-linked polyethylene (XLPE) for the Island Connection.
A new facility in the town of Karlskroni with new production processes, examination laboratory, quality assurance etc. are described. Important projects and deliveries of the firm, with a special emphasis on deliveries to Croatia are given.

DIE ABB — HOCHSPANNUNGSKABEL

Für Zwecke der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft«, und zwar für die »Über — Inseln — Verbindung« hat das Unternehmen »ABB HV Cable« mit vernetztem Polyethilän (VPE) isolierte 110 kV Untersee-und Erdverlegungs-Einaderkabel geliefert.
Im Artikel ist die Entwicklung dieses alten und sehr erfolgreichen schwedischen Unternehmens seit seiner Gründung her dargestellt.
Beschrieben ist das neue Werk in der Stadt Karlskrona, mit neuen Herstellungsverfahren, dem Prüflaboratorium, dem Qualitätsscherungsdienst, usw. Angeführt sind die bedeutenderen Projekte und Lieferungen dieser Firma, mit besonderem Nachdruck auf Lieferungen nach Kroatien.

Naslov pisca:

Mr. Ove Tollerz, dipl. ing.
ABB High Voltage CABLES,
Švedska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-22

DRŽAVNI HIDROGRAFSKI INSTITUT

58000 Split, Zrinsko-Frankopanska 161, Hrvatska, Tel: +385 58 361 840, Fax: +385 58 47 045

HIDROGRAFSKO-GEOLOŠKO-OCEANOGRAFSKA IZMJERA

DUBINOMJER

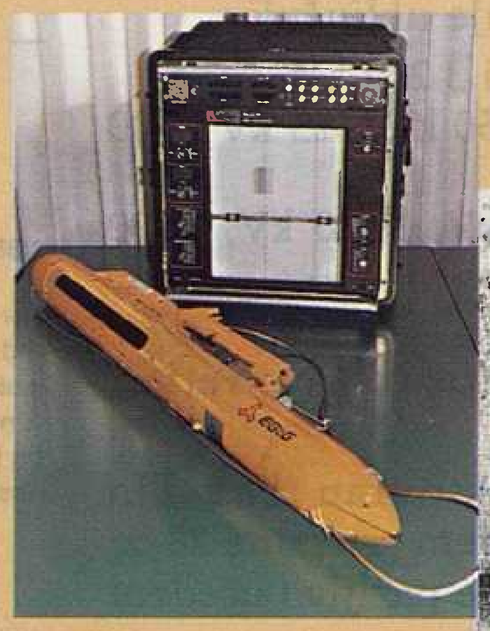


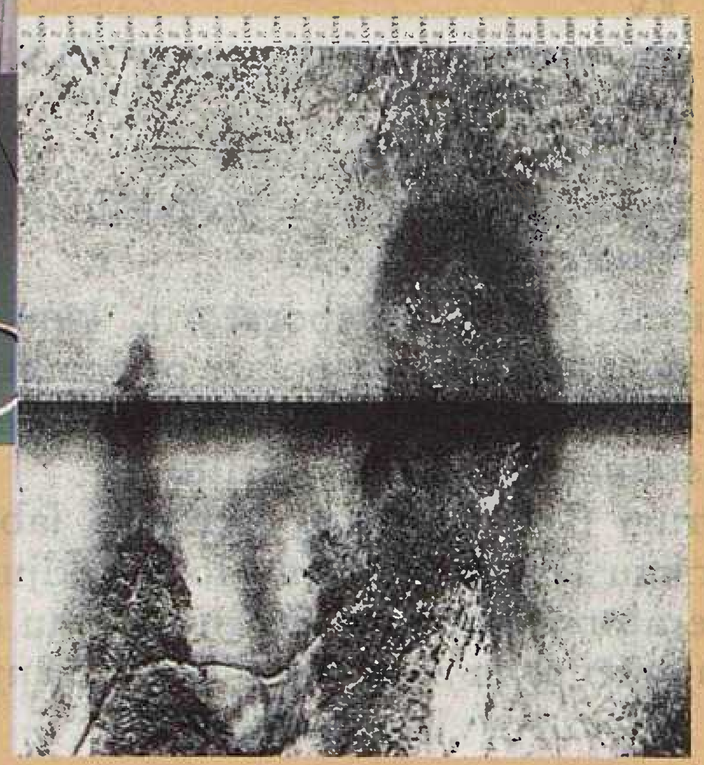
Hidrografska izmjera ishodišne točke



PANORAMSKI DUBINOMJER

Analogni zapis površine morskog dna

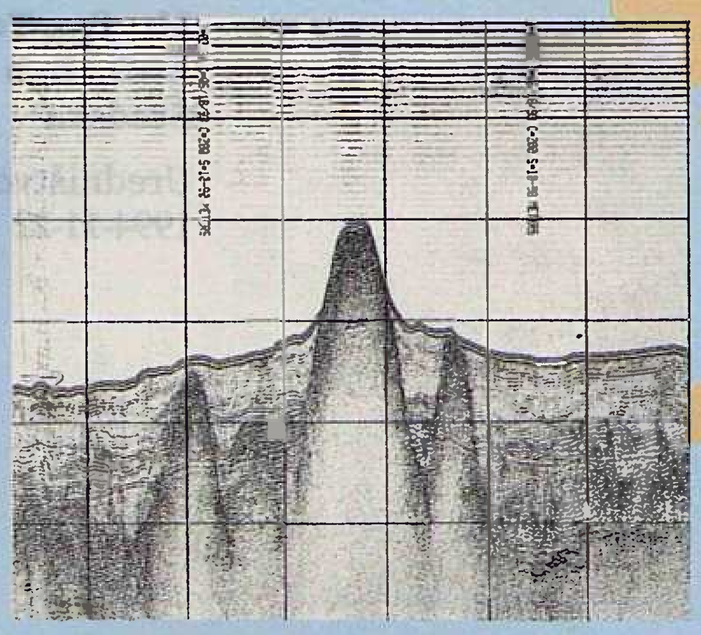




GEOLOŠKI DUBINOMJER

Analogni zapis izbijanja primarne stijene na površinu morskog dna

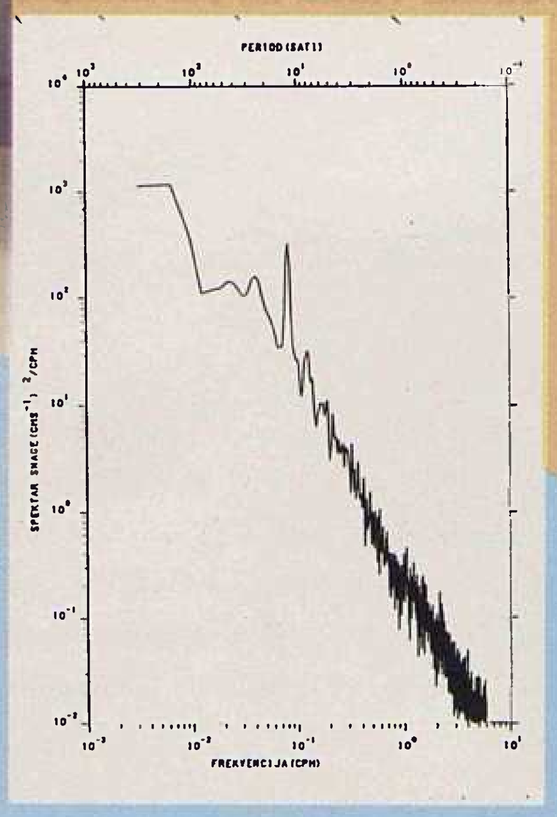




ELEKTRONIČKI STRUJOMJER

Spektar snage struja mora





PRIMJENA HGO IZMJERE:

- **Hidrotehnički radovi u priobalju i podmorju**
  - Premjer trasa za polaganje energetskih i telekomunikacijskih kabela
  - Premjer trasa za polaganje vodovodnih cijevi
  - Premjer trasa za polaganje cijevi naftovoda i plinovoda
  - Premjer lokacija pri izgradnji luka, marina i pristana.
- **Ekološke studije**
  - Lociranje i premjer trasa za kolektore otpadnih voda
  - Premjer lokacija za marikulturu.

OPREMA ZA POPRAVAK I POLAGANJE PODMORSKIH KABELA

Petar Čerina, Split — mr. Nikola Delavia, Zadar — Bruno Šaina, Opatija

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

Težnja Hrvatske elektroprivrede da se kadrovski i materijalno osposobi za popravak podmorskih energetskih kabela do razine 110 kV napona na putu je ostvarenja.
Ugovorom o isporuci podmorskih i kopnenih 110 kV kabela »otočne veze« isporučitelj je preuzeo obvezu isporuke opreme iz Programa MORKAB, koja će omogućiti popravak i polaganje podmorskih kabela svih razina napona, kao i telekomunikacijskih optičkih podmorskih kabela.
Opisane su osnovne značajke strojeva i dan je opći prikaz smještaja opreme na palubi plovnog objekta.

Ključne riječi: Program MORKAB, popravak i polaganje podmorskih kabela, oprema, plovni objekt.

UVOD

Težnja Hrvatske elektroprivrede da se materijalom i kadrovski osposobi za popravak podmorskih energetskih kabela do napona 110 kV datira već od početka 80-ih godina. Nakon dugih rasprava utvrđeno je da je želja Hrvatske elektroprivrede da se osposobi za popravak podmorskih energetskih kabela svih razina napona i za polaganje kabela do razine 35 kV napona. Pretpostavilo se, naime, da se za polaganje 110 kV podmorskih kabela nema smisla opremati, jer se takvi kabeli rijetko polažu, a svi renomirani svjetski proizvođači imaju ili vlastite brodove za polaganje ili ih za tu priliku unajme, tako da je cjelokupno jamstvo, rizik i odgovornost isključivo na proizvođaču kabela. Glede popravka 110 kV kabela računalo se sa stručnom ispomoći stručnjaka proizvođača kabela, materijalom za popravak... Cijeli ovaj projekt (popularno nazvan program MORKAB) bio je nekoliko godina u planovima tadašnjeg ZEOH-a, ali je njegova realizacija propala ne toliko zbog nedostatka financijskih sredstava koliko zbog nerazumijevanja i izostanka financijske podrške ostalih sudionika koji su se prethodno obvezali na sufinanciranje projekta.
Izgradnja »otočne 110 kV veze« ponovno je aktualizirala ovaj projekt i približila ga ostvarenju.
Pri traženju ponuda za isporuku podmorskih kabela 110 kV »otočne veze« potencijalnim isporučiteljima uvjetovano je da uz kabele moraju ponuditi i opremu za popravak podmorskih kabela. Takav zahtjev se pokazao pravim potezom jer je renomirane proizvođače kabela (koji zbog svojega kadrovskog potencijala i iskustva jedini mogu ponuditi kvalitetno rješenje) nemoguće »zagrijati« za isporuku ovakva obujma i kvalitete opreme bez kabela. Riječ je, naime, o tome da opremu programa MORKAB rade razni proizvođači, dakle riječ je o velikom broju elemenata koje treba suvislo uklopiti u funkcionalnu cjelinu. To, dakako, može najbolje obaviti iskusan proizvođač kabela, a najbolja stimulacija za taj posao jest svakako prodaja vlastitoga kabela.

Slijedom toga u ugovoru za isporuku podmorskih kabela »otočne 110 kV veze« obuhvaćena je i oprema iz programa MORKAB. Ostvarenje te isporuke omogućit će Hrvatskoj elektroprivredi da od početka iduće godine može vlastitom opremom polagati podmorske kabele te pristupiti popravku podmorskih energetskih kabela svih razina napona. Razumljivo je da će biti moguće polagati i popravljati i telekomunikacijske kabele.

1. OPREMA ZA MANIPULACIJU PODMORSKIM KABELOM KOJU NABAVLJA HEP

Proizvođač kabela ABB iz Švedske isporučit će opremu MORKAB, koju će izraditi renomirana nizozemska tvrtka Van der Stoel.

Osnovni dijelovi opreme koji će se isporučiti jesu:

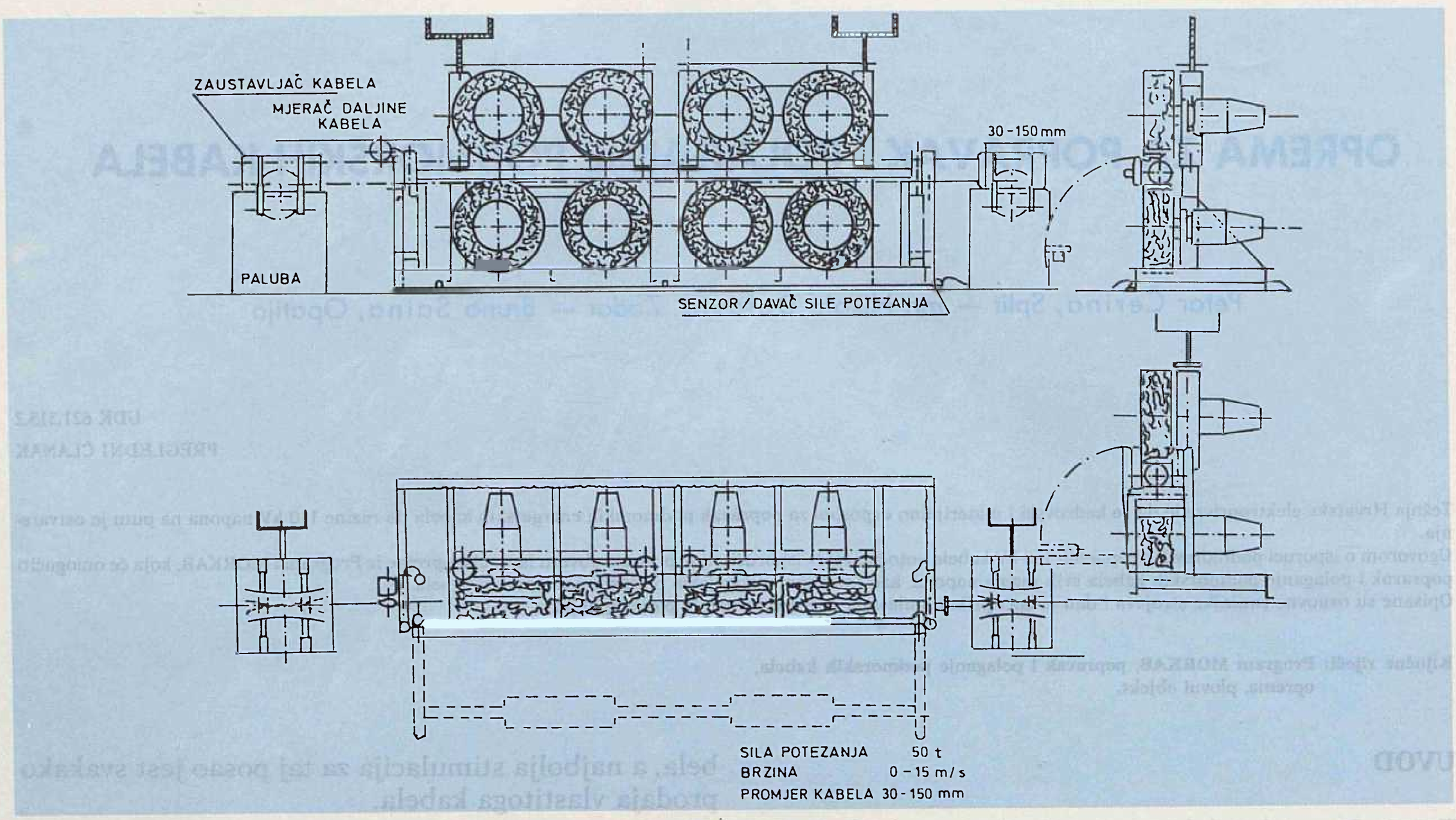
1. Stroj za izvlačenje i polaganje kabela — katerpilar.

   Osnovne tehničke karakteristike stroja jesu:
   - maksimalna sila potezanja 50 kN
   - minimalna sila potezanja približno 0 N
   - brzina između 0 – 15 m/min
   - hidraulični pogon
   - mjerenje dužine kabela i sile potezanja.

   Stroj će biti opremljen automatskim uređajem za namještanje razmaka kotača, što će omogućiti prolaz nejednakog promjera (spojnica).

2. Pomoćni uređaj za istezanje i izravnavanje kabela snage 15 kW na hidraulični pogon. Ovaj uređaj smješten je uz kabelski bubanj što ga pokreće prilikom popravka kabela.

3. Vitlo 25 t i 2 vitla 10 t za manipulaciju s kabelom opremljena sa po 500 m čeličnog užeta. Uz pomoć



Slika 1. Stroj za izvlačenje i polaganje kabela

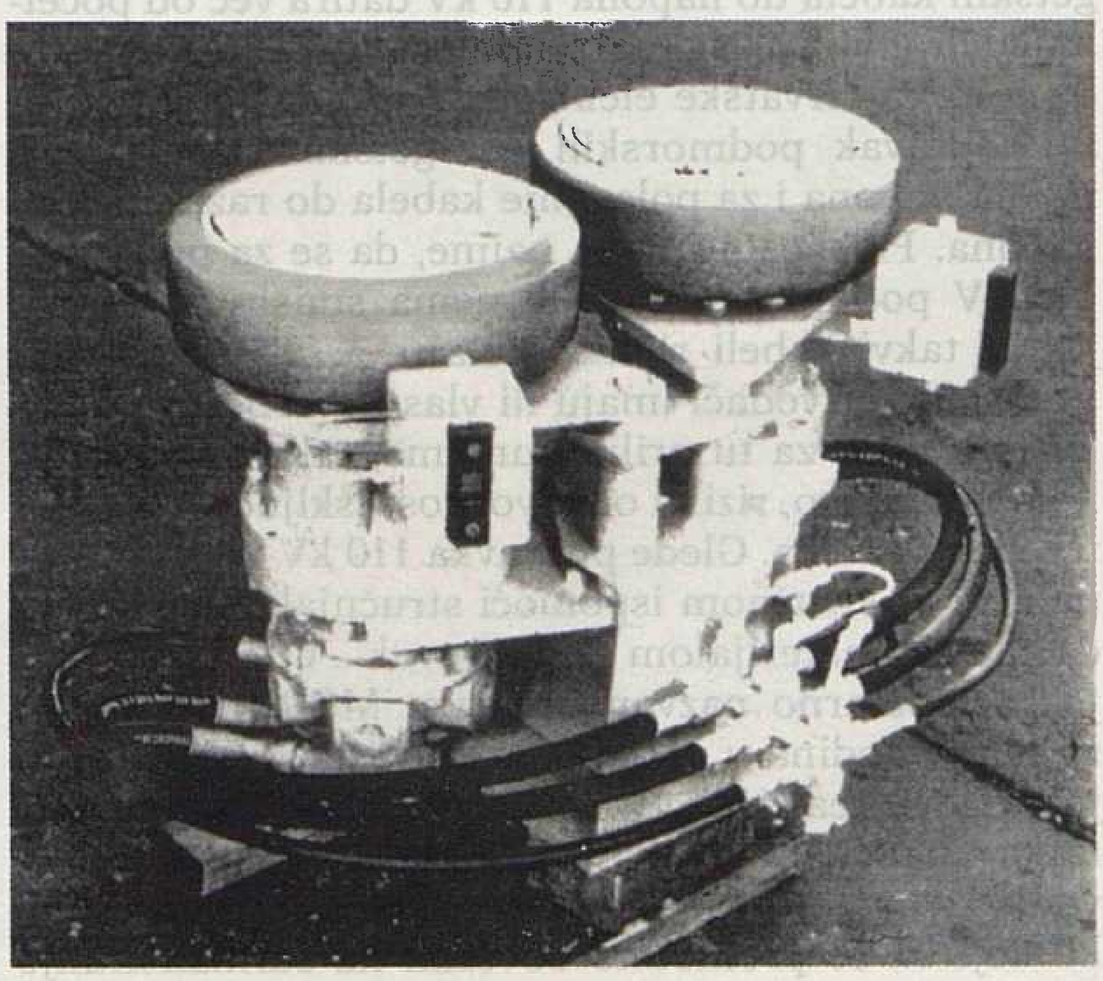
tih vitala kabel se nakon popravka ispušta u more zajedno s polukružnom konstrukcijom koja štiti kabel od nedopuštenih mehaničkih naprezanja.

4. Dizalica kapaciteta 3 t pomoću koje se manipulira sidrima.
5. Specijalna sidra za zahvaćanje kabela u moru (2 kom), te rezanje i podizanje kabela na palubu (1 kom). Sidro za rezanje opremljeno je hidrauličnim uređajem maksimalne sile 500 kN kod pritiska od 200 bara.
6. Dizelski motor:
   — tip Mercedes,
   — snaga 180 kW,
   — broj okretaja 1 800 o/min
7. Uređaj za pronalaženje kabela i mjesta kvara na njima.
8. Kontejneri za smještaj pogonskog dijela (hidraulike, akumulatora, spremnika za ulje i gorivo), te kontejner za daljinsko upravljanje strojeva. Svu opremu će atestirati Bureau Ventas.

U slučaju bilo kojeg kvara na opremi kabel je zaštićen od nekontroliranog ispuštanja u more posebnim uređajem. Svi strojevi i ostala oprema udovoljavaju zahtjevima tzv. »brodske« izvedbe (zaštita od korozijskog djelovanja mora, polijevanja morskom vodom...).

2. PREDSTOJEĆE RADNJE HEP-a NA OSTVARENJU PROGRAMA MORKAB

Ranija koncepcija programa MORKAB predviđala je da se nabavljena oprema drži u skladištu i da se po potrebi montira na za to iznajmljeni plovni objekt,

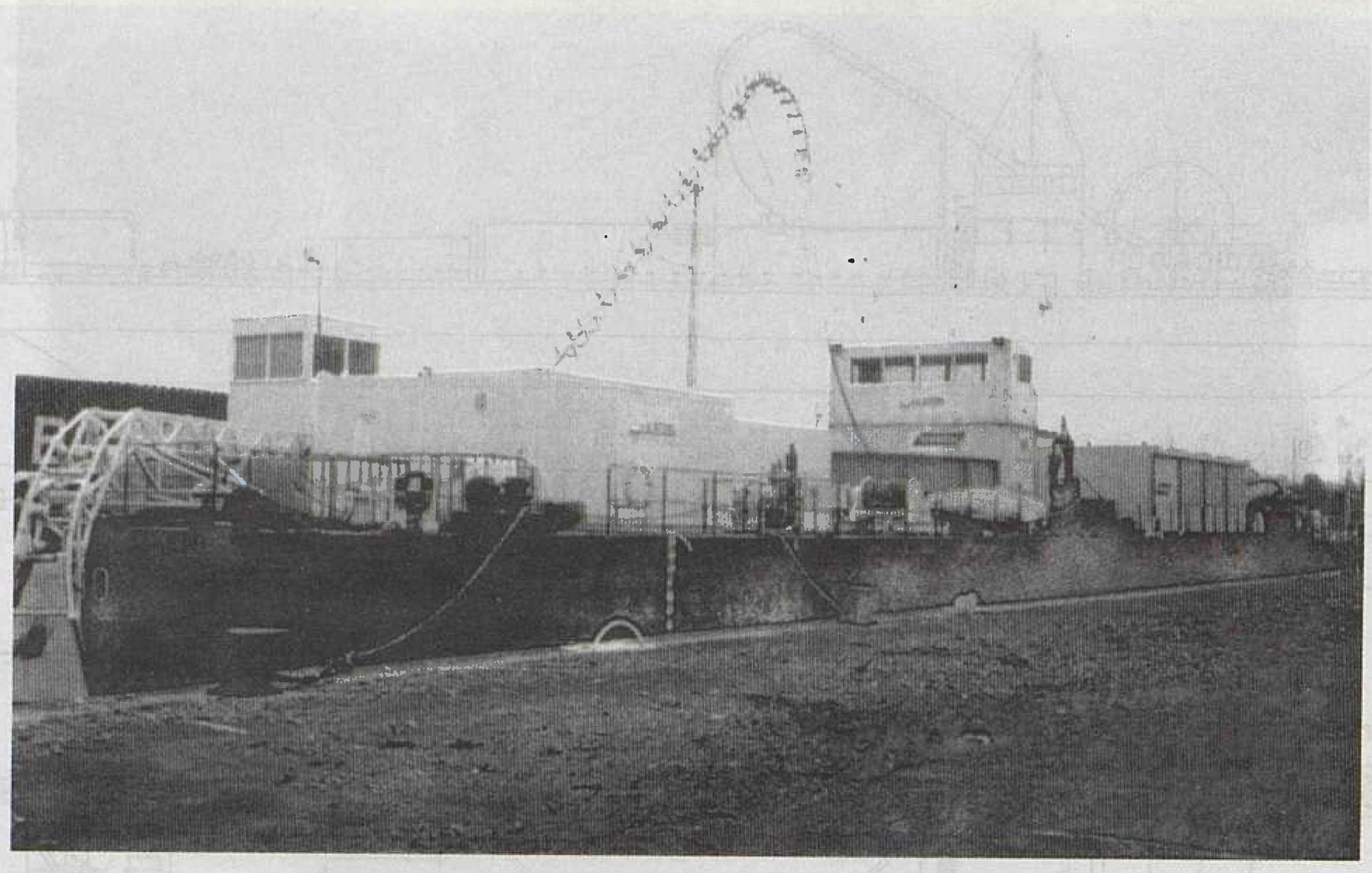


Slika 2. Pomoćni uređaj za istezanje i izravnavanje kabela

koji može imati vlastitu propulziju, a može to biti i barža koja se tegli na mjesto intervencije.

Takvo je razmišljanje bilo logično jer je proizašlo iz činjenice da su podmorski kabeli izuzetno pouzdani (od 1968. do danas nije bilo ni jedne intervencije na podmorskom dijelu 110 kV kabela), a polaganje novih kabela rijedak je događaj, te nema opravdanja kupovati za to posebni brod ili ga trajno unajmiti.

Sadašnje energetske prilike i opredjeljenje naše domovine Hrvatske na svestrani razvoj jadranskih otoka uvjetuje potrebu polaganja novih energetskih i telekomunikacijskih kabela.



Slika 3. Barža s opremom za polaganje kabela

Hrvatska elektroprivreda će nastojati položiti veći broj 35 kV podmorskih kabela na našem Jadranu koristeći se upravo opremom programa MORKAB.

Realno je očekivati i pojavu kvarova na 110 kV podmorskim kabelima zbog starosti (životni vijek se računa na 40 – 50 godina za uljne kabele) i većih strujnih opterećenja kojima će uskoro biti izloženi.

HPT planira polagati velik broj telekomunikacijskih kabela kako magistralnih pravaca i lokalnih povezivanja među otocima.

HEP je nakon polaganja podmorskih kabela »otočne 110 kV veze« i s namjerom da u tijeku slijedeće godine položi oko 100 km podmorskih kabela 35 kV jasno definirao svoje opredjeljenje koncepcije programa MORKAB.

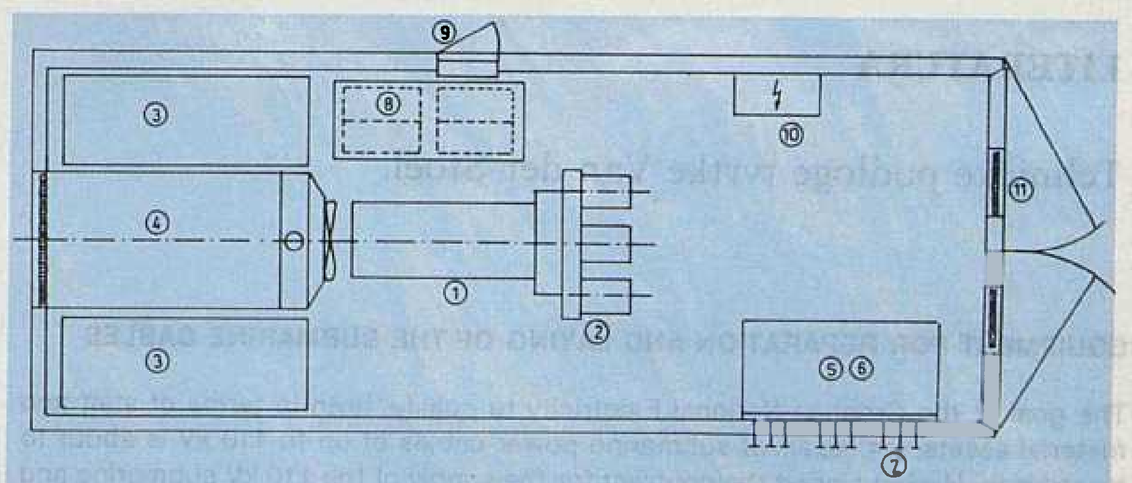
Osnovne naznake te koncepcije jesu:

- HEP ne želi preuzeti održavanje, popravak i polaganje podmorskih kabela
- HEP je zainteresiran za partnera koji je stručno kadrovski i materijalno osposobljen za te poslove
- HEP je sa svoje strane voljan u zajedničku tvrtku prenijeti opremu koja je ugovorena s kabelima »otočne 110 kV veze«
- HEP će sa odabranim partnerom sklopiti dugoročni ugovor (na pr. na 30 godina) kojim će se utvrditi obveze HEP-a odnosno partnera glede održavanja, popravaka i polaganja podmorskih kabela.

U skladu s tim opredjeljenjem HEP je izradio odgovarajući **upit.**

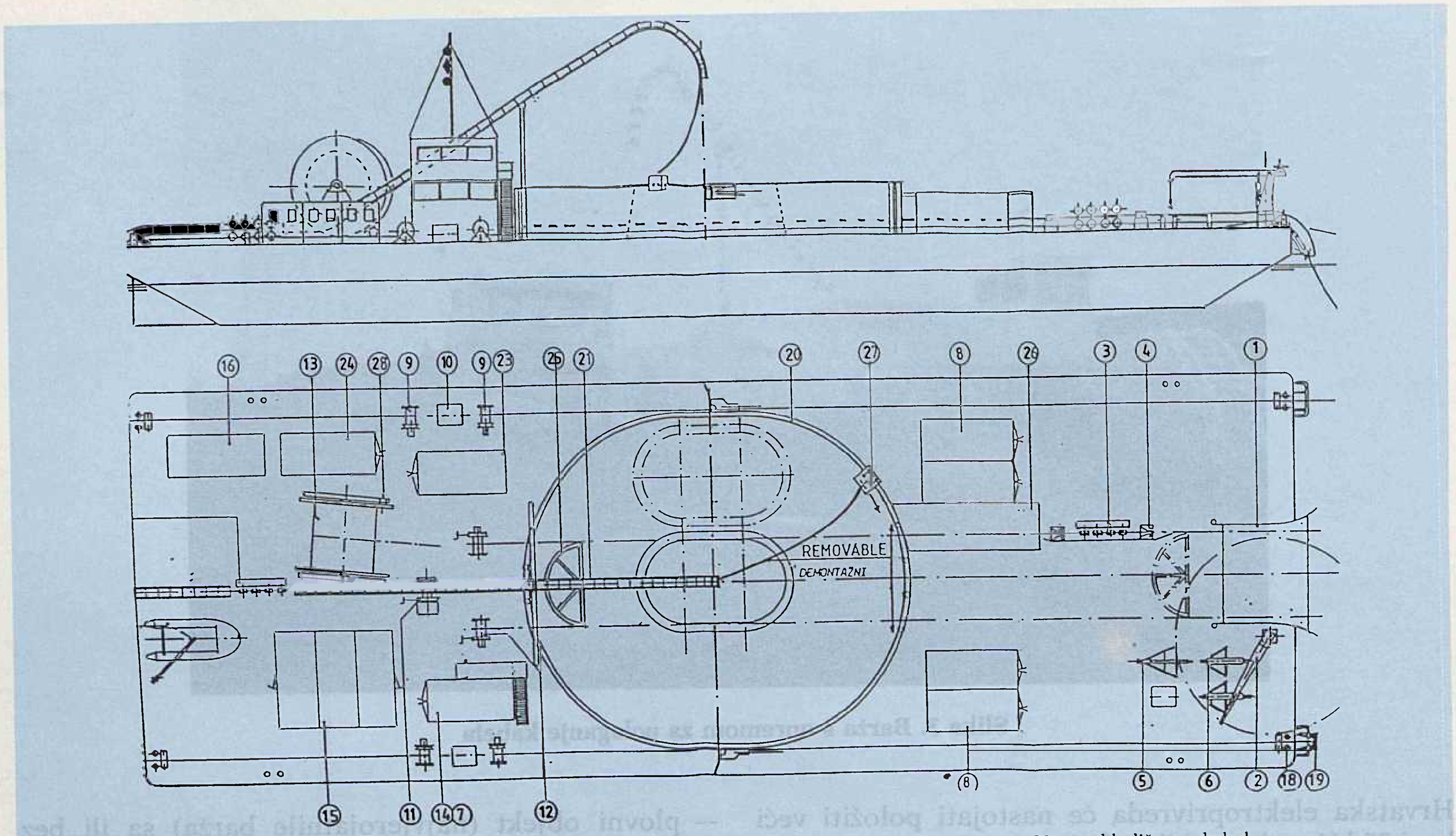
Nakon prispijeća ponuda obavit će se izbor partnera. Od partnera se očekuje da u zajedničku tvrtku uloži opremu koja još nedostaje. Prema našim spoznajama a na osnovi razgovora s raznoraznim svjetskim tvrtkama i razgledavanja opremljenih plovila za polaganje podmorskih kabela riječ je o sljedećoj opremi:

- plovni objekt (najvjerojatnije barža) sa ili bez vlastitog pogona sa slobodnom površinom palube 76 × 24 m
- spremište za kabel (potreban za polaganje) demontažni
- vitla i sidra za povlačenje kabela pri polaganju ako barža nije opremljena vlastitim pogonom
- pogonski stroj za vitla i sidra s odgovarajućom hidraulikom
- kontejneri za smještaj ljudi na moru, radionice, skladišta alata...
- spremnici za gorivo i mazivo
- čelične konstrukcije za vođenje kabela
- električne instalacije
- spremnici pitke vode
- sredstva za navigaciju
- čamac za spašavanje i ostala sredstava za spašavanje ljudi na moru.



1 — dizelski motor tipa Mercedes, 180 kW, 1800 o/min.
2 — mjenjač s 3 montirane hidraulične pumpe
3 — spremnici za gorivo, oko 750 l svaki
4 — vod za rashladni zrak
5 — spremnik za ulje za hidrauliku, oko 250 l
6 — hidraulični ventili itd. ispod spremnika
7 — hidraulični priključci
8 — akumulatorska kutija, 2 komleta po 24 V
9 — upravljačka ploča za dizelski sustav
10 — razvodna kutija upravljačkog sustava
11 — rešetke za ventilaciju

Slika 4. Kontejner s energetskim blokom



1 — kabelska vodilica, jačine 50 t
2 — dizalica od 1.8 t kod 6 m*
3 — katerpilar za kabel*
4 — zaustavljač kabela*
5. — sidro za rezanje*
6. — sidro za stezanje*
7. — upravljačka prostorija*
8. — radionica/spremište
9. — pritezno vitlo 20 t
10. — hidraulika za pritezna vitla
11. — palubno vitlo, 25 t*
12. — palubno vitlo, 10 t*
13. — bubanj za skladištenje kabela
14. — generator 100 kVA + spremnik za gorivo
15. — smještaj, WC, ured, 14 osoba
16. — uređaj za slatku vodu + spremnik za slatku vodu
17. — čamac za spašavanje
18. — valjkasta zjevača
19. — pritezno uže + pričvršćenje sidra u nosačima za sidro
20. — skladište za kabel
21. — konstrukcija za vođenje kabela
22. — ispust kabela
23. — kontejner s diselskim hidr. energetskim blokom*
24. — rezervni spremnik za gorivo
25. — pregib za popravak/polaganje kabela
26. — prostorija za spajanje
27. — kolica za ukrcaj kabela
28. — pomoćni uređaj za istezanje*

* oprema koju isporučuje HEP

Slika 5. Barža za održavanje i polaganje kabela

Plovilo opremljeno takvom opremom moći će obavljati sve poslove na podmorskim kabelima razine napona do 110 kV, telekomunikacijskih kabela i ostalih podmorskih instalacija.
Postoji velika vjerojatnost da će se do polovice sljedeće 1995. godine program MORKAB ostvariti.

LITERATURA

Tehničke podloge tvrtke Van der Stoel.

EQUIPMENT FOR REPARATION AND LAYING OF THE SUBMARINE CABLES

The goal of the Croatian National Electricity to qualify, both in terms of staff and material assets, for repair of submarine power cables of up to 110 kV is about to be realized. Having signed the contract for the supply of the 110 kV submarine and mainland cables within the »Island Connection«, the supplier undertook the obligation to supply the MORKAB Program equipment, which will allow that submarine cables of any voltage level, as vell as telecommunication optical submarine cables, can be laid and repaired.
Basic characteristics of machinery are described and a general layout of the equipment on board of the vessel is given.

DIE AUSRÜSTUNG ZUM REPARIEREN UND VERLEGEN DER UNTERSEEKABEL

Das Bestreben der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft«, sich fachkraft- und sachmäßig, für die Reparaturen und Verlegungen energetischer Unterseekabel bis zur Spannungsreihe 110 kV zu befähigen, steht im Zuge der Verwirklichung.

Im Liefervertrag der, für die »Verbindung über Inseln« zweier Netzzweige bestimmten Untersee- und Erdverlegungskabel, hat sich der Lieferer verpflichtet, für Untersee-Stromversorgungskabel aller Spannungsreihen und für optische Untersee--Fernmeldekabel die Reparatur- und Verlegungs- Austattung aus dem Programm »MORKAB« mitzuliefern.
Im Artikel sind Maschinengrundkenngrößen angegeben, und die allgemeine Darstellung der Ausrüstungsanordnung am Deck des Spezialseefahrzeuges beschrieben.

Naslov pisaca:

Bruno Šaina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos,
Prp Elektroprijenos Opatija,
51410 Opatija, Hrvatska
Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore, Split
58000 Split, Hrvatska
Mr. Nikola Delavia, dipl. ing.
HEP, DP »Elektra« Zadar,
57000 Zadar, Zvonimirova 8,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1991 – 11 – 08.

U KALIFORNIJI ĆE SE MOĆI BIRATI DOBAVLJAČ ELEKTRIČNE ENERGIJE

U saveznoj državi Kaliforniji (SAD) moći će od 1996. industrijski velepotrošači slobodno birati dobavljača električne energije. To je prijedlog državne nadzorne komisije (PUS) o kojem se treba odlučiti do kraja ove godine. Nakon velepotrošača takvu bi pogodnost od 1998. imala i ostala industrija i privatnici. Već je zakonom iz 1992. omogućen otvoreni pristup električnoj mreži, ali ne i prolaz do krajnjeg potrošača. Kako su cijene električne energije u Kaliforniji oko 50% više od srednje cijene u ostalim saveznim državama SAD, ovoj je mjeri svrha sniženje cijene. Prema tome bi proizvođači električne energije iz drugih država mogli jeftiniju energiju prodavati izravno potrošačima.
Organizacija potrošača, međutim, strahuje da će od nižih cijena imati koristi samo veliki potrošači. Zaštitari okoliša pak misle da će prema novom prijedlogu izostati štednja energije i da će se smanjiti izgledi za daljnji razvoj korištenja obnovljive energije za dobivanje struje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 20

Mrk.

KOOPERACIJA EUROPE I JAPANA

Početkom 1994. počelo je s radom japansko poduzeće za proizvodnju plinskih turbina (JGT), sa sjedištem u Kobeu kraj Osake. To je »Joint — Venture«, poduzeće u kojem su suvlasnici ABB (60%) i Kawasaki-teška industrija KHI (40%). JGT će izvoditi gradnju, montažu, opremanje, servis i testiranje proizvodnja obaju poduzeća. ABB će dati licenciju i svoja iskustva u gradnji plinskih turbina, dok je KHI specijalizirano za parne turbine. Potencijalni kupci su elektroprivreda i industrija jugoistočne Azije i dakako, Japan.
Porast stanovništva Japana (sada 125 milijuna), težnja strožoj zaštiti okoliša i učinkovitosti proizvodnje električne energije traži nove tehnologije. Godine 1993. bila je u Japanu instalirana snaga elektrana 184 000 MW.
Udio nuklearne energije iznosio je 19%, vode 21%, ugljena 30%, plina 22% i nafte 8%. Ukupno je 1993. proizvedeno 785 TWh električne energije, a predviđa se da bi 2002 proizvodnja mogla narasti na 992 TWh.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 20.

Mrk.

UGOVOR PROTIV SMOGA

Njemačko elektroprivredno poduzeće Bayernwerk AG, München i češko savezno elektroprivredno poduzeće CEZ sklopili su ugovor o zaštiti okoliša u pograničnom području. Kako češke elektrane na smeđi ugljen nemaju uređaje za pročišćavanje dimnih plinova, zimi se često pojavljuje smog u sjevernim dijelovima Bavarske. Ugovorom je utvrđeno da u takvom slučaju termoelektrane u sjevernoj Češkoj smanje opterećenje, a nastali manjak energije pokrit će partner iz Njemačke, preko istosmjerne veze Etzenricht — Hradec (vidjeli Energija, god. 41 (1992), br. 5). Ugovorom se predviđa da se na taj način isporučena energija vraća u jednakoj količini.

ETZ, god. 115 (1994), br. 17

Mrk.

SOLARNE ĆELIJE S REKORDNOM ISKORISTIVOSTI

U ovoj je rubrici često pisano o fotovoltaičkim sunčanim ćelijama, a u prošlom broju Energije objavljena su neka najnovija dostignuća na tom području. No evo i novih informacija.
Ćelije s kristalnim silicijem, koji je kao izvorni materijal zastupljen u 80% industrijske proizvodnje, proizvode se trima postupcima.
Czochralski — postupak (ime prema pronalazaču) daje ćelije sa stupnjem iskoristivosti teorijski do 20%, a u industrijskoj proizvodnji do 16%. U Fraunhoferovu Institutu u Freiburgu uspjelo je proizvesti ćelije iskoristivosti 20,7%, a ima izgleda da se postigne 21%. No one još nisu dovoljno stabilne.
Postupkom »Float-zone« (FZ) računa se teorijska iskoristivost od 28%. Rekord je postignut u Kanadi sa 23,5%, a u Europi 22,1%. Postupak je skup, pa takve ćelije dolaze u obzir samo za specijalne svrhe.
Treći se postupak temelji na lijevanju, gdje se dobiva multikristalni silicij. Ćelije su jeftinije od onih koje se proizvode Czochralskim postupkom, no koeficijent iskoristivosti je mnogo niži.
No bez obzira na način proizvodnje, glavni je cilj razvoja fotovoltaičkih sunčanih ćelija sniženje cijene u njima proizvedene električne energije. No osim faktora iskorištenja bitan utjecaj ima cijena materijala, pojednostavnjeni i standardizirani procesi kao povećana proizvodnja.

ETZ, god. 115 (1994), br. 17

Mrk.

NOVI KABEL U STAROJ PLINSKOJ CIJEVI

U plinsku cijev plinovoda koja se više ne koristi uvučena je kabelska zaštitna cijev u koju će se uvući optički telekomunikacijski kabel. Plinska cijev duga 32 km položena je 1960. između mjesta Kalbe i Tormau (Njemačka), ali je od godine 1993. izvan upotrebe. U taj je cjevovod, na odsječku od 800 m, uvučena kabelska zaštitna cijev od polietilena. Uvlačenje nije postignuto pomoću vlačnog užeta, već utiskivanjem komprimiranim zrakom, koji gura u cijevi posebno konstruiran stap. Ovim postupkom, koji je provela tvrtka ABB, nije bilo potrebno kopati novu kabelsku trasu.

ETZ, god. 115 (1994), br. 17

Mrk.

EUROPA KUPUJE OSOBNE KOMPJUTORE

Na ovom mjestu u časopisu Energija, god. 43(1994), br. 4 pisano je o prodaji osobnih kompjutora u svijetu 1993, a ovdje se nadovezuje o njihovoj prodaji u Europi u prvom

kvartalu 1994. Ona je u tom razdoblju veća nego u isto vrijeme 1993. za 17,8%. Prema Wall Street Jornalu i poduzeću za razvoj Dataquest povećanje nije posljedica pojeftinjenja, već porasta u spremnosti investiranja. Prodaja kompjutora osobito se dobro razvila u Švicarskoj (+40,2%), Nizozemskoj (+30,1%) i Danskoj (+25,6%). Njemačko je tržište poraslo za samo 22,1%. Što se pak tiče udjela pojedinih proizvođača na europskom tržištu, opaža se da je Compaq, s udjelom od 12,9%, potisnuo na drugo mjesto IBM, sa 10,5%. Na trećem je mjestu, kao prije, Apple za 6,6%. Udio njemačkih proizvođača odnosno tvrtki Vobis Mikrocomputer AG, Aachen iznosio je 3,8%, a Escom GmbH, Heppenheim 3,3%.
Opremljenost privatnika posebnim kompjutorima u posljednjih se 5 godina podvostručila. Sada 24% domaćinstava ima takvo računalo.

ETZ, god. 115 (1994), br. 18

Mrk.

PROMJENA TEHNOLOGIJE OBOGAĆIVANJA URANA

Francuska tvrtka CEA, koja ima u mjestu Pierrelatte postrojenja za obogaćivanje urana, namjerava u suradnji s organizacijom Cogema, promijeniti tehnologiju prerade. Danas se u postrojenju uran obogaćuje postupkom difuzije, no postupno, do 2005, bio bi zamijenjen tehnologijom razdvajanja izotopa pomoću laserskih zraka. Postupak je posebno pogodan pri preradi urana, a računa se da bi bio upola jeftiniji od dosadašnjega.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 19

Mrk.

JAPAN PLANIRA JEDANAEST NOVIH NUKLEARNIH BLOKOVA

Japansko je Ministarstvo za internacionalnu trgovinu i industriju (Miti) objavilo da će japanska elektroprivreda u sljedeće dvije godine ugovoriti gradnju 11 novih nuklearnih blokova ukupne snage 12 600 MW. U poslovnoj godini 1993. nuklearne su elektrane u Japanu proizvele 31% potrebne električne energije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 19

Mrk.

PAPA IVAN PAVAO II. ZA NUKLEARNU ENERGIJU

Na zasjedanju IAEO Izaslanik Vatikana nadbiskup Donato Squicciarini iznosio je pozitivan stav pape Ivana Pavla II. prema nuklearnoj energiji. Sveta Stolica smatra da je potrebno učiniti sve moguće napore kako bi nuklearna energija bila dostupna svim zemljama za miroljubive potrebe, što osobito vrijedi za zemlje u razvoju. Industrijski razvoj u trećem svijetu bez nuklearne energije nije moguć.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 19

Mrk.

PREDSJEDNIK SAD ZA ŠTEDNJU ENERGIJE

Predsjednik SAD Bill Clinton naglasio je u jednom od svojih nedavnih govora koliko je važna suradnja poduzeća i vlade u pitanju zaštite okoliša. Zdrava privreda i drav okoliš idu rukom pod ruku. Dugoročno gledano jedni bez drugih ne mogu. Kao primjer naveo je svjetiljke koje štede energiju. One su doprinos zaštiti okoliša, a ujedno osiguravaju radna mjesta, jer u svijetu vlada veliko zanimanje za taj proizvod.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 19

Mrk.

SUMPOR IZ TERMOELEKTRANA UKLONJEN

U zapadnom dijelu Njemačke više nema prijelaznih rokova za odsumporavanje. Od travnja 1993. sve termoelektrane ispunjuju stroge propise zaštite okoliša. Gašenjem starih postrojenja smanjena je emisija sumpornog dioksida za još 20%. Ukupna emisija ovog štetnog plina iznosi sada samo 140 000 tona godišnje prema 180 000 tona u 1992. Od početka osamdesetih godina njemačke su termoelektrane ostvarile program odsumporavanja besprimjeran u svijetu. Emisije sumpornog dioksida u 1982. godini iznosila je 1,55 milijuna tona, a 1992. 180 000 tona.
No emisija se također smanjila i u istočnom dijelu zemlje, i to za 9%: Od 1,42 milijuna tona u 1992. na 1,29 milijuna tona u 1993. Uzrok takvom padu su dijelom prestanak rada starih postrojenja, smanjenje proizvodnje električne energije i ugradnja zaštitnih uređaja.
U zapadnom je dijelu Njemačke također smanjena emisija štetnih dušičnih oksida (NO_x). Od godine 1982. do 1992. smanjenje iznosi 76%. Od 740 000 tona na 180 000 tona. Time je udio javne opskrbe u emisiji dušičnog oksida smanjen od 25% na 10%.
U istočnom dijelu Njemačke emisije dušičnih oksida smanjena je od 1990, do 1993. za 22%, odnosno, od 145 000 tona na 113 000 tona. Elektroprivreda se nada da će u drugoj polovici devedesetih godina moći ovu štetnu emisiju dovesti na nivo sličan onome u zapadnom dijelu zemlje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 20

Mrk.

DOPREMA UGLJENA ZA TERMOELEKTRANE ŽELJEZNICOM I BRODOM

Ugljen, u prvome redu kameni, domaći i uvozni, dovozi se do termoelektrana u Njemačkoj željeznicom i brodovima. U 1993. željeznice su prevezle 17,9 milijuna tona domaćeg i 3,2 milijuna tona uvoznog ugljena, a brodovi 15,7 milijuna tona domaćeg i 4,3 milijuna tona uvoznog ugljena. Domaći je ugljen dolazio iz područja Ruhra i Saara, a uvozni iz Južne Afrike, Poljske i SAD.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 20

Mrk.

MIŠLJENJE AMERIKANACA O NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Američki institut za nuklearnu energiju (NEI) utvrdio je da se odnos javnosti prema nuklearnoj energiji posljednjih godina bitno poboljšao. Prema Gallupovoj anketi od veljače 1994. 57% ispitanika izjasnilo se u prilog nuklearnih elektrana, 0,37% ih odbija. Većina, tj. 71%, ih smatra da će nuklearna energija u SAD i u budućnosti imati važnu ulogu u proizvodnji električne energije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 21

Mrk.

POTROŠAK ENERGIJE U PROSJEČNOM KUĆANSTVU ZAPADNOG DIJELA NJEMAČKE

U kućanstvima se najviše energije troši za grijanje prostorija. No zanimljivo je promotriti koliki je postotak ukupne energije koju troši neko kućanstvo za pojedine potrebe. Prema podacima koje je objavio njemački VDEW u rujnu 1994. za prilike 1992, njemačka su kućanstva kao krajnji korisnici, trošili energiju raznih energenata kao loživo ulje, plin, ugljen, toplinu iz toplana, pogonsko gorivo za vozila i električnu energiju. Najveći postotak energije od 49% utrošen je za grijanje prostorija, 35% za auto, 8% za pripremu tople vode, 7% za kućanske aparate, a samo 1% za rasvjetu. Slični podaci za istočni dio Njemačke još nisu raspoloživi.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 21

Mrk.

50 GODINA HIDROSUSTAVA GLOCKNER — KAPRUN

Godine 1944, dakle prije 50 godina, počela je s proizvodnjom električne energije donja stepenica najvećeg austrijskog hidrosustava Glockner–Kaprun. Hidrosustav iskorištava alpske vode iz planinskog masiva Visokih Tura, a elektrane se nalaze u blizini poznatog turističkog mjesta Zellam See. U vrijeme ulaska u pogon prve elektrane drugi svjetski rat još nije završio. Na gradilištu ovog sustava radilo je tada 3 000 radnika, zatvorenika i zarobljenika iz svih europskih država. Završetkom rata radovi su prestali i 1947. ponovno nastavljeni, potpomognuti Marshallovim planom. Sustav je završen 1955. i do danas je proizvedeno 27,65 TWh vršne energije. Sustav ima instaliranu snagu generatora od 330 MW, a crpnu snagu od 130 MW u dvije elektrane u lancu. U gornju stepenicu ugrađene su dvije Franciscove turbine, a elektrana dobiva vodu iz dvaju akumulacijskih jezera (Mooserhoden, 2036 m n.m. Margaritze, 2009 m n.m.). Donja stepenica, koja ima 4 Peltanove turbine, prima vodu iz gornje stepenice i dvaju drugih retenzija (Wasserfallboden, 1672 m n.m., Klammspeicher 847 m n.m.).

Ovaj sustav elektrana ima vrlo važnu ulogu u regulaciji snage u električnoj mreži Austrije i južne Njemačke, odnosno, u jugoistočnom dijelu sustava UCPTE. Služi ponajprije za pokrivanje vrhova opterećenja.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 21

Mrk.

RAZVOJNO ZAOSTAJANJE EU

Europska je unija posljednjih godina zaostala u međunarodnom izvozu industrijskih dobara i tehnološkom natjecanju, objavljuje statistički godišnjak UN. Promatran je vremenski raspon od 1980. do 1990, kad još najnovija recesija nije bila utjecajna, a stanje u polaznoj godini 1980. ocijenjeno je s indeksom 100. Taj je indeks s obzirom na međunarodni izvoz u promatranom vremenu porasao za razvijene industrijske zemlje u prosjeku na 104,9. Sjeverno-američki prosjek iznosi 123,2, a za EU samo 99.

Još je veće zaostajanje Europe u međunarodnom tehnološkom natjecanju. Gledajući pojedine zemlje, SAD su ostvarile indeks 127,6 a Japan 114,8. Od zemalja EU najpovoljniji porast ima Italija sa 104,2, Njemačka 99,6, V. Britanija 98,3, Nizozemska 98,0, Francuska 96,9 i Belgija 93,4.

Elektrizitätswirtschaft, god. 93 (1994), br. 18

Mrk.

PROGRAM ISTRAŽIVANJA NOVIH MATERIJALA

Njemački savezni ministar za unapređenje i tehnologiju izložio je istraživački program »Novi materijali za ključnu tehnologiju 21. stoljeća« — Mateh. Razvoj novih materijala za nove primjene pripada strategijski značajnom području tehnologija njemačkog gospodarstva. Za ta istraživanja predviđeno je godišnje oko 140 milijuna DEM. Projekti predviđaju razvoj materijala za primjenu u području informatike, prometa, energije, medicine i tehnike proizvodnje, kao i primjenu na novim područjima.

U sljedećih 15 godina trebalo bi razviti:

— akumulatorske polimerne baterije energetske gustoće 400 Wh/1
— električne elemente s nelinearnim optičkim efektom trećeg reda
— keramičke turbinske komponente za pogonske temperature preko 1 400° C, koje imaju regenerativne osobine prema pukotinama ili koroziji.

Za dalju budućnost zamišljeni su potpuno novi materijali, kao npr. ugljični nitrid, no to još treba razviti. Zbog čvrste atomske građe ovaj bi materijal mogao biti tvrđi od dijamanta. Osim toga, ako se ostvare predviđena električna svojstava, mogao bi služiti kao osnovni materijal za visokotaemperaturne ili visokooperativne poluvodiče.

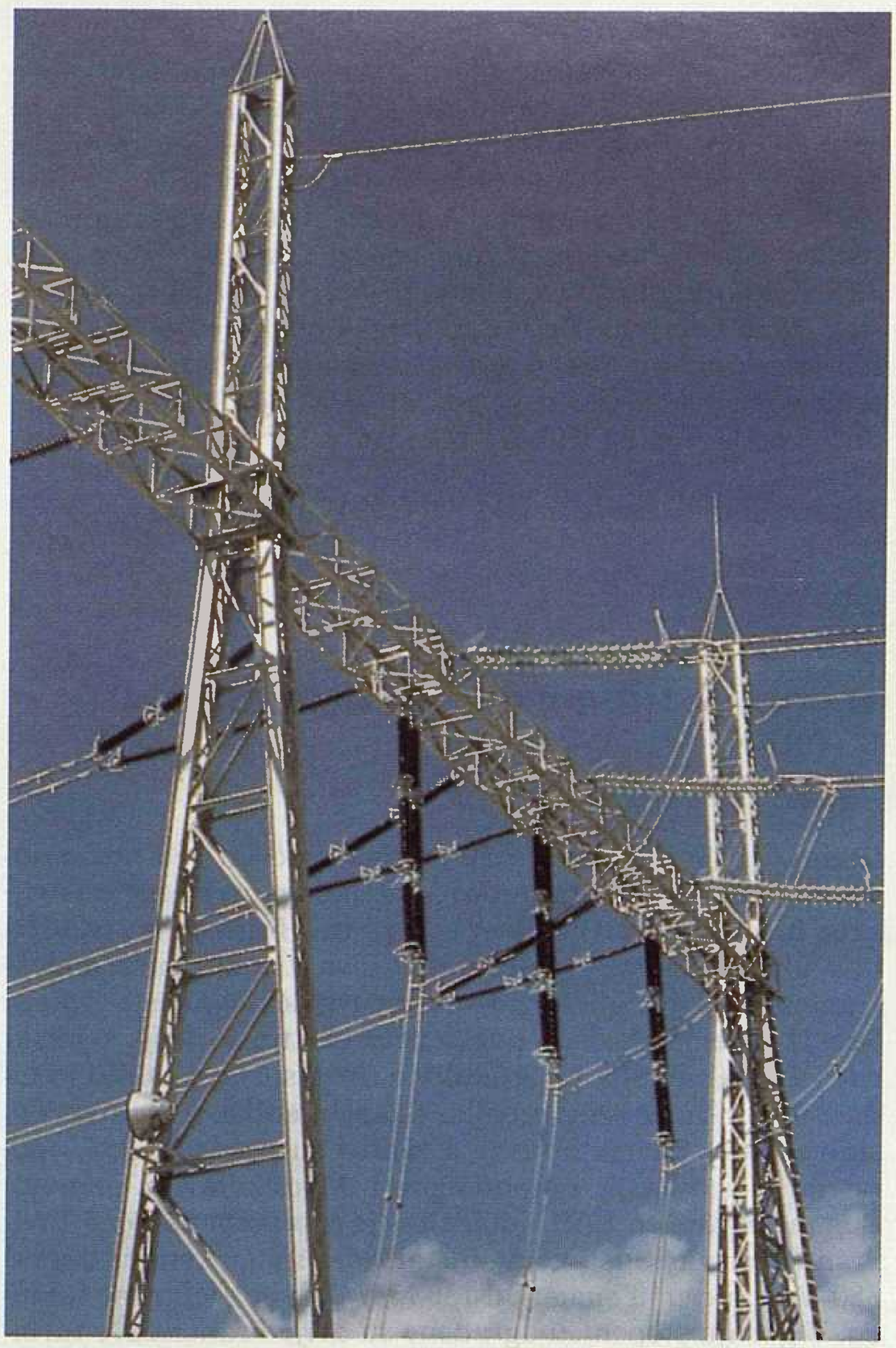
Savezno ministarstvo za unapređenje i tehnologiju neće samo financijski podupirati projekte, već će biti i koordinator.

ETZ, god. 115 (1994), br. 12

Mrk.

DALEKOVOD

Avenija Vukovar 37
10 000 Zagreb
CROATIA
telephone: 385 01 625-111, 511-532, 511-325
telefax: 385 01 530-606
telex: 599 - 21858



ORGANIZACIJSKA STRUKTURA

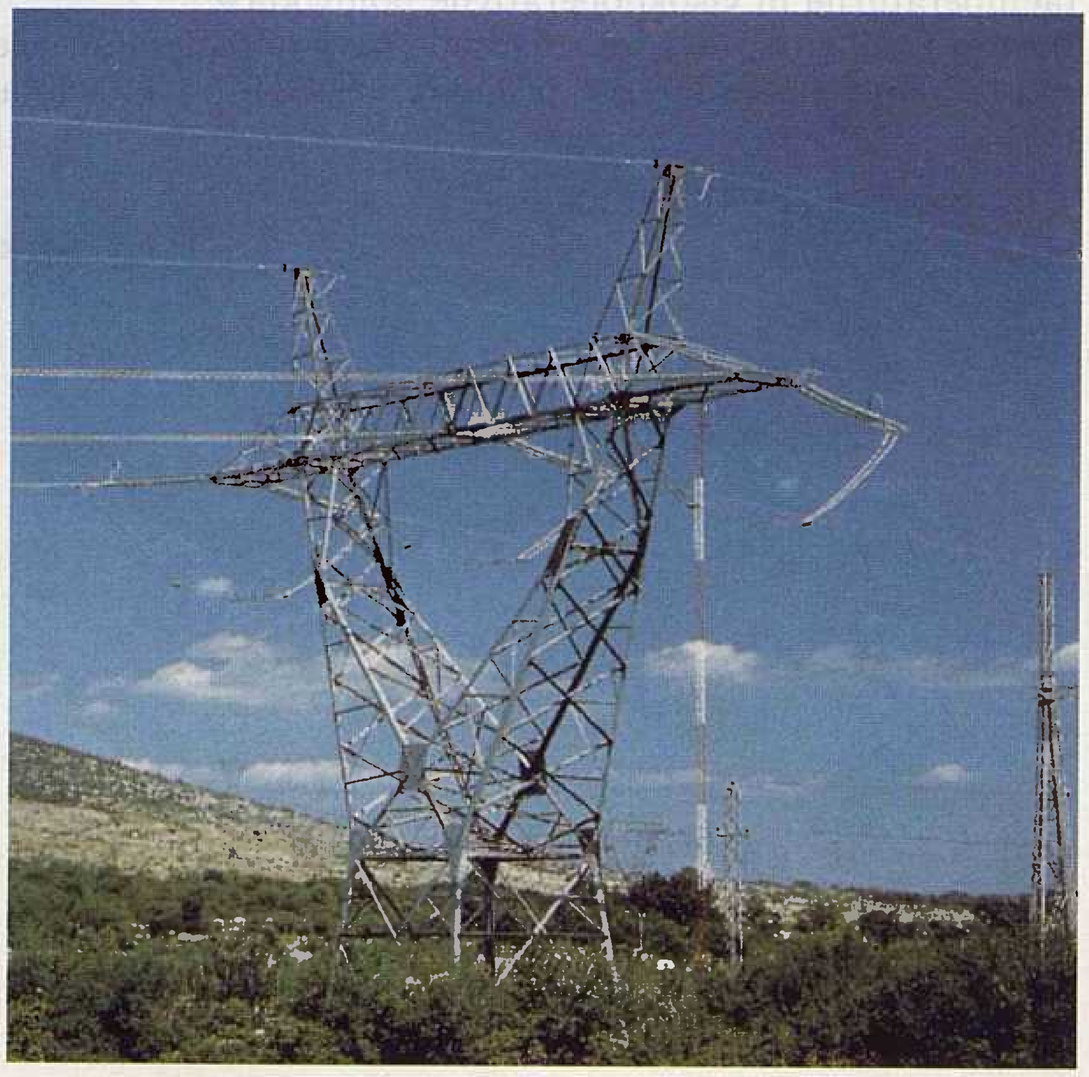
DALEKOVOD je dioničko društvo za inženjering, proizvodnju i gradnju. Za potrebe svog poslovanja utemeljio je:
- Tvrtku DALCOM sa sjedištem u FREILASSINGU - Njemačka
- Tvrtku DALEN sa sjedištem u LJUBLJANI - Slovenija DALCOM I DALEN rade samostalno, ali s ograničenom odgovornošću.

Dioničkim društvom DALEKOVODA upravlja Skupština dioničara posredstvom odbora i direktora Društva.
DALEKOVOD je jedinstveni poslovni sustav sa trima većim organizacijskim dijelovima:
- Projektiranje
- Proizvodnja
- Gradnja

Za prateće funkcije poslovnog sustava imamo:
- Sektor vanjske trgovine
- Sektor informatike
- Sektor računovodstva i financija
- Sektor pravnih, općih i kadrovskih poslova.

STRUKTURA VLASNIŠTVA

Od ukupnog broja 127.434 dionica, vlasnici su:
- fizičke osobe 18.731 dionica (14,7%)
- Hrvatski fond za razvoj 72.460 dionica (56,9%)
- Republički fond MIO-radnika 25.373 dionica (19,9%)
- Republički fond MIO-poljop. 10.870 dionica (8,5%)



STRUKTURA POSLOVNIH PODRUČJA

U sklopu svoje djelatnosti DALEKOVOD projektira, gradi, montira i proizvodi:
- distribucijske mreže i vodove napona 0,4 - 500 kV
- trafostanice i rasklopna postrojenja napona 0.4 - 500 kV
- kontaktne mreže za elektrovuču
- polaganje podzemnih i podmorskih energetskih i PTT kabela
- rasvjetu prometnica, športskih i drugih objekata
- portale i nosače aparata za energetske i prometne objekte
- zaštitne i sigurnosne ograde, portale-nosače za prometnu signalizaciju i putokaze na svim prometnicama i autocestama
- čelično-rešetkaste i limene stupove za mreže i vodove napona 0,4 - 400 kV, PTT vodove i kontaktnu mrežu
- ovjesnu i spojnu opremu za mreže, vodove, trafostanice i kontaktnu mrežu
- rasvjetne, reflektorske, antenske i televizijske stupove
- specijalna rješenja za elektroprijenosne i prometne objekte, alate i indukcijske uređaje.

Za sve te djelatnosti, DALEKOVOD ima poznate i priznate dugogodišnje referencije o brzoj i kvalitetnoj gradnji kao i kvaliteti i isporučene opreme. DALEKOVOD vrlo uspješno rješava i udovoljava svim zahtjevima projektne odnosno tenderske dokumentacije na domaćem i inozemnom tržištu.

KONČAR
ELEKTRONIKA I INFORMATIKA

KONČAR — ELEKTRONIKA I INFORMATIKA d.o.o.
41000 ZAGREB, J. Lončara 3, Croatia
p.b. 6064

Tel. (+385 1) 15 50 11

Fax. (+385 1) 15 65 18

KONČAR — Elektronika i informatika d.o.o. je poduzeće za razvoj, projektiranje, inženjering, proizvodnju, ispitivanje, puštanje u pogon, održavanje, obrazovanje korisnika i servisiranje proizvoda energetske elektronike, procesne informatike, automatske regulacije zaštite i mjerenja.

Isporučilo je za otočnu vezu opremu za:

— procesno upravljanje
— zaštitu trafostanica
— specijalnih mjerenja.

Inače isporučujemo elektroniku za

— električnu vuču: lokomotive, vagone i stabilna postrojenja
— napajanje: istosmjerno i izmjenično
— uzbude generatora (statičke uzbude, analogni i digitalni regulatori)
— elektromotorne pogone istosmjerne i izmjenične
— zaštite (transformatora, generatora, vodova, sabirnica)
— procesno upravljanje
— mjerenje električnih veličina i temperature
— mrežno tonfrekventno upravljanje.



DISTRIBUTIVNA MREŽA
- Sjedište i centralno skladište u Rijeci
- Predstavništva i skladišta u Zagrebu, Slatini i Zadru (ukupno 90 000 m2)
- 60 maloprodajnih jedinica
- Razvijena putničko-predstavnička mreža širom Hrvatske.
- 40 godina iskustva na domaćem i stranom tržištu

DJELATNOST
Veleprodaja, maloprodaja, inžinjering, uvoz, izvoz, konsignacije, zastupstva

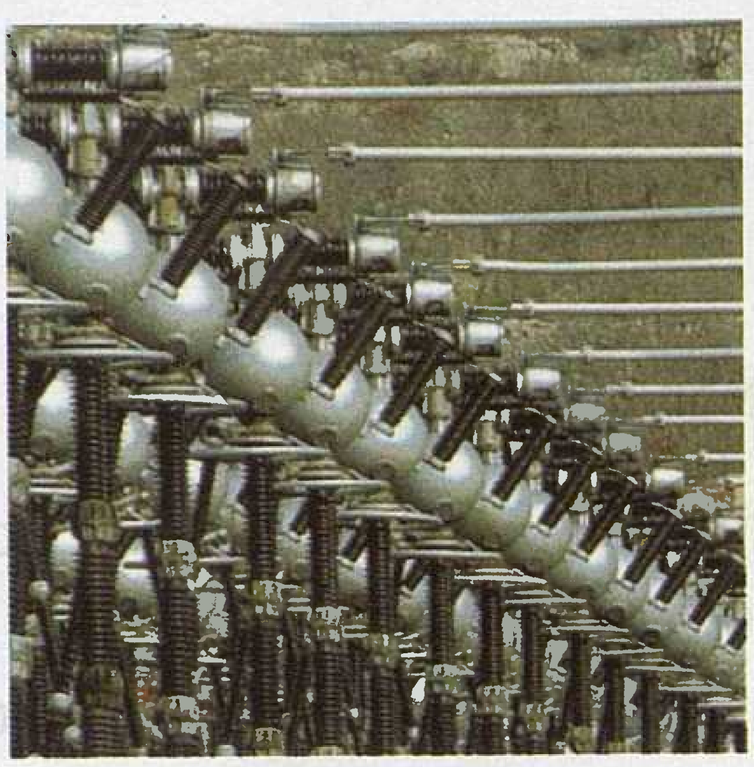


ASORTIMAN
- visokonaponska oprema (transformatori, izolatori, agregati)
- energetski kabeli i pribor - instalacioni materijal
- rasvjeta (dekorativna, vanjska, industrijska, stupovi, žarulje)
- telefonija (kabeli, centrale, aparati, telefaksi i pribor)
- sklopna, mjerna i zaštitna tehnika - informatika, elektronika



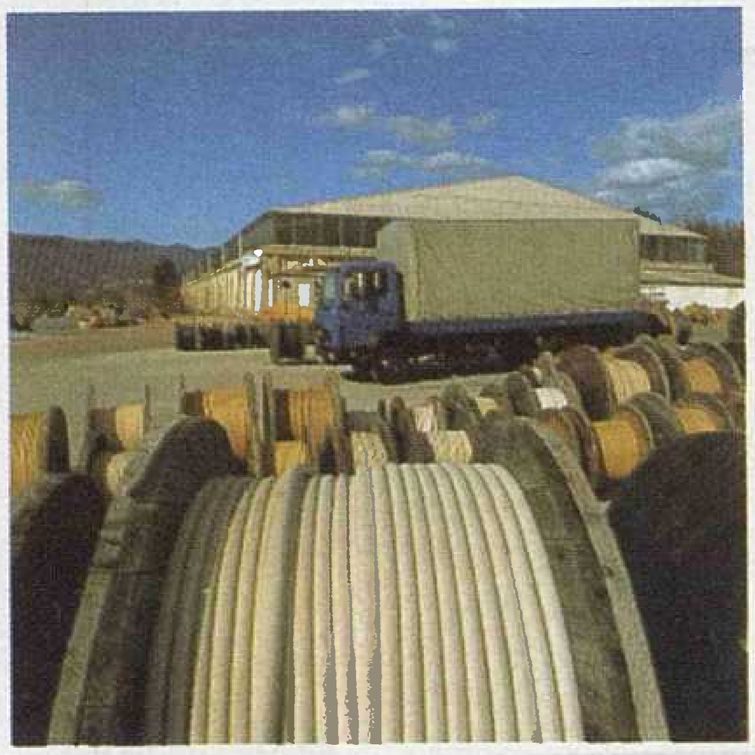
- brodska oprema (kabeli, rasvjeta, instalacioni materijal)
- audio-video, bijela tehnika, mali kućanski aparati
- ugostiteljska i hotelska oprema - grijanje, klimatizacija
- vodoinstalacije (cijevi, pribor) sanitarije, keramika
- električni i ručni alat i pribor - cijevi, profili, vijčana roba

Asortiman obrađuje 10 specijaliziranih poslovnica, a naše dnevne zalihe premašuju 30 000 različitih jedinica proizvoda u prosječnoj vrijednosti većoj od 10 mil DEM..



KONTAKT ADRESE
sjedište: RIJEKA
D. Tucovića 13
Tel.: 051337 777
Fax: 051 213 670, 212 699

PREDSTAVNIŠTVA
ZAGREB
Remetinečka 13
Tel.: 01 520 484, 521 891 652 595
Fax: 01 528 872



SLATINA
V. Nazora 66
Tel.: 033 551 481, 551 263
Fax: 033 553 010

ZADAR
Murvička cesta b.b.
Tel.: 023 24 844
Fax: 023 24 440

ELEKTROMATERIJAL

VAŠ PRIKLJUČAK ZA BUDUĆNOST

»vas partner«

brodomerkur

brodomerkur

brodomerkur

brodomerkur

brodomerkur

brodomerkur

brodomerkur

more

spaja

obale

brodomerkur

poslove

PC "BRODOMERKUR", Poljička cesta 35, 58 000 Split,
tel. 301-111, 524-422 fax: 361-224, 587-121

ELEKTROPROMET

PODUZEĆE ZA UNUTARNJU I VANJSKU TRGOVINU d. d. ZAGREB, Ilica 10

UNUTARNJA TRGOVINA

VELEPRODAJA - MALOPRODAJA
10020 Zagreb, Avenija Dubrovnik 6-6
Tel. centrala: 529-211 Fax 520-821

VANJSKA TRGOVINA

10000 Zagreb, Ilica 10 Tel. 425-440, 425-013
fax 423-7145

INŽENJERING

10020 Zagreb, Avenija Dubrovnik 6-8
Tel. centr. 529-211 Tel. 528-010 fax: 520-821, 528-483

SPECIJALIZIRANE PRODAVAONICE U ZAGREBU:

SPECIJALIZIRANA ROBNA KUĆA

Siget -Trg Senjskih uskoka 1-2	tel. 527-438
Draškovićeva 56	tel. 429-461
Ilica 73	tel. 423-797
Ilica 181	tel. 577-333
Našička 16 -Staglišće	tel. 336-833
Tratinska 56	tel. 335-973

GOSPIĆ - Kaniška 22 Tel. 053 572-616
RIJEKA - Jadranska 2A Tel. 051 212-989
ZADAR - F. Petrića 3 Tel. 023 323-241
NOVALJA o. Pag S.S. Kranjčevića bb
Tel. 053 662-075
OSIJEK - "Elektro" Županijska 16 Tel. 031 24-975



ABB High Voltage Cables

ABB High Voltage Cables je vodeći svjetski proizvođač kabela i to: podmorskih kabela za visokonaponski istosmjerni prijenos (HVDC) kao i XLPE-izoliranih kabela za napone do 420 kV.
Nova tvornica kompanije posjeduje postrojenja za proizvodnju vrlo dugačkih podmorskih kabela, a smještena je u dubokim vodama luke u Karlskroni, na južnoj obali Švedske.
ABB High Voltage Cables ne prodaje samo svoje proizvode širom cijelog svijeta nego preuzima odgovornost za polaganje i montažne radove.

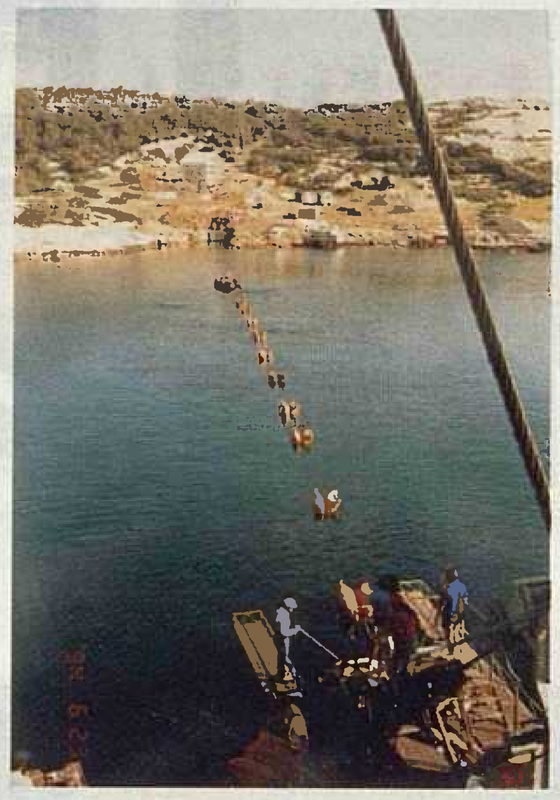


ABB High Voltage Cables razvija, proizvodi i prodaje:

* visokonaponske kabelove 36 - 500 kV
* podmorske i kopnene kabelove
* energetske kabelove10-36 kV
* isporuke kompletnih projekata sa uključenim polaganjem i montažom niskonaponski energetski i upravljački kabeli - izvan Nordijskih zemalja

Projekt hrvatske otočne veze - 94

Kupac: HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA
Podzemni i podmorski kabeli
* 25,2 km
* 110 kV, AC





Baltički kabel - 94

Podmorski kabel između Švedske i Njemačke
* 250 km
* 450 kV, DC
* 600 MW



ABB High Voltage Cables AB
Box 546
S - 371 32 Karlskrona
Sweden

Telephone: +46 455 44400
Telefax: +46 455 44455
Telex: 43246 ABBHVC S

ABB Predstavništvo za Hrvatsku
HR - 41000 ZAGREB, Trg. J.F. Kennedya 7
Telefon: +385 01 235355
Telefax: +385 01 228836

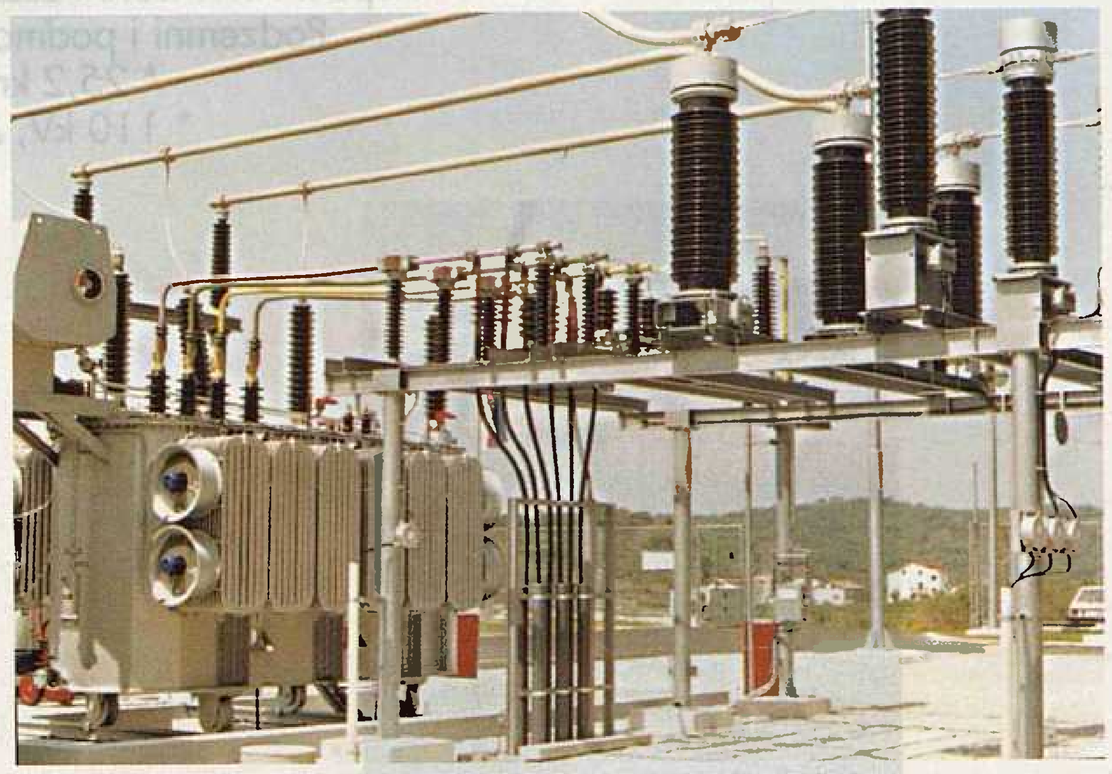
BRODOMATERIJAL

RIJEKA - J. KRAŠA 12
TEL.: 051/211-211 • FAX: 051/32882



"Brodomaterijal" je u okviru svog širokog polja djelatnosti stekao ugled obavljajući i mnoge poslove za Elektroprivredu.
Postao je priznata firma na području građenja trafostanica 110 / 20 kV i 110 / 35 kV po sistemu inženjeringa i isporukom opreme za DV 110 kV i DV 400 kV.
Na regiji Hrvatskog primorja i Istre obavio je sljedeće poslove za Hrvatsku elektroprivredu:
- uvoz podmorskih kabela za Krk - Rab 110 kV,
- isporuka kompletne opreme za TS 110 kV Rovinj - Lošinj - Šijana,
- DV 110 kV Rovinj - Vodnjan - Pula
- isporuka opreme za DV 400 kV TS Melina - TS Tumbri
- isporuka opreme i izgradnja objekta po sistemu ključ u ruke za TS Matulji 110 / 20 kV.

Za sve informacije izvolite se obratiti na poslovnicu Elektromaterijal 146, na telefone:
051/211-211 kućni: 206, 207 i 211
051/213-541, (telefax br. 32-882 ili 213-541, telex br. 24205).





1952

GEODETSKI ZAVOD RIJEKA d.d.

DR. FRANJE KRESNIKA 33
Žiro račun: 33800-601-614

TEL. (051) 512-344
FAX. (051) 513-610

IZVODI GEODETSKE RADOVE:

- osnovni geodetski radovi

- izrada Hrvatske državne karte

- katastarska izmjera zemljišta

- izvadci svih vrsta geodetskih planova klasičnom i fotogrametrijskom metodom

- radovi na izgradnji saobraćajnica i industrijskih objekata

- snimanje batimetrije morskog dna

- snimanje podzemnih i podvodnih instalacija

- digitalni modeli terena

- sofisticirana geodetska oprema za izvođenje svih vrsta geodet. radova, analitički stereokomparatori, totalne mjerne stanice, ehosonderi, programska i hardverska podrška, vlastiti vozni park

- zaposleno 65 djelatnika

