

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

IZDAVAČ – PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

ZA IZDAVAČA

Ivo Čović, dipl. ing.

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije
i informatike

UREĐIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Mr. sc. Branko Grgić, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split –
Adrijano Fišer, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan Kalea, dipl.
ing., HEP Osijek – Damir Karavidović, dipl. ing., HEP Osijek
– mr. sc. Mladen Mandić, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc.
Vladimir Mikuličić, dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko
Malbaša, dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR – EDITORIAL BOARD

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

Urednik – Editor: Zdenka Jelić, prof.

Lektor: Šime Čagalj, prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi
300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo \$ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju")
broj 30101-604-495

Tisak: TIVA – Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

Godište 52 (2003)

Zagreb 2003

Br. 2

SADRŽAJ

- Goić R.: Moguće opcije razvoja tržišta električne energije
u Hrvatskoj (Stručni članak). 93 – 103
- Uran V.: Određivanje najniže cijene pare za proizvodnju
toplinske i električne energije (Stručni članak) 105 – 114
- Majstrovic M. – Majstrovic G. – Bajs D.: Metode za izbor
optimalne veličine i lokacije ugradnje kompenzacijskih
uredaja (Izvorni znanstveni članak). 115 – 125
- Bajs D. – Majstrovic M. – Majstrovic G.: Optimalna veličina
i lokacija ugradnje kompenzacijskih uredaja
u prijenosnoj mreži HEP-a (Stručni članak). 127 – 140
- Dvekar D. – Bajić B. – Bacinger I. – Magić D. – Sabolek J. –
Demirović M.: Potiskivanje vibracija vratila agregata
A HE Dubrava zasnovano na detaljnoj dijagnostici
rotora (Pregledni članak) 141 – 144
- Santica I.: Primjeri manjih zahvata u tehničko-izvedbenom
dijelu distribucijskog sustava HEP-a koji rezultiraju
značajnim materijalnim uštedama (Stručni članak). 145 – 150
- Sabolić D.: Pregled karakteristika šuma na PLC mediju
(Pregledni članak) 151 – 158
- Vijesti iz elektroprivrede i okruženja. 159 – 166
- Iz strane stručne literature. 167 – 172

Fotografije na omotu:

DETALJI HIDROELEKTRANA

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sek-
tor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

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 "pre-sude" 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. Fizi-kalne 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 A4 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 članka 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 pa-piru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevo-dioči.
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 članka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originalnaja 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 svhaćanju, 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 sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorläufige Mitteliung) 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, obzornja 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 radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, profesionalnaja 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 prilagodavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć 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

MOGUĆE OPCIJE RAZVOJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ

Dr. sc. Ranko G o i ć, Zagreb

UDK 621.311.1.203
STRUČNI ČLANAK

Proces restrukturiranja elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj i uvođenje tržišnih odnosa praktički je započeo stupanjem na snagu paketa novih energetske zakona početkom 2002. godine. Različite opcije operativne implementacije ovog procesa u Hrvatskoj, kao i moguće posljedice na rad elektroenergetskog sustava nalažu vrlo pažljivo promišljanje i argumentirani odabir modela koji će biti primjereni zatečenim okolnostima u elektroenergetskom sektoru, te širim gospodarskim i razvojnim interesima. U ovom članku dano je jedno sažeto autorsko viđenje i ocjena trenutne situacije u Hrvatskoj, te mogući pravci daljnjeg razvoja.

Ključne riječi: tržište električne energije, restrukturiranje, prijenosna mreža.

1. UVOD

Osnovna ideja liberalizacije tržišta električne energije može se sažeti u sljedećem: djelatnosti prijenosa i distribucije električne energije (prirodni monopoli usluga), mogu se potpuno odvojiti od djelatnosti proizvodnje i opskrbe (prodaja proizvoda – električne energije na tržištu). Liberalizacija tržišta električne energije u monopolističkim sustavima temelji se na restrukturiranju elektroprivrednih poduzeća i elektroenergetskog sektora u cjelini, pri čemu ključnu ulogu imaju odgovori na sljedeća pitanja:

- kakvu varijantu tržišta odabrati, u kojem opsegu i kakvom dinamikom ga otvarati?
- kako definirati pravila djelovanja tržišta, pravila upravljanja sustavom i mrežom?
- kakvi će biti vlasnički odnosi i kako će se izvesti razdvajanje elektroprivrednih djelatnosti (unbundling)?
- na koji način će se riješiti prijelazni problemi kao što su naslijeđeni troškovi, obveza javne usluge, odnosno opskrba tarifnih kupaca, kako tretirati povlaštene potrošače, kako amortizirati eventualne socijalne posljedice itd.

Postojeća zapadnoeuropska praksa pokazuje veliku raznolikost u načinu implementacije osnovnih zahtjeva Direktive EC 96/92 za uspostavu tržišta električne energije, a indikativni su brojni primjeri kako zapadnoeuropske zemlje način restrukturiranja i uspostave tržišta električne energije prilagođavaju vlastitim specifičnim uvjetima, te širim gospodarskim interesima. Pri tome valja istaknuti općeprihvaćeno mišljenje da se u globalu ovi procesi odvijaju uspješno, te uglavnom brže

u odnosu na zadane rokove (otvaranja tržišta). S druge strane, proces liberalizacije elektroenergetskog sektora u tranzicijskim zemljama odvija se u vrlo specifičnim uvjetima. Naslijeđena struktura i način rada državno-društvenih elektroprivrednih poduzeća generira socijalne probleme vezane za naslijeđene ne-realne cijene električne energije i višak zaposlenih, a dodatni veliki problem je što se uz proces liberalizacije više-manje istodobno provodi i proces privatizacije.

Slična situacija je i u Hrvatskoj, gdje se od krupnijih problema može izdvojiti dugogodišnje podinvestiranje u elektroenergetsku opremu, neriješen status HEP-ovih ulaganja u elektrane izvan Hrvatske, problemi s naplatom i gubicima itd. U takvim uvjetima je početkom 2002. godine stupio na snagu Zakon o tržištu električne energije i ostali zakoni iz energetske paketa, kojima su definirani novi zakonski okviri u elektroenergetskom sektoru, a za koje se vrlo brzo pokazalo kako su s jedne strane nedorečeni zbog brojnih nedostajućih podzakonskih akata i odgovarajuće tehničke regulative, a s druge strane možda i preambiciozni, odnosno neusklađeni s realnim mogućnostima postojećeg elektroenergetskog i šireg gospodarskog društvenog okruženja, prvenstveno u smislu predviđene dinamike implementacije.

Restrukturiranje HEP-a, kao jedan od osnovnih preuvjeta za primjenu navedenih zakona, počelo se provoditi tijekom 2002. godine, ali relativno sporo i u ograničenom opsegu. Umjesto traženja odgovora na pitanje da li odgovornost za takvu situaciju više leži na HEP-u ili nadležnoj državnoj upravi, daleko je primjerenije postaviti sljedeće pitanje: zašto prvo nije izrađen, te u široj stručnoj raspravi usuglašen i prihvaćen jedan cjeloviti srednjoročni plan (na kon-

cepcijskoj, ali i na osnovnoj operativnoj razini) razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj i elektroenergetskog sektora u cjelini? Dalje u ovom tekstu dan je osobni autorski pogled na navedenu problematiku, uz neke konkretne prijedloge mogućih opcija daljnjeg razvoja.

2. OSNOVNI MODELI ORGANIZACIJE ELEKTROPRIVREDNIH DJELATNOSTI

Tržište električne energije nužno nameće potrebu za restrukturiranjem organizacije i načina rada vertikalno integriranih elektroprivrednih poduzeća koja su do početka devedesetih u većini zemalja u svijetu imali monopol nad svim elektroprivrednim djelatnostima (ili većem dijelu, npr. proizvodnjom i prijenosom). U sljedećoj tablici prikazani su osnovni organizacijski oblici koji omogućavaju različite razine tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru.

Tablica 1. Oblici organizacije elektroprivrednih djelatnosti

Model	Monopol	Jedan kupac (single buyer)	Veletržište (wholesale competition)	Maloprodaja (retail competition)
Opis	monopol na svim razinama	isključivo prema jedinom kupcu	konkurencija u proizvodnji mogućnosti izbora distributera i velikih potrošača	mogućnost izbora svih kategorija potrošača
konkurencija u proizvodnji?	ne	da/djelomično	da	da
distributeri biraju?	ne	ne	ne da	da
potrošači biraju?	ne	ne	djelomično	da

Hrvatska danas prema Zakonu o tržištu električne energije

Budući da hrvatski Zakon o tržištu električne energije u globalu definira jednu varijantu veletržišnog modela, istome će biti posvećen najveći dio daljnjeg teksta: s jedne strane opće karakteristike ovog modela, te s druge strane, mogućnost primjene u okviru specifičnosti hrvatskog EES-a.

2.1. Osnovne karakteristike i podvarijante veletržišnog modela

Osnovne karakteristike veletržišnog modela (wholesale competition) mogu se sažeti u sljedećem:

1. Radi se o djelomično otvorenom tržištu, gdje samo ograničen broj potrošača, definiranih najčešće veličinom godišnje potrošnje, imaju slobodan izbor dobavljača električne energije, dok se ostali potrošači nalaze u sustavu javne usluge, tj. opskrbljuju

ih jedan opskrbljivač – nositelj javne usluge. Proizvođači samostalno ugovaraju način isporuke i cijenu električne energije s povlaštenim potrošačima, a tarifne potrošače opskrbljuju prema tarifnom sustavu definiranom, odnosno odobrenom od strane nekog nezavisnog regulatornog tijela.

2. Prijelaz u ovakav model nužno zahtijeva znatne tranzicijske troškove, te dodatne troškove administracije pristupa i korištenja prijenosne i dijelom distributivne mreže.
3. Troškovi rizika cijena električne energije (troškovi proizvodnje i/ili cijena na tržištu) prenose se većim dijelom na proizvođače i povlaštene potrošače, za razliku od netržišnog sustava gdje rizike snose isključivo potrošači. Teoretski, proizvođači i potrošači proizvoda (u ovom slučaju električne energije) bi trebali bolje upravljati rizicima u odnosu na varijantu s državnom regulativom. To dakako ne

mora značiti da će se troškovi rizika stvarno smanjiti, budući da se cijena rizika nadoknađuje povećanjem troškova proizvodnje električne energije.

4. U odnosu na monopolnu varijantu organizacije elektroprivrednih djelatnosti, veletržišni model smanjuje političke utjecaje, iako ne u cijelosti. Osnovna pretpostavka za to je svakako dobro definiran zakonodavni okvir i tehnička regulativa djelovanja tržišta električne energije.

5. Veletržišni model je uvijek prethodnica modelu potpuno otvorenog tržišta (retail competition) u kojemu je svim potrošačima omogućen slobodan odabir isporučitelja električne energije.

Osnovne podvarijante veletržišnog modela s obzirom na način organizacije tržišta električne energije jesu bilateralno tržište, pool sistem, te njihove različite mješavine. Posebno se može govoriti o tzv. pomoćnim tržištima, tj. tržištu pomoćnih usluga (ancillary services market) i tržištu odstupanja (balancing market).

2.1.1. Bilateralno tržište

Čisto bilateralno tržište električne energije podrazumijeva da tržišni mehanizmi, temeljeni na bilateralnim ugovorima proizvođača i trading poduzeća s jedne strane, te potrošača s druge strane, dovode do realne

tržišne cijene električne energije. Pri tome su mogući sljedeći tržišni mehanizmi:

- Spot tržište (spot market i power exchange) na kojemu se ugovara trenutna isporuka električne energije, na osnovi poznate fiksne cijene za određenu količinu električne energije.
- Tržište dan unaprijed (day ahead market), na sličan način kao i spot tržište, ali za isporuku električne energije sljedećeg dana.
- Tzv. forward i future ugovori, kojima se ugovara buduća isporuka električne energije, s fiksnom ili varijabilnom cijenom koja može biti vezana za neki tržišni indeks. Radi se najčešće o čistom financijskom tržištu gdje isporučitelj električne energije nije unaprijed poznat.
- PPA ugovori kojima konkretni dobavljač i kupac ugovaraju vrijeme, količinu i cijenu električne energije.
- Wholesale ugovori u kojima se definira vrijeme, količina i cijena električne energije, ali ne i izvor (proizvođač, dobavljač).

2.1.2. Pool sistem

U pool sistemu tržišta električne energije, cijena i količina energije koju isporučuje pojedini proizvođač formira se na osnovi centraliziranog optimizacijskog procesa temeljenog na marginalnim troškovima ponude i potražnje, a kojeg izvodi nezavisna institucija. Zaštita od varijacija cijena na tržištu realizira se kratkoročnim i dugoročnim financijskim bilateralnim ugovorima (future, options, swap), a najčešće na osnovi CFD principa (contract for difference).

Osnovne varijante pool sistema su:

- Obvezatni pool (mandatory pool), u kojem se sva trgovina električnom energijom mora realizirati preko pool-a.
- Dobrovoljni pool (voluntary pool), u kojem je dozvoljeno i bilateralno tržište, tj. kupoprodaja električne energije preko pool-a nije obvezna za sve sudionike na tržištu električne energije.

Pool sistem su prihvatile uglavnom anglosaksonske zemlje, a prevladava druga varijanta (dobrovoljni pool). Obvezatni pool sistem godinama nameće brojna pitanja vezana za tržišnu efikasnost istog. Interesantan je podatak da je obvezatni pool u Velikoj Britaniji (Engleska i Wells), koji je 90-tih godina redovito apostrofiran kao primjer uzorno organiziranog tržišta električne energije, nedavno ukinut, a uveden je novi sustav temeljen na modelu bilateralnog tržišta (NETA – New Electricity Trading Arrangements).

2.1.3. Pomoćna tržišta

Pomoćne systemske usluge, u što spadaju proizvodnja jalove snage, regulacija frekvencije, rezerva snage, crni start itd., mogu se jednim dijelom ili u cijelosti također

prepustiti tržišnim mehanizmima na sličan način kao i osnovno tržište električne energije.

Tržište odstupanja (balancing market) vrlo je bitan dio tržišta koje je teško realizirati na sustavu bilateralnih ugovora. Naime, za uredan rad EES-a nužna je regulacija proizvodnje koja će pokriti (u plusu ili minusu) odstupanja potrošnje električne energije u realnom vremenu od ugovorene nabave. Odgovarajuću regulacijsku energiju moguće je osigurati putem organiziranog tržišta električne energije (tržište odstupanja), ali su moguće i druge varijante ukoliko nema dovoljan broj proizvođača koji mogu osigurati regulacijsku energiju.

Pitanje garancije snage, odnosno naknade za snagu može se, ali i ne mora, pod određenim uvjetima smatrati pomoćnim tržištem. U pojedinim tržištima električne energije ono uopće ne figurira kao posebna tržišna kategorija, a s druge strane u nekim tržišnim sustavima (pool) udio snage u ukupnim troškovima za električnu energiju je vrlo značajan. Cijena snage se u takvim slučajevima obično računa na osnovi standardnog matematičkog modela za proračun vjerojatnosti neisporuke snage (LOLP – Loss of load probability), računatog na osnovi poznate ukupne potražnje i ponuđenih proizvodnih kapaciteta na tržištu, te vrijednosti neisporučene električne energije, obično indeksno vezane za GDP.

2.1.4. Otvorenost tržišta električne energije u Zapadnoj Europi

Otvorenost tržišta električne energije u Zapadnoj Europi [1] prikazana je u tablici 2, kroz sljedeće pokazatelje:

- Deklarirani nivo otvorenosti tržišta.
- Planirana godina potpunog otvaranja tržišta.
- Način izdvajanja operatora prijenosne mreže (TSO):
 - vlasnički odvojen od ostalih elektroprivrednih djelatnosti (O – ownership),
 - pravno odvojen kao poseban entitet u kojemu ostali sudionici na tržištu električne energije mogu imati udjele (L – Legal),
 - odvojen na razini upravljanja/menadžmenta od poduzeća koje obavlja ostale elektroprivredne djelatnosti (M – Management).
- Način regulacije tržišta:
 - regulirani pristup trećoj strani (rTPA - regulated third party access) kontroliran od strane nezavisnog regulatornog tijela, u ex-ante i ex-post varijanti,
 - pristup trećoj strani na osnovi ugovornih odnosa zainteresiranih subjekata na tržištu električne energije (nTPA - negotiated third party access).
- Razina cijena korištenja prijenosne mreže.
- Postojanje tržišta odstupanja (balancing market).
- Tržišni udio tri najveća proizvođača.

Tablica 2. Osnovni pokazatelji otvorenosti tržišta u Zapadnoj Europi (stanje u prosincu 2001.)

	Declared market opening	Full opening date	Unbundling of TSO ¹	Regulator	Network tariffs	Balancing market	Biggest three generator share (%)
Austria	100%	2001	L	ex-ante	high	Y	68
Belgium	35%	2007	L	ex-ante	medium	N	97 (2)
Denmark	90%	2003	L	ex-post	low	Y	75 (2)
Finland	100%	1997	O	ex-post	low	Y	54
France	30%	none	M ^A	ex-ante	medium	planned	98 (1)
Germany	100%	1999	M	nTPA	high	only 2/6 TSO	63
Greece	30%	none	M	ex-ante	n.a.	N	100 (1)
Ireland	30%	2005	L	ex-ante	medium	N	97 (1)
Italy	45%	none	L	ex-ante	medium	planned	79 (2)
Neth	33%	2003	L	ex-ante	medium	Y	64
Portugal	30%	none	L	ex-ante	high	N	85
Spain	45%	2003	L	ex-ante	high	Y	79
Sweden	100%	1998	O	ex-post	low	Y	77
UK	100%	1998	O	ex-ante	low	Y	44

Napomena: Crvenom bojom označene su kategorije u pojedinim zemljama koje prema nalazima EU ne pridonose razvoju internog tržišta električne energije, zelenom bojom je označeno suprotno, a bijelom bojom neutralna situacija.

2.2. Prijenosna mreža u (djelomično) otvorenom tržištu električne energije

Prijenosna mreža, a u potpuno otvorenom tržištu i distributivna mreža, predstavlja osnovnu fizičku infrastrukturu koja omogućava djelovanje tržišta električne energije. Zbog toga od izvantržišnih segmenata, prije-

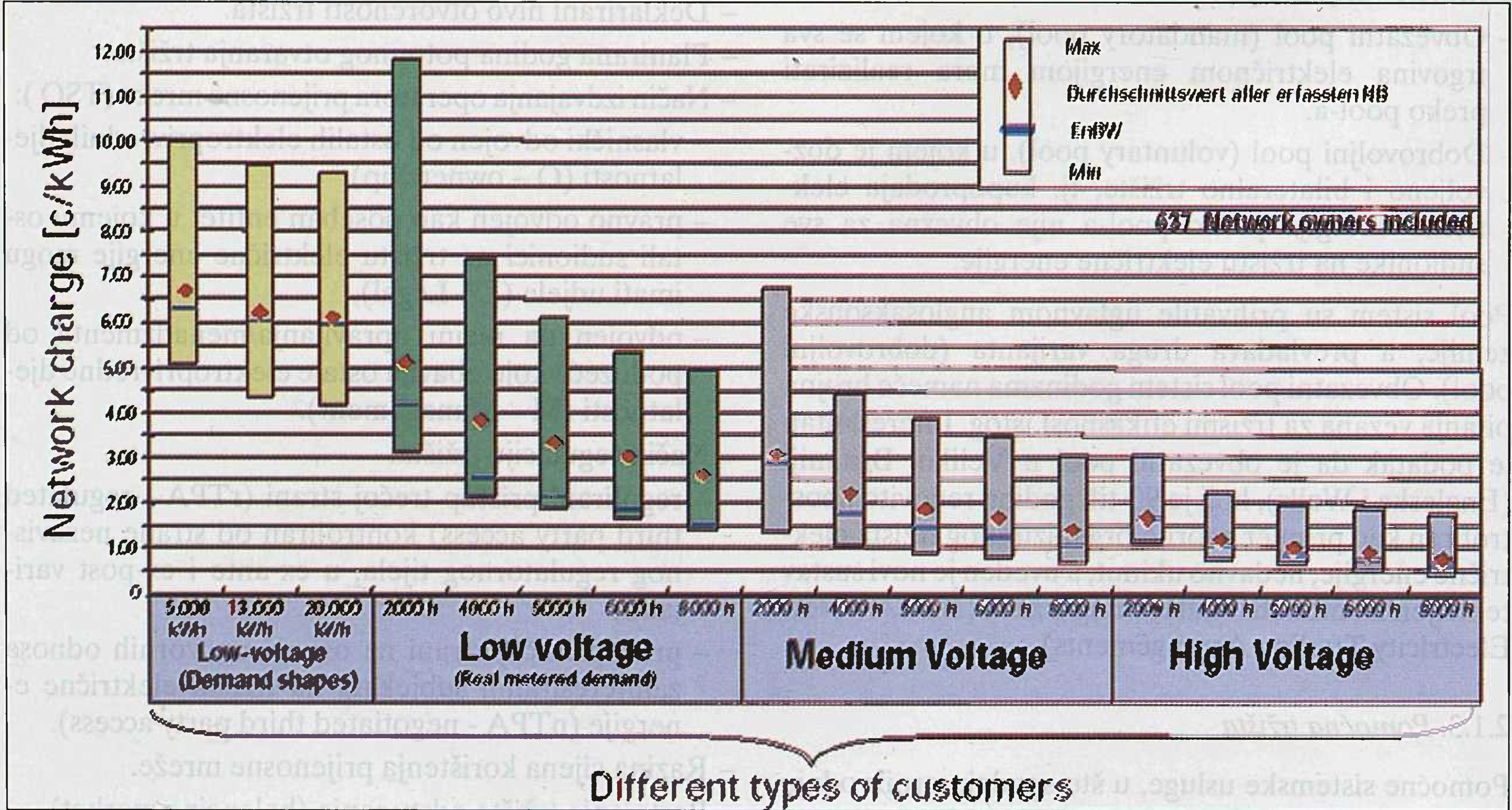
nosna mreža ima jednu od najbitnijih uloga u razvoju tržišta električne energije, bez obzira o kakvom se modelu tržišta radi i kakav je nivo otvorenosti tržišta. Ključna pitanja koja se postavljaju vezano za rad i upravljanje prijenosnom mrežom u (polu)otvorenom tržištu električne energije su:

1. Kako definirati tarifni sustav za usluge korištenja prijenosne mreže. Pri tome je potrebno definirati sljedeće:
- po kojem modelu će se vršiti tarifiranje (postage stamp, per-MWmile, contract path, real-time pricing itd.)?,

– tko plaća troškove korištenja prijenosne mreže i u kojem omjeru (proizvođači, potrošači)?,

– način plaćanja i obračuna prenesene snage i energije,

– na koji način naplaćivati tranzite: prema razvoju situaciju u Zapadnoj Europi, za očekivati je



Slika 1. Cijene korištenja prijenosne i distributivne mreže u Njemačkoj

prihvatanje jedinstvenog tarifnog sustava za tranzite električne energije na razini EU, a vjerojatno i šire (Florance Forum).

2. Pokrivanje, obračun i naplata gubitaka električne energije.
3. Troškovi zagušenja prijenosne mreže.
4. Način regulacije rada prijenosne mreže, uključujući i izgradnju.
5. Upravljanje prijenosnom mrežom i sustavom u cjelini:
 - integrirani sustav održavanja, upravljanja i vođenja prijenosne mreže i upravljanja EES-om (Transmission system operator - TSO),
 - upravljanje i vođenje sustava i prijenosne mreže (System operator – SO) odvojeno od održavanja i upravljanja prijenosnom mrežom na fizičkoj razini (Transmission operator – TO).

Važnost prijenosne mreže u tržišnom okruženju ogleda se, osim u razini transparentnosti i nediskriminiranja sudionika na tržištu električne energije, prvenstveno kroz cijene korištenja prijenosne mreže. Prema [2], prosječne cijene koji veliki potrošači plaćaju za korištenje prijenosne mreže kreću se od 1,4-8,5\$/MWh za promatrane zemlje. U Njemačkoj su cijene veće, a prosječno iznose oko 10\$/MWh. Ne manje bitno, pogotovo u slučaju potpuno otvorenog tržišta, jesu i cijene korištenja distributivne mreže koje su daleko veće. Kao primjer, na slici 1. prikazan je raspon i srednje vrijednosti troškova prijenosne i distributivne mreže u Njemačkoj, ovisno o naponskom nivou i godišnjem upotrebnom vremenu.

3. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ

Uspostava tržišta električne energije bitno ovisi o brojnim izvantržišnim faktorima. Među najznačajnije mogu se navesti:

- **Institucionalni okvir** u smislu političkog, pravnog i socijalnog okruženja ogleda se prvenstveno u:
 - stabilnosti političkih uvjeta,
 - sredenosti imovinsko-pravnih odnosa,
 - involviranosti elemenata socijalne politike u cijene električne energije,
 - prihvatanju tržišnih odnosa od strane društva itd.
- **Izvantržišna infrastruktura** koja omogućava razvoj tržišta električne energije, a za koju sudionici na tržištu električne energije nisu primarno odgovorni:
 - pravni sustav,
 - transportni sustav,
 - znanstveno-istraživačke ustanove itd.
- **Vlasnička prava** i sustav koji omogućava efikasnu provedbu zakonske regulative, kao npr.
 - pravo korištenja vodnih i ostalih prirodnih resursa,
 - pravo preuzimanja energije iz mreže itd.

- **Elektroenergetska infrastruktura** koja nije u tržišnoj domeni, u prvom redu prijenosna i distributivna mreža, koja mora biti pod nadzorom odgovarajućeg regulatornog tijela, budući da je od primarne važnosti za nediskriminirajuće djelovanje tržišta.

Iako svi navedeni faktori bitno utječu na razvoj tržišnih odnosa, isto tako se može reći kako i u netržišnim odnosima njihove manjkavosti također onemogućavaju poslovanje elektroenergetskog sektora i tranzicijske aktivnosti.

3.1. Osnovna polazišta i ciljevi deregulacije u elektroenergetskom sektoru Hrvatske

Osnovna polazišta deregulacije i razvoja tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru u Hrvatskoj mogu se sažeti u sljedećem:

- Postojeće zakonske odredbe (Zakon o energiji, Zakon o regulaciji elektroenergetskih djelatnosti, Zakon o tržištu električne energije), pri čemu iste treba promatrati isključivo kao osnovni okvir kojeg se u svim segmentima treba pridržavati, ali po potrebi i mijenjati ukoliko se određene zakonske odredbe pokazuju ograničavajućim faktorom razvoja, prvenstveno u smislu mogućnosti praktične implementacije.
 - Strateške odrednice razvoja elektroenergetskog i općenito energetskog sektora, čija osnova mora biti postojeća Strategija energetike RH, ali koja tijekom vremena mora nužno biti kritički promatrana i prilagođavana specifičnim uvjetima rada elektroenergetskog sustava u RH i postojećim svjetskim trendovima. Pri tome je od ključne važnosti dobro balanciranje strateški proklamiranih ciljeva i realnih mogućnosti s obzirom na postojeće društveno-ekonomsko stanje i mogućnosti.
 - Pozitivna iskustva u svijetu u restrukturiranju i deregulaciji elektroenergetskog sektora, a posebno kompatibilnost sa zapadnoeuropskom regulativom u granicama vlastitih specifičnih gospodarskih interesa.
 - Postojeća organizacijska, tehnološka i kadrovska struktura i potencijali Hrvatske elektroprivrede kao glavnog subjekta procesa restrukturiranja, a posebno svih segmenata i podsustava upravljanja i gospodarenja EES-om Hrvatske.
- Uz navedena polazišta razvoja tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru Hrvatske, posebno treba istaknuti i osnovne ciljeve ovog procesa:
- Održavanje u najmanju ruku postojeće razine sigurnosti rada sustava i redovitosti opskrbe električnom energijom svih potrošača.
 - Održavanje primjerene razine cijena električne energije.
 - Osiguranje potrebnih preduvjeta za razvoj tržišta električne energije prije deklarativnog uvođenja tržišta.

- Uvažavanje svih domaćih specifičnosti, na način da se postojeća vanjska iskustva nastoje prilagoditi realno ostvarivim uvjetima.
- Osiguranje nesmetanog tijeka privatizacije HEP Grupe.

Hrvatske specifičnosti uglavnom podrazumijevaju najvažnije postojeće probleme rada EES-a Hrvatske, odnosno HEP Grupe, kao što su:

- Dugogodišnja podinvestiranost praktički u svim segmentima EES-a,
- Neriješen status ulaganja u elektrane izvan teritorija RH,
- Problemi s krađom, gubicima i naplatom električne energije,
- Višak zaposlenih u odnosu na zapadnoeuropske standarde,
- Relativno visoki politički utjecaj.

3.2. Trenutno stanje

Za trenutno stanje elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj najbitniji su sljedeće činjenice:

1. Paket energetske zakona stupio je na snagu početkom 2002. godine, ali sam po sebi ne omogućava praktičnu provedbu:
 - nedostaju brojni podzakonski akti,
 - nedostaje opsežna tehnička regulativa,
 - nedostaje jasna vizija i strategija u kakvom praktičnom obliku implementirati zakone.
2. Restrukturiranje (djelomični unbundling) HEP-a izvršeno je pretvorbom HEP-a u koncern HEP Grupu u srpnju 2002. godine, ali:
 - restrukturiranje je do sada provedeno uglavnom na formalno-pravnoj osnovi,
 - nema čvrstog stava u smislu razgraničenja, uspostave korporativnih odnosa i načinu formiranja internih i eksternih cijena,
 - nedefiniran je način uspostave i rada (praktične implementacije) Nezavisnog operatora sustava i tržišta, Operatora proizvodnje, HEP Trade, upravljanja prijenosnom mrežom itd.
3. Osnovne pretpostavke za razvoj tržišta električnom energijom vrlo su upitne. Naime, otvorenost tržišta je minimalna, budući da je udio povlaštenih potrošača na razini cca. 10% ukupne potrošnje, a na strani proizvodnje je praktički jedini subjekt HEP Proizvodnja uz eventualno strane proizvođače i dobavljače električne energije. Dobra strana ovakve situacije je mogućnost da se promjene postojećeg načina rada EES-a izvode etapno i oprezno, kako drastični rezovi postojećeg sustava ne bi doveli do neželjenih posljedica. S druge strane, nužno je ulaganje velikog napore za dovršenje i eventualno popravljanje zakonske i tehničke regulative koja će na transparentan način osigurati zakonski definirana prava povlaštenih potrošača i novih subjekata na tržištu električne energije (proizvođači izvan HEP

Grupe, tvrtke za trgovinu električnom energijom itd.)

Jedan od mogućih pravaca daljnjeg razvoja podrazumijeva:

- etapni razvoj tržišnih odnosa u elektroenergetskom sektoru, koji u prvoj fazi ima za glavni cilj poštivanje osnovnih zakonskih odredbi u najnužnijem opsegu,
- uvođenje isključivo onih rješenja koja se mogu implementirati u postojećem stanju i za koje će prethodno biti detaljno razrađena i usvojena potrebna regulativa,
- istodobno stvaranje svih potrebnih pretpostavki za daljnji razvoj tržišnih odnosa.

Pri tome ključnu ulogu treba odigrati HEP Grupa, koja mora predložiti praktične modele implementacije svih operativnih detalja vezanih za prijelazni period i prvu fazu praktične uspostave tržišnog segmenta djelovanja elektroenergetskog sektora, kao što su:

- definiranje tarifnog sustava za korištenje prijenosne i distribucijske mreže,
- način upravljanja EES-om na svim razinama,
- rješavanje problema razgraničenja prijenosna, distribucije i proizvodnje,
- definiranje pravila rada tržišta,
- tehnološko unaprjeđenje svih primarnih sustava i podsustava koji su u direktnoj funkciji rada tržišta električnom energijom, a posebno sustava mjerenja i obračuna preuzimanja električne energije na svim razinama.

3.3. Uspostava Nezavisnog operatora sustava i tržišta i transformacija Sektora za gospodarenje i vođenje EES-om

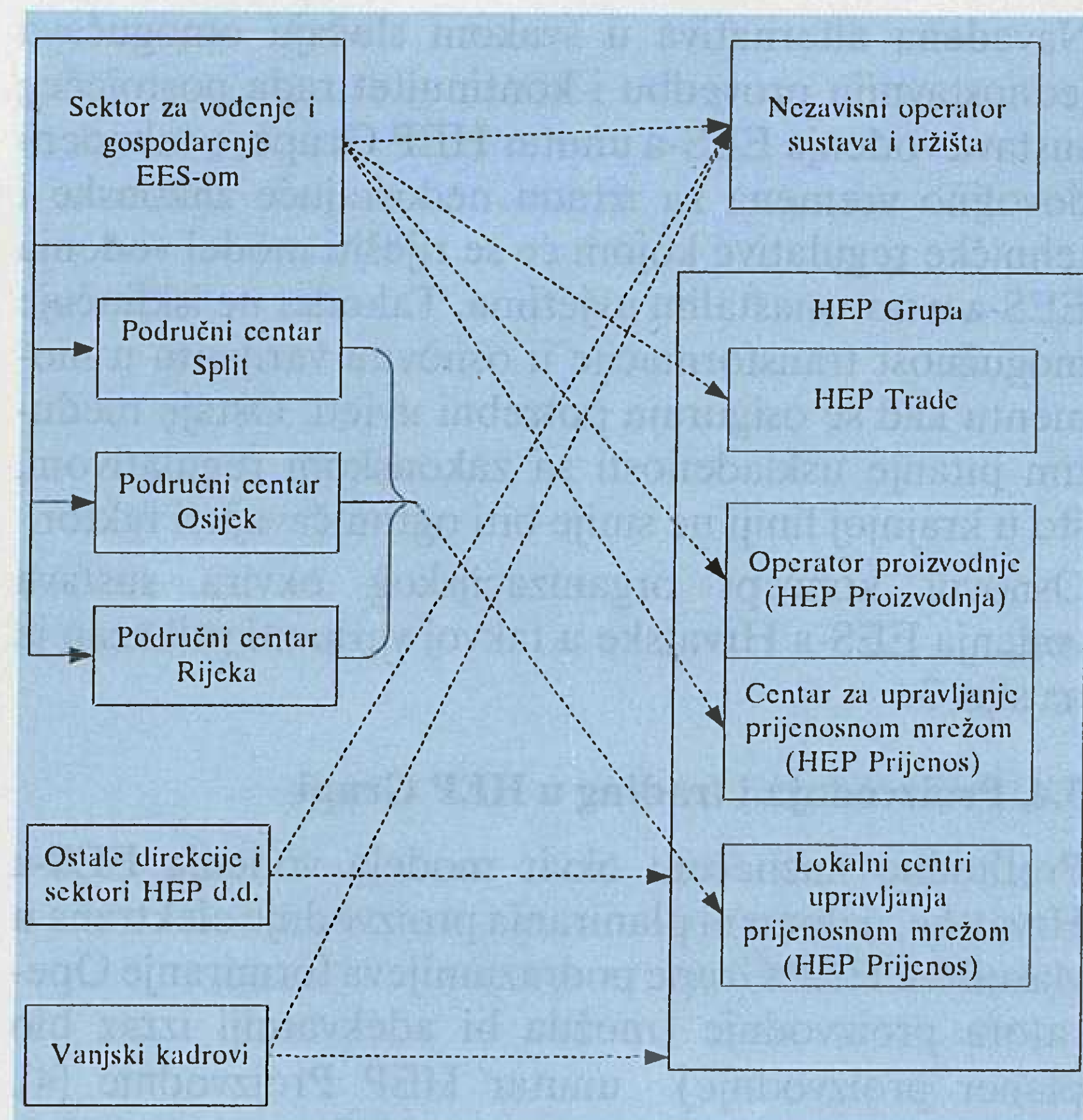
Hrvatski Nezavisni operator sustava i tržišta, kao nezavisna institucija u vlasništvu vlade RH, a na osnovi odredbi Zakonu o tržištu električne energije, trebao bi preuzeti odgovornost za vođenje elektroenergetskog sustava i organiziranje tržišta električne energije.

U domeni vođenja elektroenergetskog sustava, zakonski su definirani poslovi koje obavlja Nezavisni operator sustava i tržišta, a dani su vrlo široko i uglavnom načelno. Njihova operativna implementacija ovisit će dakako o stvarno prihvaćenom (odabranom) modelu tržišta, za koje su moguće prethodno opisane opcije:

- od čistog bilateralnog tržišta bez centralne koordinacije izuzev eventualno centraliziranog vođenja i obračuna odstupanja, kroz uspostavu odgovarajućeg tržišta (balancing market) ili kroz uvođenja sustava obračuna i naplate odstupanja (imbalance settlement) na osnovi unaprijed definiranih pravila rada,
- do visoko centraliziranog tržišta temeljenog na jakom spot tržištu i obveznom ili dobrovoljnom pool sustavu u kojemu bi se usko integrirale tržišne funkcije i funkcije vođenja sustava u realnom i proširenom realnom vremenu.

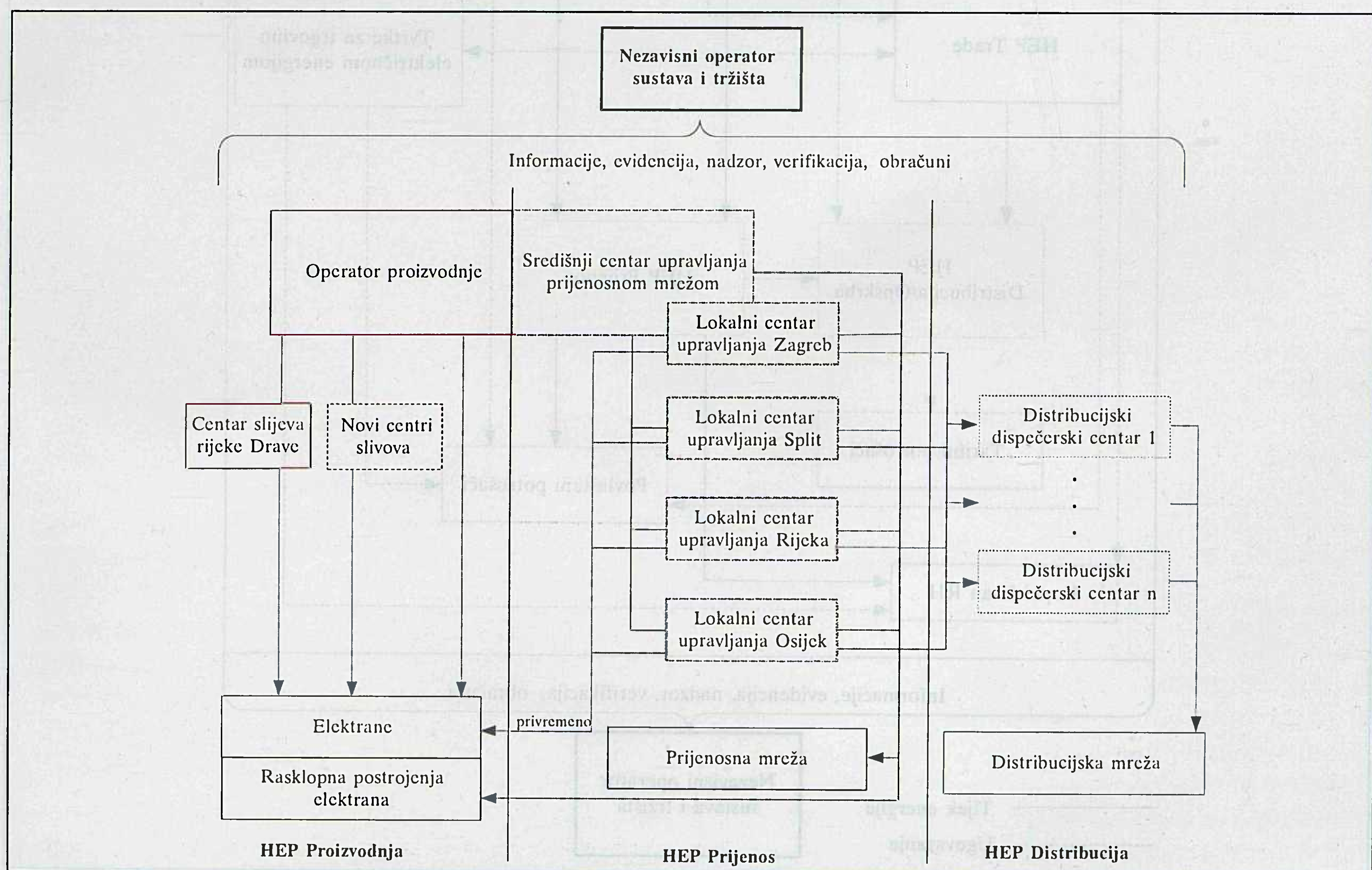
Osnovni problem koji proizlazi iz zakonski definiranog modela upravljanja EES-om leži u odabiru varijante s odvojenim Nezavisnim operatorom sustava i Operatorom prijenosne mreže (HEP Prijenos), za razliku od općeprihvaćene zapadnoeuropske prakse u kojoj je Operator prijenosne mreže i sustava (TSO – Transmission system operator) integriran u jednoj pravnoj osobi, s različitim modelima razdvajanja istog od ostalih elektroprivrednih djelatnosti. Ovo pitanje naročito je potencirano u slučaju manjih elektroenergetskih sustava kao što je hrvatski, u kojima je razdvajanje tehnološko usko povezanih poslova upravljanja prijenosnom mrežom i sustavom općenito od poslova održavanja i lokalnog upravljanja prijenosnom mrežom, neprirodno rješenje pogotovo na razvojnoj i tehnološkoj razini koja je još uvijek daleko od zapadnoeuropskih standarda. Ukoliko ne dođe do revizije i promjene navedenih zakonskih odredbi, moguća su dva osnovna rješenja uspostave Nezavisnog operatora sustava i tržišta:

1. Da se isti formira iz postojećeg Sektora za vođenje i gospodarenje EES-om iz HEP Grupe, preuzimanjem većine dosadašnjih funkcija Sektora, što ujedno znači i preuzimanje svih funkcija na operativnoj razini upravljanja prijenosnom mrežom i EES-om. Ovakva koncepcija predstavlja osnovnu varijantu koja se tijekom 2002. godine pojavljuje u službenim dokumentima HEP-a.
2. Da većina sadašnjih funkcija Sektora za vođenje i gospodarenje EES-om ostane u okviru HEP Grupe



Slika 2. Moguća alternativa transformacije Sektora za gospodarenje i vođenje EES-a

(podijeljena na HEP Prijenos, HEP Proizvodnju i HEP Trade), a dio se odvoji kao Nezavisni operator sustava i tržišta koji bi u prvoj fazi preuzme poslove kontrole, nadzora i verifikacije svih aktivnosti na području vođenja EES-a i tržišta električne energije, dok bi unutar HEP Grupe ostale sve operativne funkcije (slika 2).



Slika 3. Sustav vođenja EES-a Hrvatske

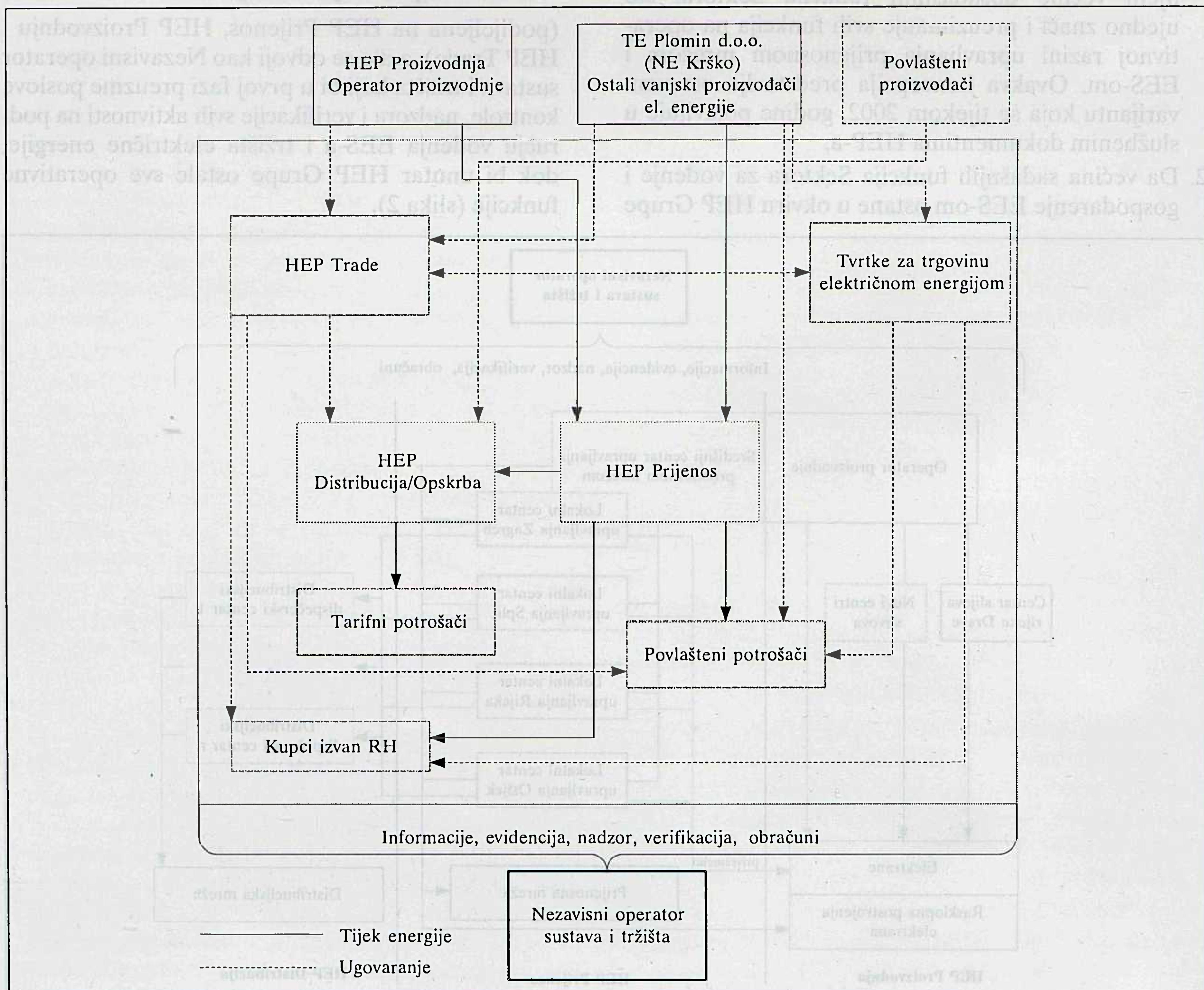
Navedena alternativa u svakom slučaju omogućava jednostavniju provedbu i kontinuitet rada postojećeg sustava vođenja EES-a unutar HEP Grupe, a također i dovoljno vremena za izradu, nedostajuće zakonske i tehničke regulative kojom će se riješiti model vođenja EES-a u novonastalim uvjetima. Također ne isključuje mogućnost transformacije u osnovnu varijantu u momentu kad se osiguraju potrebni uvjeti. Ostaje međutim pitanje usklađenosti sa zakonskom regulativom, što u krajnjoj liniji ne smije biti ograničavajući faktor. Osnovni koncept organizacijskog okvira sustava vođenja EES-a Hrvatske u takvoj varijanti prikazan je na slici 3.

3.4. Proizvodnja i trading u HEP Grupi

Prethodno naznačeni okvir modela vođenja EES-a Hrvatske, u domeni planiranja proizvodnje elektrana u vlasništvu HEP Grupe podrazumijeva formiranje Operatora proizvodnje (možda bi adekvatniji izraz bio planer proizvodnje) unutar HEP Proizvodnje [4]. Takvo rješenje je nužno bez obzira na konačno prihvaćeni model, a ustaljena je praksa u svim

tvrtkama za proizvodnju električne energije u svijetu. Pri tome operator/planer proizvodnje izvodi sve funkcije planiranja rada proizvodnih objekata u vlasništvu HEP Grupe (po potrebi i šire) i to na svim vremenskim razinama, a u domeni operativnog vođenja istih, izvodi dio funkcija u suradnji s Nezavisnim operatorom sustava i tržišta i HEP Prijenosom. Osnovna podloga, odnosno razlog za formiranje operatora/planera proizvodnje temelji se na nužnoj potrebi preuzimanja odgovornosti i preuzimanju poslovnih rizika od strane HEP Proizvodnje za optimalno gospodarenje proizvodnim kapacitetima, a prvenstveno hidroenergijom kao resursom koji zasigurno može odigrati ključnu ulogu u uspješnom poslovanju HEP Grupe u nadolazećem tržišnom okruženju. Posebno je pitanje uspostava odnosa između HEP Proizvodnje i HEP Trade, te način organizacije i djelovanja HEP Trade. U takvom modelu, međusobni odnosi sudionika u EES-u (tokovi energije i ugovaranja) prikazani su na slici 4.

Vrlo bitno pitanje, koje se primarno mora koncipirati i riješiti na nivou HEP Grupe, ali i odgovarajućom zakonskom i tehničkom regulativom, je razdvajanje



Slika 4. Međusobni odnosi, tokovi energije i ugovaranja u EES-u Hrvatske

tržišnog i izvantržišnog segmenta. Naime, zbog činjenice da će neko vrijeme veliku većinu potrošača činiti tarifni potrošači, a HEP Grupa će preuzeti obvezu njihove opskrbe u cjelini, posebno je bitan način razdvajanja troškova njihove opskrbe od troškova proizvodnje za tržište. Osnovni model rješavanja ovog problema trebao bi biti uspostava ugovornih odnosa između HEP Proizvodnje i HEP Distribucije (odnosno HEP Opskrbe), prema kojemu bi HEP Proizvodnja osiguravala potrebnu energiju po tzv. "load following" modelu, u sklopu kojega bi (ili možda posebno) trebalo definirati i odnose s HEP Prijenosom vezano za troškove prijenosa električne energije. Iako ne nužno, HEP Trade bi mogao u ovakvom ugovoru zastupati interese HEP Proizvodnje, pri čemu bi isti s vanjskim dobavljačima osigurao kompletno pokrivanje potreba tarifnih potrošača za električnom energijom, tj. trebao bi osigurati opskrbu potrošača uz najekonomičniju varijantu kombiniranja proizvodnje iz elektrana HEP Proizvodnje, TE Plomin, NE Krško i uvozom električne energije.

HEP Trade se ipak primarno javlja u tržišnom segmentu, tj. u čistoj trgovini električnom energijom, u prvoj fazi vjerojatno isključivo na fizičkoj razini (physical electricity market):

- prodaja električne energije povlaštenim potrošačima,
- kupovina električne energije na vanjskim tržištima, te
- prodaja električne energije kupcima izvan RH.

U perspektivi, može se očekivati i širenje područja rada, npr. na:

- financijsko tržište električnom energijom (financial electricity market),
- trgovina ostalim energentima.

Među brojnim problemima koje nameće postojeća zakonska regulativa i moguće opcije njene implementacije, u domeni proizvodnje električne energije mogu se istaknuti dva karakteristična problema:

1. Problem povlaštenih proizvođača izvan HEP Grupe koji se u perspektivi uključuju u opskrbu tarifnih potrošača: tko plaća eventualnu razliku u cijeni po kojoj električnu energiju isporučuju povlašteni potrošači u odnosu na cijenu po kojoj bi HEP Proizvodnja proizvela ili HEP Trade kupio istu količinu energije?
2. Problem varijabilnosti troškova proizvodnje električne energije [8] potrebne za opskrbu tarifnih potrošača: tko će snositi rizike varijabilnosti hidroloških prilika, cijena primarnih energenata i cijena uvozne energije?

Odgovore na ova i brojna dodatna pitanja zasigurno neće biti lako pronaći, pogotovo imajući u vidu da se radi o troškovima koje bi ipak u krajnjoj liniji trebalo prebaciti na tarifne potrošače.

3.5. Troškovi korištenja prijenosne mreže, pomoćnih sistemskih usluga i odstupanja

3.5.1. Troškovi prijenosne mreže

Načelno, troškove korištenja prijenosne mreže treba naplaćivati HEP Prijenos od korisnika: proizvođača i potrošača električne energije, te vanjskih korisnika u slučaju tranzita. Za model razdiobe troškova između proizvođača i potrošača, te načina obračuna troškova logično se nameće preuzimanje nekog isprobanog rješenja kojeg je moguće relativno lako implementirati s obzirom na vlastite specifičnosti. Moguća opcija je Njemački model [9], u kojemu kompletne troškove plaćaju potrošači (iako se razmatraju i alternativne mogućnosti), a način obračuna je jednostavni "postage stamp" princip, gdje su troškovi prijenosne mreže definirani mjestom (naponskim nivoom) preuzimanja električne energije, i to ovisno o upotrebnom vremenu. Naplata tranzita trebala bi se temeljiti na proračunu marginalnih troškova koje uzrokuju tranziti, kako bi se moglo odvojiti fiksni dio (zauzeće kapaciteta prijenosne mreže) i varijabilni dio troškova (gubici). Ipak je ključno pitanje na koji način definirati troškove rada prijenosne mreže, te da li troškove gubitaka i zagušenja promatrati odvojeno. Zbog toga treba izvršiti detaljnu analizu potrebnih godišnjih troškova rada prijenosne mreže za amortizaciju kapitalne i ostale opreme, te troškove rada i održavanja mreže. Pokrivanje troškova gubitaka u prijenosnoj mreži može se u prvoj fazi riješiti na način da ih u cijelosti pokriva HEP Proizvodnja, uz definiranje modela prema kojemu bi se za sve energetske transakcije izvan sustava opskrbe tarifnih potrošača obračunavali i naplaćivali stvarni troškovi ugovornim stranama, što bi trebalo biti u nadležnosti Nezavisnog operatora sustava i tržišta.

Problem zagušenja u prijenosnoj mreži je prvenstveno u mogućnosti eventualnog ograničenja već ugovorenih količina električne energije. Iako je struktura prijenosne mreže u Hrvatskoj takva da se, kombinirano s trenutno vrlo malim udjelom povlaštenih potrošača, u početku ne mogu očekivati veći problemi u tom smislu, ipak bi trebalo izraditi pravilnik po kojemu bi Nezavisni operator sustava i tržišta arbitrirao u rješavanju nabave zamjenske energije ukoliko to ugovorne strane nisu u mogućnosti same napraviti.

3.5.2. Obračun i plaćanje odstupanja

Odstupanje od ugovorenih količina isporuke/preuzimanja električne energije od strane povlaštenih potrošača, odnosno njihovih dobavljača, potrebno je riješiti odgovarajućim kodom (pravilnikom) kojim će se od odgovornih subjekata naplaćivati odgovarajući troškovi regulacijske energije. U razvijenim tržištima električne energije rješenje je u formiranju posebnog tržišta kojim proizvođači i potrošači unaprijed definiraju cijene takve energije ovisno o iznosu odstupanja i vremenu upotrebe. Takvo rješenje je kod nas trenutno

vrlo teško ostvarivo budući da regulaciju odstupanja trenutno može ponuditi samo HEP Proizvodnja. Zbog toga je realno izvedivo rješenje moguće u dvije varijante:

- Prva varijanta je da povlašteni potrošači, odnosno proizvođači i dobavljači električne energije izvan HEP Proizvodnje s HEP Proizvodnjom (eventualno s HEP Trade) dugoročno ugovore na bilateralnoj osnovi regulaciju odstupanja.
- Druga varijanta, koja ne isključuje prvu, je da HEP Proizvodnja predloži odgovarajući model kojim će se točno definirati cijene ovakve regulacijske energije, koji treba reflektirati stvarne troškove koje zbog toga ima HEP Proizvodnja, kojega će odobriti Vijeće za regulaciju energetske djelatnosti, a čiju će primjenu nadzirati Nezavisni operator sustava i tržišta.

U obje varijante tehnički dio nužno mora odraditi HEP Prijenos (mjerjenje), dok je za administrativni dio logično rješenje da to preuzme Nezavisni operator sustava i tržišta, koji bi konačni obračun prosljeđivao HEP Proizvodnji i subjektima odgovornim za odstupanja, na osnovi kojega bi isti bili obvezni isplatiti HEP Proizvodnji odgovarajuću naknadu.

Praktično rješenje i apliciranje druge varijante realno je predvidjeti s formiranjem bilančnih grupa na osnovi kojih bi se obračunavalo ukupno odstupanje na razini bilančne grupe, u osnovi prema Njemačkom modelu [9].

3.5.3. Troškovi pomoćnih sistemskih usluga

Subjekti na tržištu električne energije nužno moraju sudjelovati u pokrivanju dijela troškova svih pomoćnih sistemskih usluga. Konkretno, onog dijela koji se odnosi na njihov postotni udjel u ukupnoj angažiranoj snazi i predanoj/preuzetoj energiji. Formiranje tržišta za neke sistemske usluge (za neke to jednostavno nije ni moguće), u trenutnoj fazi razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj nije opravdano iako je teoretski moguće. U prvoj fazi se teško može računati i s varijantom bilateralnih ugovora vezanih za osiguranje nekih pomoćnih sistemskih usluga.

Za sada je jedno realno rješenje, budući da će HEP Proizvodnja osiguravati sve pomoćne sistemske usluge za regulirani dio i za tržišni dio, primjena sličnog modela kao što je prethodna opisana druga varijanta za plaćanje odstupanja. Dakle, HEP Proizvodnja bi trebala predložiti odgovarajući model kojim će se točno definirati troškove za svaku pomoćnu sistemsku uslugu odvojeno, a koji treba reflektirati stvarne troškove koje zbog toga ima HEP Proizvodnja. Model bi se trebao temeljiti na paušalnoj osnovi i plaćanju prema postotnom udjelu snage i energije. Takav model bi trebalo odobriti Vijeće za regulaciju energetske djelatnosti, a primjenu nadzirati Nezavisni operator sustava i tržišta. Na taj način bi se osigurala i mogućnost da u perspektivi proizvođači izvan HEP Proizvodnje mogu sudjelovati u osiguranju nekih pomoćnih sistemskih usluga, te za to dobivati odgovarajuću naknadu.

4. ZAKLJUČAK

Liberalizacija elektroenergetskog sektora i tržišta električne energije zahtjevan je, osjetljiv, a u krajnjoj liniji u praksi dovoljno neispitan proces, koji čak i u visokorazvijenim zemljama otvara brojne dileme vezane prvenstveno za načine odvijanja istog, željene ciljeve, te dugoročnu ekonomsku opravdanost. U tranzicijskim zemljama kao što je naša, takvi procesi dodatno su otežani zbog naslijeđenih nepovoljnijih početnih uvjeta i gospodarsko-socijalnog okruženja. Iako su u Hrvatskoj napravljeni početni koraci u ovom pravcu, upravo su oni i pokazali kakve sve probleme treba riješiti i kako je vrlo teško pronaći pravi put. U tom smislu je i kroz ovaj članak pokušano upozoriti na probleme, te predložiti bar dio odgovora na neka bitna pitanja vezana za proces restrukturiranja i uvođenja tržišta električne energije u Hrvatskoj.

LITERATURA

- [1] "First report on the implementation of the internal electricity and gas market – executive summary", Commission of the European communities, Brussels, SEC (2001) 1957, 3.12.2001.
- [2] G. SHUTTLEWORTH: "Electricity transmission pricing: the European perspective", n/e/r/a, London, July 1999.
- [3] L. E. RUFF: "Competitive electricity markets: why they are wrong and how to improve them?", n/e/r/a, London, May 1999.
- [4] Grupa autora: "Preoblikovanje HEP-a u grupu povezanih trgovačkih društava elektroprivrednih i pratećih djelatnosti", Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb, 2002.
- [5] Zakon o energiji, Hrvatski Sabor, srpanj 2001.
- [6] Zakon o tržištu električne energije, Hrvatski sabor, srpanj 2001.
- [7] Zakon o regulaciji energetske djelatnosti, Hrvatski sabor, srpanj 2001.
- [8] R. GOIĆ, M. LOVRIĆ, M. ŽODAN: "Analiza osjetljivosti i analiza rizika ostvarenja godišnjih varijabilnih troškova rada EES-a", V savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 2001.
- [9] "Associations Agreement on Criteria for Calculation of Use of System Fees for Electrical Energy and on Principles of Third Party Access", Berlin, Essen, Hannover, Köln, 12/2001
- [10] Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council, December 1996.
- [11] Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directives 96/92/EC and 98/30/EC concerning common rules for the internal market in electricity and natural gas, October 2001.
- [12] G. BRUNEKREEFT: "Lessons from the German ESI", Oviedo, July 2002.
- [13] P. L. JOSKOW: "Electricity sector liberalization: lessons learned what is the way forward?", Oviedo, July 2002.

- [14] D. NEWBERY: "England's experience with NETA", Oviedo, July 2002.
- [15] Nils-Henrik von der Fehr: "Competition in electricity spot markets: economic theory and international experience", University of Oslo, Department of economics, Feb. 1998.
- [16] I. HERGUERA: "Bilateral contracts and the spot market for electricity: some observations on the British and the Nord Pool experiences", Utility Policy, 9 (2000), 2001.
- [17] G. BRUNEKREEFT, K. KELLER: "The electricity industry in Germany: market power or power of the market?", Utility Policy, 9 (2000), 2001.
- [18] M. HSU: "An introduction of the pricing of electric power transmission", Utility Policy, Vol. 6, No. 3, 1997.
- [19] ETSO proposal for a temporary cross-border trade mechanism, Association of European Transmission System Operators, September 2001.
- [20] Rad i razvoj elektroenergetskog sustava u uvjetima predstojeće reforme i liberalizacije energetskeg sektora, EI Hrvoje Požar, srpanj 2001.
- [21] M. POWER, J. AMARANTE, K. LINDSTROM, I. ARNOTT, "Regulation and the impact on system operations," Proc. 2000 CIGRE Session, report 37/38/39-201
- [22] P. VAN ROY, R. BELMANS, G. PEPERMANS, S. PROOST, B. WILLEMS AND CONINGS, "Opening of the European market for the electricity" University of Leuven Energy Institute, Leuven, Belgium, Tech. Rep. El/St/02.3/Fin, June 2000.
- [23] J. DRILLISCH, C. RIECHMANN, "Liberalization of the electricity supply industry - evaluation of reform policies -," CRIEPI/EWI, Cologne/Tokyo, Working paper EWI-98/5, Dec. 1998.

POSSIBLE OPTIONS OF ELECTRIC ENERGY MARKET DEVELOPMENT IN CROATIA

Power system restructuring in Croatia and market introduction began in 2002 following the approval of a new energy laws package. Different options of operational implementa-

tion of this process in Croatia as well as possible consequences on the electric power system operation imply a careful analysis and reasonable choice of models corresponding to present circumstances in the power sector as well as to a wider economic and developmental interests. In the paper a short author's view is given as well as the evaluation of current situation in Croatia including possible development scenarios.

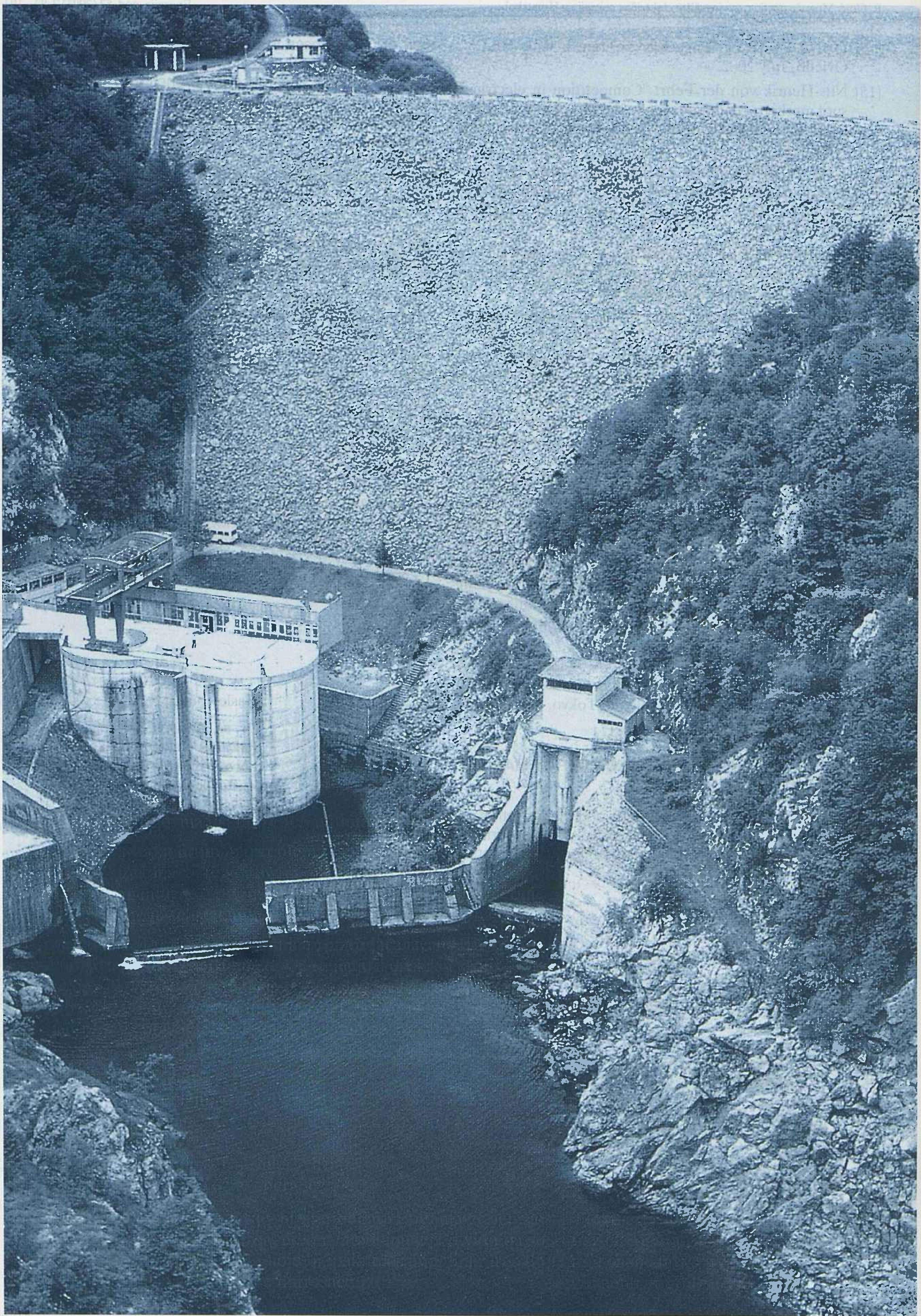
ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN DES STROMMARKTES IN KROATIEN

Das Umgestaltungsvorgehen des elektroenergetischen Wirtschaftszweiges in Kroatien und die Einführung der Marktverhältnisse hat praktisch Anfangs 2002 mit dem Inkrafttreten der neuen Gesetzsammlung für den Bereich Energie, angefangen. Verschiedene Möglichkeiten praktischer Anwendung dieses Vorgehens in Kroatien, sowie mögliche Folgen für das Stromversorgungssystem, zwingen ein sorgfältiges Überdenken und eine beweiskräftige Modellauswahl auf, die den vorgefundenen Umständen in diesem Bereich und den breiteren Wirtschafts- und Entwicklungsinteressen gerecht sind. In diesem Artikel sind die Beurteilung der aktuellen Lage in Kroatien und mögliche Entwicklungsrichtungen aus der Sicht des Verfassers zusammengefasst dargestellt.

Naslov pisca:

Dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva
i brodogradnje Split
R. Boškovića b.b., 21000 Split,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2002 – 12 – 04.



ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE ZA PROIZVODNJU TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Vedran U r a n, Rijeka

UDK 697.34:621.311.22
STRUČNI ČLANAK

U radu je postavljen matematički model za određivanje najniže cijene pare po jedinici eksergije metodom optimizacije. Model se temelji na termoekonomske parametrima kao što su cijena, troškovi, eksergetski protok pojedinih fluida energetskog sustava, te cijena, troškovi i eksergetski stupanj djelovanja komponenti postrojenja energetskog sustava ili samog postrojenja. Postavljeni matematički model testiran je na primjeru protutlačnog parnoturbinskog postrojenja pogonjenog drvnom biomasom. Rezultat ovog rada jest ustvrditi kompromis između najniže cijene pare kao produkta razmatranog sustava u ovisnosti o njegovim godišnjim troškovima pri određenom vremenu rada postrojenja tog istog razmatranog sustava u godini dana.

Ključne riječi: matematički model, najniža cijena pare, jedinica eksergije, termoekonomske parametri, cijena, troškovi, eksergetski protok, eksergetski stupanj djelovanja, komponente postrojenja, energetski sustav protutlačno parnoturbinsko postrojenje, drvena biomasa, godišnji troškovi, vrijeme rada postrojenja.

1. UVOD

Osnovna zadaća i interes energetskih sustava jest proizvodnja toplinske i električne energije uz što manje pogonske troškove. Pri tome se očekuje da će energetski i eksergetski stupanj djelovanja tako dimenzioniranog sustava biti najmanji. Sustav može biti dimenzioniran i uz najveće energetske i eksergetske stupnjeve djelovanja, no tada se očekuje da će pogonski troškovi sustava biti najveći.

U red pogonskih troškova energetskog sustava spadaju troškovi za gorivo, za kemikalije i za dodatnu napojnu vodu. U red fiksnih troškova energetskog sustava spadaju troškovi za radnu snagu i amortizaciju sustava. Vrlo je važno odrediti i cijenu svježe pare potrebnu za proizvodnju toplinske i električne energije. Ta se cijena određuje na temelju bilanci troškova koja uključuje cijene pojedinih struja fluida koje ulaze i izlaze iz energetskog sustava, te cijenu komponenti koje čine taj sustav.

Bilanca troškova uključuje termoekonomske analizu energetskog sustava. To je analiza koja uključuje termodinamske parametre (eksergiju pojedinih struja fluida ili eksergetski protok ako je eksergija izražena po jedinici vremena) i ekonomske parametre (cijenu struja fluida). Da bi se odredila najniža cijena one struje fluida koja predstavlja produkt u energetskom sustavu (a to je svježa para), potrebno je primijeniti termoekonomske optimizacije sustava. Takva se opti-

mizacija zasniva na jednadžbama koje funkcionalno povezuju sve utjecajne faktore i uvjete ograničenja vezane za određivanje najniže cijene produkta energetskog sustava (u daljnjem tekstu *najniža cijena pare*). Bitni ulazni parametri za određivanje najniže cijene pare kod energetskog sustava su: eksergetski protok pare, eksergetski stupanj djelovanja energetskog sustava i ukupne investicije za energetski sustav.

2. TERMODINAMSKA ANALIZA ENERGETSKOG SUSTAVA

Termodinamska analiza podrazumijeva prvi i drugi zakon termodinamike.

Prvi zakon termodinamike govori o održivosti i neuništivosti energije. Princip održanja energije dovodi do energetske bilance kojom je obuhvaćena promjena oblika energije u termodinamičkom sustavu i količine energije koje prelaze granicu sustava, u obliku mehaničke energije i topline. Termički stupanj djelovanja pokazuje koliki se dio dovedene topline pretvara u mehaničku što već upućuje na drugi zakon termodinamike.

Drugi zakon termodinamike govori o sposobnosti pretvorbe jednog oblika energije u drugi oblik energije te o ograničenjima pri pretvorbi toplinske energije sustava u mehaničku energiju. Iz toga slijedi da je eksergija energija koja se može neograničeno transformirati u

druge energetske oblike. Suprotna definicija eksergiji je anergija pa se može sljedeće napisati:

$$\begin{aligned} \text{Energija} &= \text{Eksergija} + \text{Anergija} \\ \text{Eksergija} &= \text{Korisna eksergija} + \text{Eksergetski gubitci} \end{aligned}$$

$$\text{Energija} = \text{Korisna eksergija} + \text{Eksergetski gubitci} + \text{Anergija}$$

Drugi zakon termodinamike izražava se kroz eksergetski stupanj djelovanja. Ako je $\dot{E}_G$ eksergija goriva koja se po jedinici vremena (eksergetski protok goriva!) dovodi energetsom sustavu onda će on biti jednak

$$\dot{E}_G = \dot{E}_p + \dot{E}_v + \dot{E}_n \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

gdje su redom

$\dot{E}_p$ – eksergetski protok produkta energetskeg sustava (npr. svježe pare, ekspandirane pare, plinova izgaranja itd.)

$\dot{E}_v$ – gubitak eksergetskog protoka goriva koji se pretvara u anergiju (izgubljena toplina zbog njezinog nepovratnog prijelaza u okolinu)

$\dot{E}_n$ – (neposredni) gubitak eksergetskog protoka goriva (nastalih npr. kod procesa izgaranja goriva u ložištu generatora pare).

Eksergetski stupanj djelovanja može se definirati na sljedeći način:

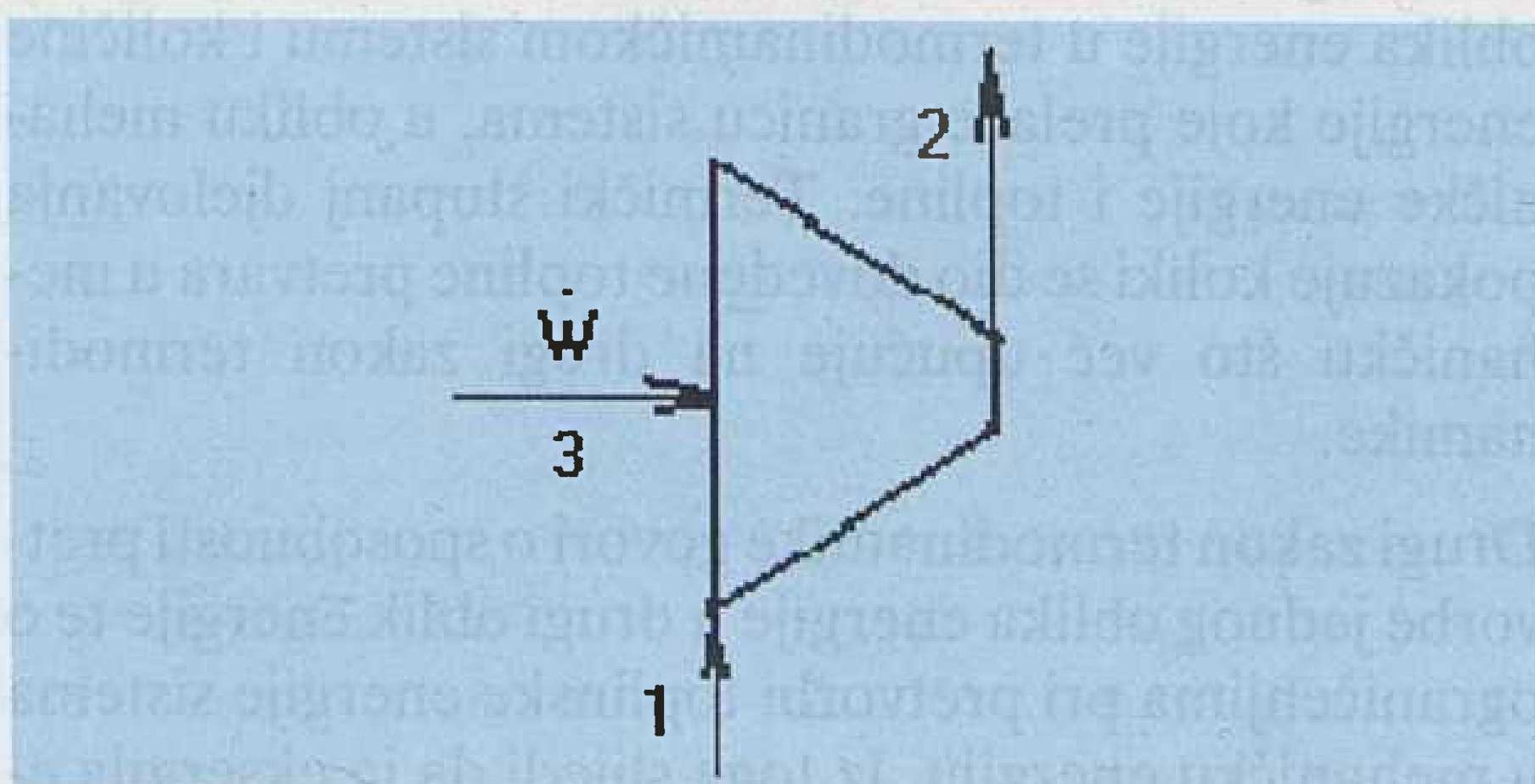
$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_p}{\dot{E}_G} = 1 - \frac{\dot{E}_v + \dot{E}_n}{\dot{E}_G} \quad (2)$$

3. TERMOEKONOMSKA ANALIZA KOMPONENTI ENERGETSKOG SUSTAVA

Cijena proizvedene toplinske i električne energije iskazuje se kroz cijenu eksergije pojedinih struja fluida koje ulaze i izlaze iz energetskeg sustava. Ta se cijena određuje na temelju bilance troškova koja uključuje cijenu pojedinih struja fluida unutar energetskeg sustava, cijene produkata i cijene komponenti energetskeg sustava.

Tipične komponente energetskeg sustava koje se javljaju bilo u parnom bilo u plinskom procesu su sljedeće: kompresor, crpka, turbina, izmjenjivač topline, jedinica miješanja tople i hladne struje fluida (toplinska miješalica), rasplinjač ili komora izgaranja, generator pare.

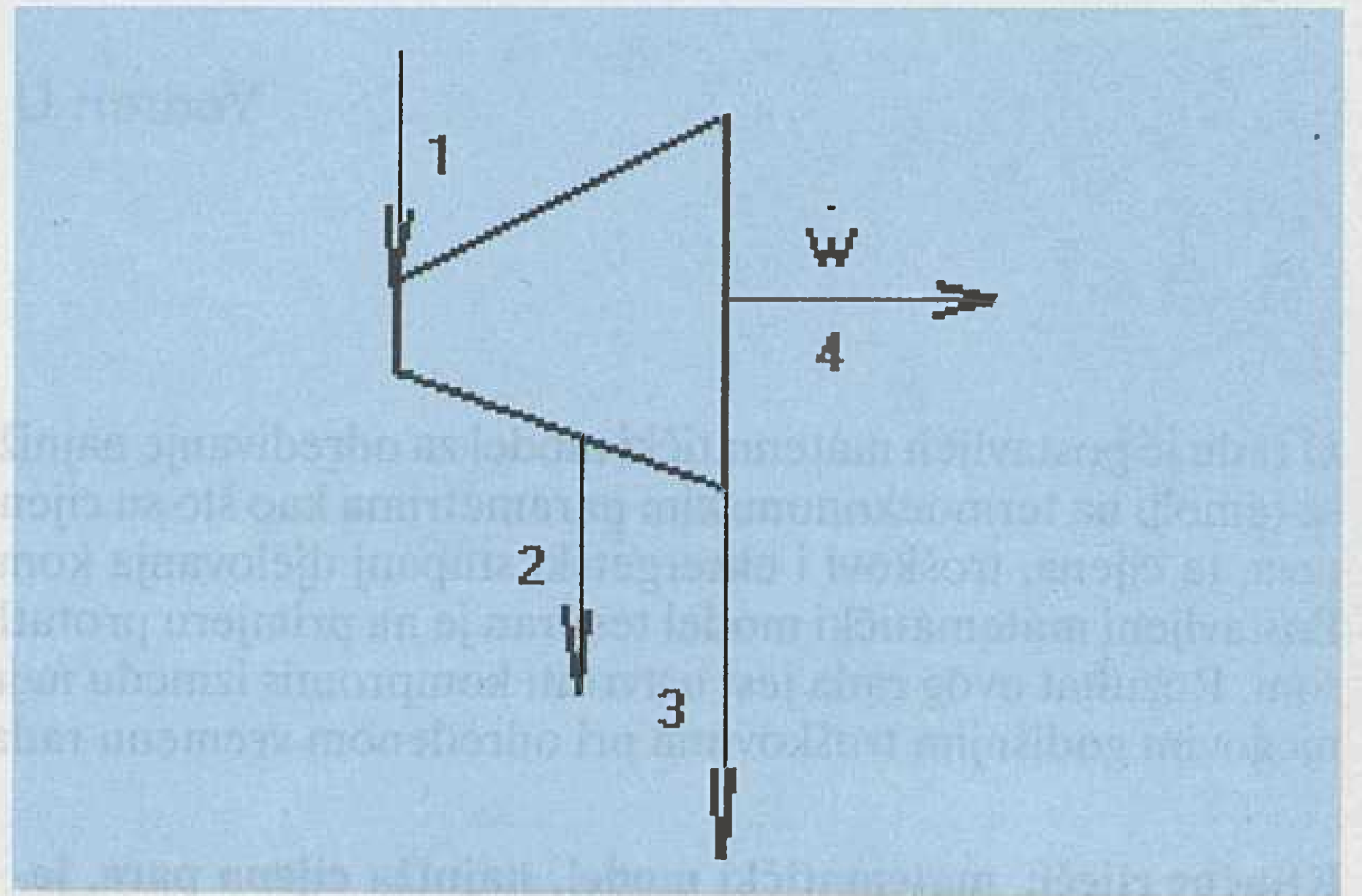
a) Kompresor (crpka, ventilator)



Slika 1. Shema kompresora (crpke, ventilatora)

Visina tekućih troškova¹ produkta iz kompresora (komprimirani zrak) prema slici 1. jednaka je $\dot{C}_2 - \dot{C}_1$. Visina tekućih troškova goriva za pokretanje kompresora (električna energija) jednak je $\dot{C}_w$. Pomoćnih termoeekonomskih relacija nema. Određuje se cijena produkta (komprimiranog zraka) po jedinici njegove eksergije, c_2 .

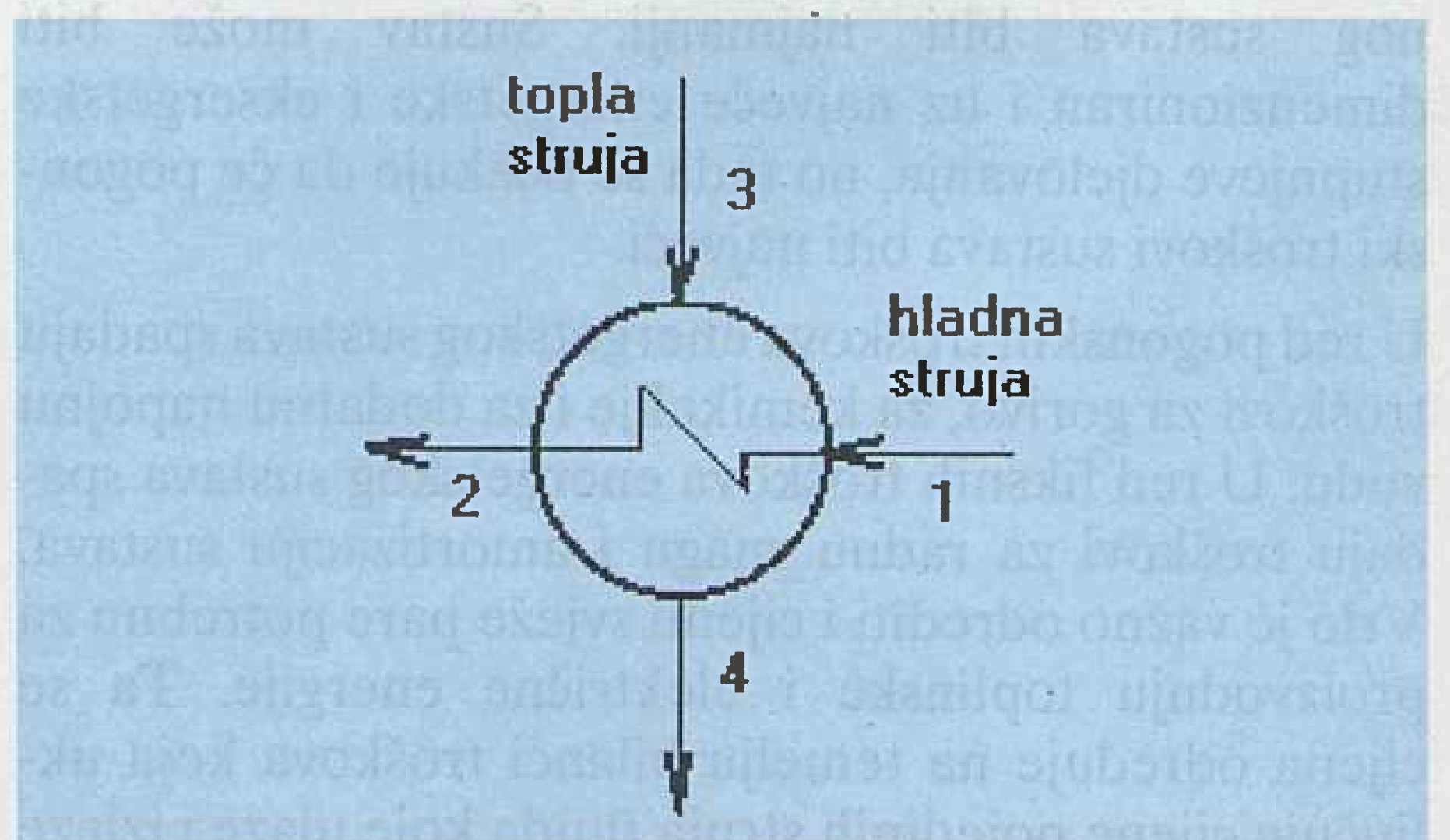
b) Turbina



Slika 2. Shema turbine s jednim oduzimanjem pare

Visina tekućih troškova produkta iz turbine (para, plinovi izgaranja) prema slici 2. jednaka je $\dot{C}_w$. Visina tekućih troškova goriva (svježa para, plinovi izgaranja) za proizvodnju električne energije jednaka je $\dot{C}_1 - \dot{C}_2 - \dot{C}_3$. Pomoćne termoeekonomske relacije su ako se izjednače specifične cijene svih triju struja fluida 1, 2 i 3 (pare ili plinova izgaranja). Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena električne snage po jedinici njezine energije, $\dot{C}_w$.

c) Izmjenjivač topline



Slika 3. Shema izmjenjivača topline u slučaju kad se grije hladna struja fluida

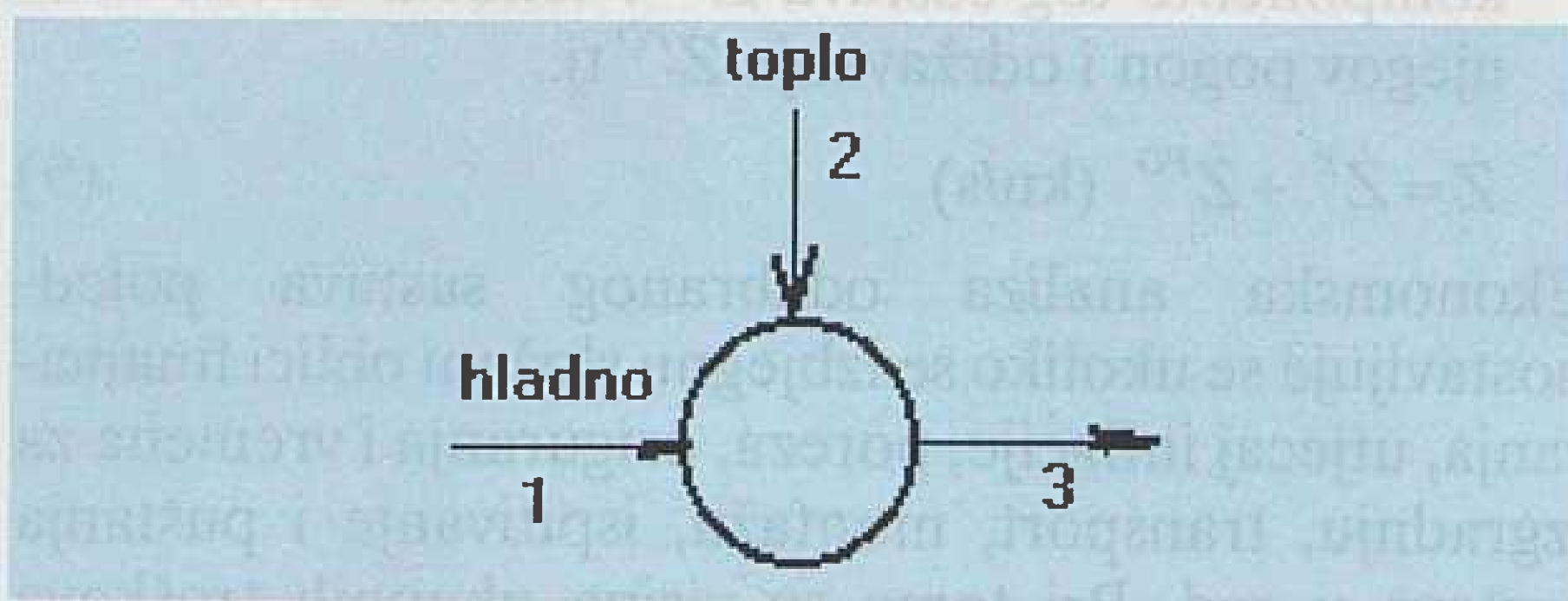
Visina tekućih troškova produkta iz izmjenjivača topline (ugrijava hladna struja fluida) prema slici 3. jednaka je $\dot{C}_2 - \dot{C}_1$. Visina tekućih troškova goriva (topla struja fluida koja se hladi) iznosi $\dot{C}_3 - \dot{C}_4$. Pomoćna termoeekonomska relacija jest ako se izjednači specifična cijena tople struje (c_3) sa specifičnom cijenom tople

¹ tekući troškovi – troškovi izraženi po jedinici vremena (kuna po sekundi)

struje koja je ohlađena zbog prijenosa topline na hladnu struju fluida (c_4). Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena zagrijane izlazne struje fluida (c_2).

Drugi je slučaj zagrijavanje tople struje fluida putem hladne struje fluida pomoću izmjenjivača topline (kada je $T_3 \leq T_{okoline}$). Tada je visina tekućih troškova produkta iz izmjenjivača topline (ugrijana topla struja fluida) jednaka $\dot{C}_4 - \dot{C}_3$. Visina tekućih troškova goriva (hladna struja fluida kojoj se odvodi toplota) iznosi $\dot{C}_1 - \dot{C}_2$. Pomoćna termoe ekonomska relacija jest ako se izjednači specifična cijena hladne struje fluida (c_2) sa specifičnom cijenom hladne struje kojoj je oduzet dio eksergije (c_1). Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena zagrijane tople struje fluida (c_4).

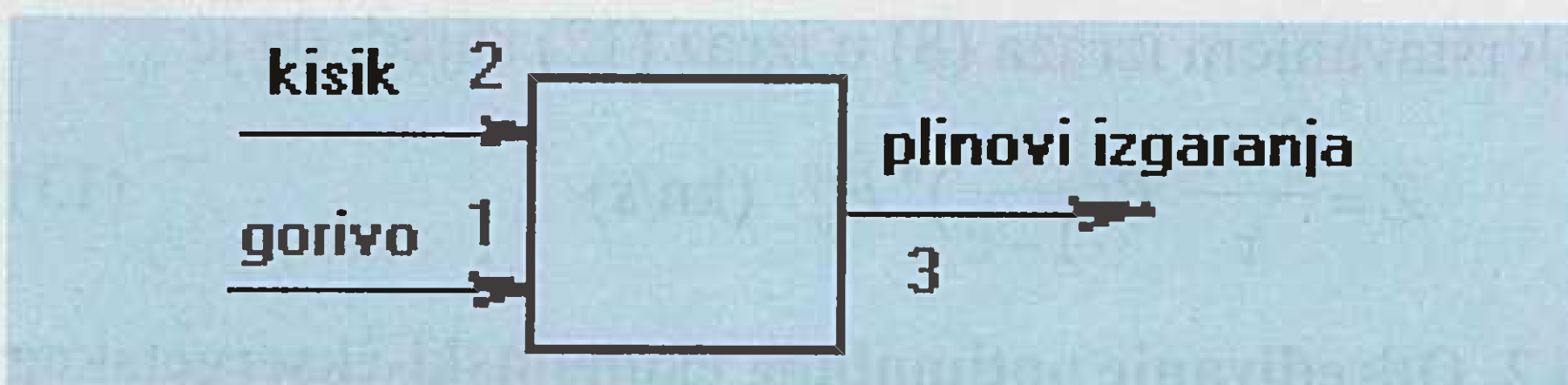
d) Jedinica miješanja tople i hladne struje fluida (toplinska miješalica)



Slika 4. Shema jedinice miješanja tople i hladne struje fluida (toplinska miješalica)

Visina tekućih troškova produkta iz miješalice (izmiješana struja fluida) prema slici 4. jednaka je $\dot{C}_3$. Visina tekućih troškova za gorivo (hladna i topla struja fluida) iznosi $\dot{C}_1 + \dot{C}_2$. Pomoćnih termoe ekonomskih relacija nema. Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena struje fluida koja je nastala miješanjem hladne i tople struje fluida (c_3).

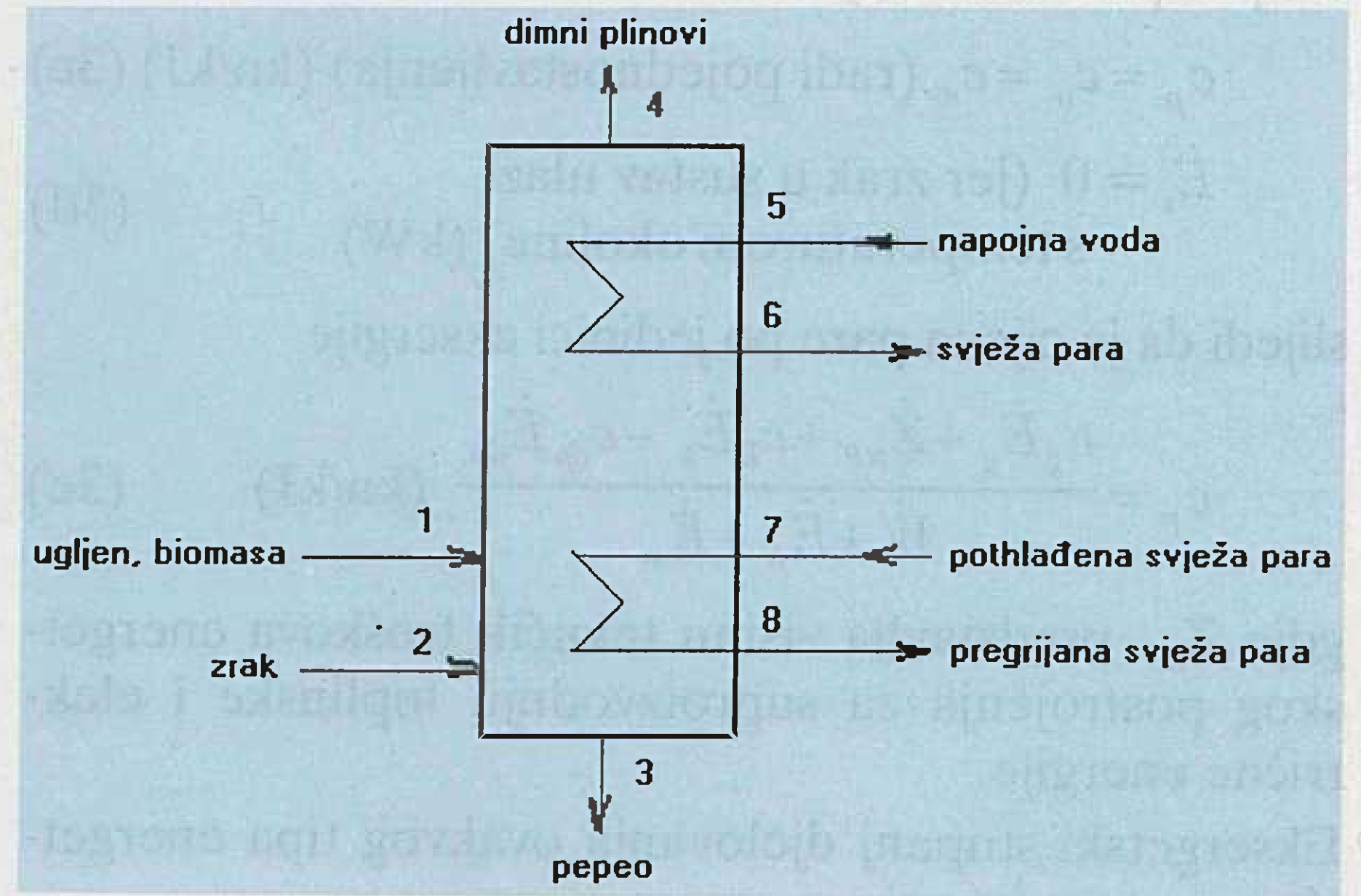
e) Komora izgaranja ili rasplinjač



Slika 5. Shema komore izgaranja ili rasplinjača

Visina tekućih troškova produkta iz komore izgaranja (plinovi izgaranja) prema slici 5. jednaka je $\dot{C}_3$. Visina tekućih troškova za gorivo i zrak iznosi $\dot{C}_1 + \dot{C}_2$. Pomoćnih termoe ekonomskih relacija nema. Iz ove se bilance troškova izračunava specifična cijena plinova izgaranja, c_3 .

f) Generator pare



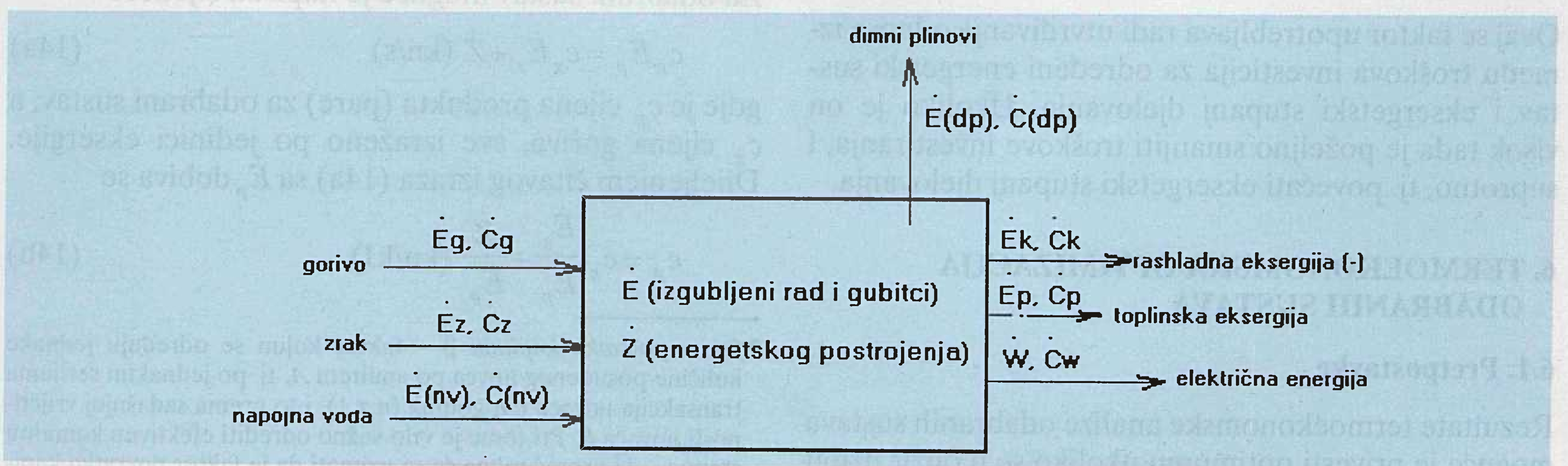
Slika 6. Shema generatora pare

Visina tekućih troškova za produkt (pregrijana svježa para) prema slici 6. jednaka je $(\dot{C}_6 - \dot{C}_5) + (\dot{C}_8 - \dot{C}_7)$. Visina tekućih troškova za gorivo (ugljen ili biomasa, zrak, napojna voda) iznosi $(\dot{C}_1 + \dot{C}_2) - (\dot{C}_3 + \dot{C}_4)$. Pomoćne termoe ekonomske relacije temelje se na odnosima tekućih troškova napojne vode, svježe pare i pregripane svježe pare s njihovim eksergetskim protocima, $\frac{(\dot{C}_6 - \dot{C}_5)}{(\dot{E}_6 - \dot{E}_5)} = \frac{(\dot{C}_8 - \dot{C}_7)}{(\dot{E}_8 - \dot{E}_7)}$. Iz ove se bilance troškova izraču-

nava specifična cijena svježe pare (c_6) ili specifična cijena pregripane svježe pare (c_8).

4. TERMOE KONOMSKA ANALIZA ENERGETSKOG SUSTAVA ZA SUPROIZVODNJU TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Energetski sustav za suproizvodnju topline i električne energije promatrat će se iz aspekta *crne kutije* (black box).



Slika 7. Shema energetskog sustava za suproizvodnju topline i električne energije

Bilanca troškova energetskog sustava sa slike 7. glasi:

$$\dot{C}_g + \dot{C}_z + \dot{C}_{mv} + \dot{Z}_{KP} = \dot{C}_w + \dot{C}_q + \dot{C}_{dp} - \dot{C}_k \text{ (kn/s)} \quad (3a)$$

odakle proizlazi da je

$$\begin{aligned} c_g \dot{E}_g + c_z \dot{E}_z + c_{mv} \dot{E}_{mv} + \dot{Z}_{kp} = \\ = c_w \dot{W} + c_p \dot{E}_p + c_{dp} \dot{E}_{dp} + c_k \dot{E}_k \text{ (kn/s)} \end{aligned} \quad (3b)$$

Uz pretpostavku da je

$$c_p = c_w = c_{mv} \text{ (radi pojednostavljenja) (kn/kJ)} \quad (3c)$$

$$\dot{E}_z = 0 \text{ (jer zrak u sustav ulazi s temperaturom okoline) (kW)} \quad (3d)$$

slijedi da je cijena pare po jedinici eksergije

$$c_p = \frac{c_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{KP} + c_k \dot{E}_k - c_{dp} \dot{E}_{dp}}{\dot{W} + \dot{E}_p - \dot{E}_{mv}} \text{ (kn/kJ)} \quad (3e)$$

gdje $\dot{Z}_{KP}$ predstavlja visinu tekućih troškova energetskog postrojenja za suproizvodnju toplinske i električne energije.

Eksergetski stupanj djelovanja ovakvog tipa energetskog sustava iznosi:

$$\varepsilon = \frac{\dot{W} + \dot{E}_p - \dot{E}_k - \dot{E}_{dp}}{\dot{E}_g + \dot{E}_{mv}} \quad (4)$$

5. TERMOEKONOMSKI FAKTORI

Faktori bitni za termoekonomsu analizu i optimizaciju su:

a) faktor relativne cijene produkta i goriva za komponentu ili čitav energetski sustav

$$r = \frac{c_p - c_g}{c_g} \quad (5)$$

gdje je c_p specifična cijena produkta, a c_g specifična cijena goriva.

Prema [3] ovaj se faktor može pisati i u sljedećem obliku

$$r = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + \frac{\dot{Z}}{c_g \dot{E}_p} \quad (6)$$

b) termoekonomski faktor za n-tu komponentu sistema

$$f = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + c_g (\dot{E}_v + \dot{E}_n)} \quad (7)$$

Ovaj se faktor upotrebljava radi utvrđivanja odnosa između troškova investicija za određeni energetski sustav i eksergetski stupanj djelovanja. Ukoliko je on visok tada je poželjno smanjiti troškove investiranja, i suprotno, tj. povećati eksergetski stupanj djelovanja.

6. TERMOEKONOMSKA OPTIMIZACIJA ODABRANIH SUSTAVA

6.1. Pretpostavke

Rezultate termoekonomske analize odabranih sustava moguće je privesti optimumu ukoliko se u obzir uzmu sljedeće pretpostavke:

- Eksergetski protok produkta $\dot{E}_p$ i specifična cijena goriva c_g ostaju konstantni.
- Za pojedini odabrani sustav očekuje se da će mu se visina ukupnih troškova kapitalnog investiranja TKI povećavati eksponencijalno s povećanjem njegovog eksergetskog stupnja djelovanja ε te mase produkta i njegovog eksergetskog protoka, $\dot{m}_p, \dot{E}_p$. Može se stoga sljedeće pretpostaviti

$$TKI = B \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)^n \dot{E}_p^m \text{ (kn)} \quad (8)$$

gdje su B, n, m konstante koje se određuju na temelju poznatih realnih cijena odabranih sustava istoga tipa a različitog eksergetskog stupnja djelovanja ε i eksergetskog protoka produkta $\dot{E}_p$.

- Visina ukupnih tekućih troškova $\dot{Z}$ za odabrani energetski sustav jednak je zbroju tekućih troškova za komponente tog sustava $\dot{Z}^K$ i tekućih troškova za njegov pogon i održavanje $\dot{Z}^{PO}$ tj.

$$\dot{Z} = \dot{Z}^K + \dot{Z}^{PO} \text{ (kn/s)} \quad (9)$$

Ekonomska analiza odabranog sustava pojednostavljuje se ukoliko se izbjegnu složeni oblici financiranja, utjecaj inflacije, poreza, osiguranja i vremena za izgradnju, transport, montažu, ispitivanje i puštanja sustava u rad. Pri tome se visina ukupnih troškova kapitalnih investicija množe s faktorom povratka kapitala β^2 , pa je

$$\dot{Z}^K = \beta(TKI) \text{ (kn/s)} \quad (10)$$

Tekući troškovi za pogon i održavanje odabranog sustava računaju se prema izrazu

$$\dot{Z}^{PO} = \gamma(TKI) \text{ (kn/s)} \quad (11)$$

gdje je $\gamma = 0.1$ kod industrijskih energetskih sustava. [3]

Uvrštavanjem izraza (10) i (11) u izraz (9) slijedi

$$\dot{Z} = \frac{\beta + \gamma}{\tau} (TKI) \text{ (kn/s)} \quad (12)$$

Uvrštavanjem izraza (8) u izraz (12) slijedi da je

$$\dot{Z} = \frac{\beta + \gamma}{\tau} B \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)^n \dot{E}_p^m \text{ (kn/s)} \quad (13)$$

6.2. Određivanje optimalnog ekonomski-eksergetskog stupnja djelovanja

Za odabrani sustav moguće je napisati sljedeće

$$c_p \dot{E}_p = c_g \dot{E}_g + \dot{Z} \text{ (kn/s)} \quad (14a)$$

gdje je c_p cijena produkta (pare) za odabrani sustav, a c_g cijena goriva, sve izraženo po jedinici eksergije. Dijeljenjem čitavog izraza (14a) sa $\dot{E}_p$ dobiva se

$$c_p = c_g \frac{\dot{E}_g}{\dot{E}_p} + \frac{\dot{Z}}{\dot{E}_p} \text{ (kn/kJ)} \quad (14b)$$

² faktor povratka kapitala β – faktor kojim se određuju jednake količine posuđenog novca po anuitetu A , tj. po jednakim serijama transakcija novaca u n godina ($n \gg 1$), i to prema sadašnjoj vrijednosti novaca P . Pri tome je vrlo važno odrediti efektivnu kamatnu stopu i_{eff} . U proračunima će se uzimati da je faktor povratka kapitala jednak 0,26.

Putem izraza $\varepsilon = \frac{\dot{E}_p}{\dot{E}_g}$ i izraza (13) moguće je napisati sljedeću jednadžbu

$$c_p = f(\varepsilon) = \frac{c_g}{\varepsilon} + \frac{(\beta + \gamma)B}{\tau \dot{E}_p^{1-m}} \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \right)^n \quad (\text{kn/kJ}) \quad (14c)$$

Najniža cijena pare dobiva se difrenciranjem jednadžbe (14c) te svođenjem njene prve derivacije na nulu, tj.

$$\frac{dc_p}{d\varepsilon} = 0.$$

Rezultat derivirane jednadžbe (14c) daje veličinu optimalnog ekonomski-eksergetskog stupnja djelovanja izraženog na sljedeći način

$$\varepsilon^{OPT} = \frac{1}{1 + F} \quad (15)$$

gdje je

$$F = \left(\frac{(\beta + \gamma)Bn}{\tau c_p \dot{E}_p^{1-m}} \right)^{1/(n+1)} \quad (16)$$

Najniža cijena pare $c_{p,\min}$ dobiva se ako se ε^{OPT} uvrsti u jednadžbu (34c)

$$\begin{aligned} c_{p,\min} &= f(\varepsilon^{OPT}) = \\ &= \frac{c_g}{\varepsilon^{OPT}} + \frac{(\beta + \gamma)B}{\tau \dot{E}_p^{1-m}} \left(\frac{\varepsilon^{OPT}}{1 - \varepsilon^{OPT}} \right)^n \quad (\text{kn/kJ}) \end{aligned} \quad (17)$$

Izraz (15) može se napisati i u obliku

$$F = \frac{1 - \varepsilon^{OPT}}{\varepsilon^{OPT}} \quad (18a)$$

ili u kombinaciji s izrazom (2)

$$F = \frac{\dot{E}_V + \dot{E}_N}{\dot{E}_p} \quad (18b)$$

Nadalje slijedi da je

$$(\dot{E}_V + \dot{E}_N)^{OPT} = \dot{E}_p F = \dot{E}_p \left(\frac{1 - \varepsilon^{OPT}}{\varepsilon^{OPT}} \right) \quad (\text{kW}) \quad (19)$$

Izraz (14c) može se izraziti i u formi sa $(\dot{E}_V + \dot{E}_N)$ kao

$$\begin{aligned} c_p &= f(\dot{E}_V + \dot{E}_N) = \\ &= c_g \left(1 + \frac{\dot{E}_V + \dot{E}_N}{\dot{E}_p} \right) + \frac{(\beta + \gamma)B}{\tau \dot{E}_p^{1-m}} \left(\frac{\dot{E}_p}{\dot{E}_V + \dot{E}_N} \right) \quad \text{kn/kJ} \end{aligned} \quad (20)$$

Diferenciranjem jednadžbe (20) i svođenjem derivacije na nulu, tj.

$$\frac{dc_p}{d(\dot{E}_V + \dot{E}_N)} = 0,$$

slijedi da je

$$n = \frac{c_g (\dot{E}_V + \dot{E}_N)^{OPT}}{\dot{Z}^{OPT}} \quad (21)$$

S jednadžbama (19) i (21) proizlazi da je

$$\dot{Z}^{OPT} = c_g \dot{E}_p \frac{F}{n} \quad (\text{kn/s}) \quad (22)$$

$$r^{OPT} = \frac{n+1}{n} F \quad (23)$$

$$f^{OPT} = \frac{1}{1+n} \quad (24)$$

gdje su redom

$\dot{Z}^{OPT}$ – optimalni ukupni tekući troškovi za odabrani energetski sustav

r^{OPT} – optimalni faktor relativne cijene pare i goriva za odabrani energetski sustav

f^{OPT} – optimalni termoeekonomski faktor za odabrani energetski sustav.

7. ODREĐIVANJE KONSTANTI B, n, m

Za određivanje konstanti B, n i m nužno je poznavati sljedeće:

- ukupnu cijenu energetskog sustava s cijenama njegovih komponenti;
- pogonske parametre energetskog sustava koji bi trebali biti jednaki za najmanje tri varijante energetskog sustava koji se između sebe razlikuju po ukupnoj cijeni i izlaznoj električnoj ili toplinskoj snazi.

Tablica 1. Podaci potrebni za izračunavanje konstanti B, n, m

Električna snaga postrojenja W, kW	1000	5000	10000
Kapacitet generator apare $\dot{m}_p$, kg/s	2,22	11,1	22,2
Masa goriva $\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_p(h_{izl} - h_{NV})}{\eta H_d}$, kg/s	0,5	2,42	4,74
Eksergetski protok goriva $\dot{E}_G$, kW	7229	34 990	68 533
Eksergetski protok pare na izlazu iz turbine $\dot{E}_p = \dot{m}_p [h_p - h_0 - T_0(s_p - s_0)]$, kW	1052	5261	10 523
Eksergetski stupanj djelovanja $\varepsilon = \frac{\dot{E}_p + W}{\dot{E}_G}$	0,284	0,293	0,3
Cijena energetskog sustava TKI, kn	20,000.000	50,000.000	90,000.000

$$\begin{aligned} 20000000 &= B \cdot \left(\frac{0,284}{1 - 0,284} \right)^n \cdot 1052^m \\ 50000000 &= B \cdot \left(\frac{0,293}{1 - 0,293} \right)^n \cdot 5261^m \\ 90000000 &= B \cdot \left(\frac{0,3}{1 - 0,3} \right)^n \cdot 10523^m \end{aligned} \quad \rightarrow \begin{aligned} B &= 134\,730\,539; \\ n &= 5,8; \\ m &= 0,488 \end{aligned}$$

U tablici 1. dani su podaci potrebni za izračunavanje konstanti B , n i m na primjeru protutlačnog parnoturbinskog postrojenja u varijantama različitih izlaznih električnih snaga od 1MW, 5MW i 10MW. Postrojenje je pogonjeno drvnom biomasom donje ogrjevnice moći $H_d = 15\,300$ kJ/kg [4]. Iskoristivost generatora pare je $\eta = 0,85$.

Zajednički podaci za protutlačno parnoturbinsko postrojenje u trima različitim varijantama po izlaznoj električnoj snazi su:

- parametri svježe pare (tlak/temperatura) : 4 MPa/ 450°C
- entalpija svježe pare $h_{izl} = 3329$ kJ/kg i njena entropija $s_{izl} = 6,933$ kJ/kg K
- parametri pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata (tlak/temperatura) : 0,05 MPa/ 115°C
- entalpija pare na izlazu iz turbine $h_p = 2710$ kJ/kg i njena entropija $s_p = 7,77$ kJ/kg K
- entalpija napojne vode $h_{NV} = 420$ kJ/kg i njena entropija $s_{NV} = 1,4$ kJ/kg K.

8. UTJECAJ POGONSKIH PARAMETARA ENERGETSKOG SUSTAVA NA ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE

Parametri koji mogu utjecati na određivanje najniže cijene pare su: eksergetski protok pare, vrijeme rada energetskog postrojenja u godini i cijena goriva. Kod promjene eksergetskog protoka pare može se utjecati sljedećim parametrima: entalpijom i entropijom pare, tj. njenim tlakom i temperaturom te masenim protokom pare.

Da bi mogli mijenjati različite pogonske parametre pare na izlazu iz protutlačnog parnog turboagregata, navode se sljedeći podatci:

1. masa raspoloživog drvnog ostatka: $\dot{m}_g = 1,5$ kg/s ;
2. donja ogrjevnica moć drvnog ostatka: $H_d = 15\,300$ kJ/kg ;
3. iskoristivost generatora pare: $\eta = 0,85$;
4. cijena drvnog ostatka: $c_g = 1,96 \cdot 10^{-6}$ kn/kJ [5] ;
5. vrijeme rada postrojenja u godini: $\tau = 5700$ h/god ;
6. entalpija svježe pare na izlazu iz generatora pare h_{izl} kao i entalpija napojne vode h_{NV} preuzete su iz prethodnog poglavlja ;
7. proizvodnja svježe pare:

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_g \eta H_d}{h_{izl} - h_{NV}} = 6,7 \text{ kg/s } (\approx 25 \text{ t/h}) .$$

Na dijagramu 1. prikazana je krivulja ovisnosti najniže cijene pare (izražene po jedinici eksergije!) na izlazu iz parnoturbinskog agregata o promjeni njenog eksergetskog toka. Krivulja je određena uvrštavanjem poznatih vrijednosti u jednadžbe (16) i (17). Pri tome treba imati na umu da maseni protok pare uvijek iznosi 6,7 kg/s. Mijenjaju se samo pogonski parametri pare koja ek-

spandira u protutlačnom parnoturbinskom agregatu. U tablici 2. se navodi nekoliko primjera pogonskih parametara pare.

Tablica 2. Primjeri pogonskih parametara pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata radi određivanja najniže cijene pare

Tlak pare p , bar	Temperatura pare T , °C	Entalpija pare h , kJ/kg	Entropija pare s , kJ/kgK	Eksergetski protok pare $\dot{E}_p$, kW	Najniža cijena pare $c_{p,\min}$, kn/GJ
0,4	120	2723	7,899	3012	14,55
0,4	160	2799	7,981	4067	14,50
0,5	120	2722	7,795	3206	14,525
0,5	140	2761	7,890	3284	14,528
0,6	140	2760	7,804	3444	14,515
0,6	160	2799	7,895	3530	14,511

Iz tablice 2. daje se zaključiti da se niže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata postižu kod njegovih viših pogonskih parametara, osobito viših temperatura.

9. UTJECAJ GODIŠNJEG RADA ENERGETSKOG POSTROJENJA NA ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE

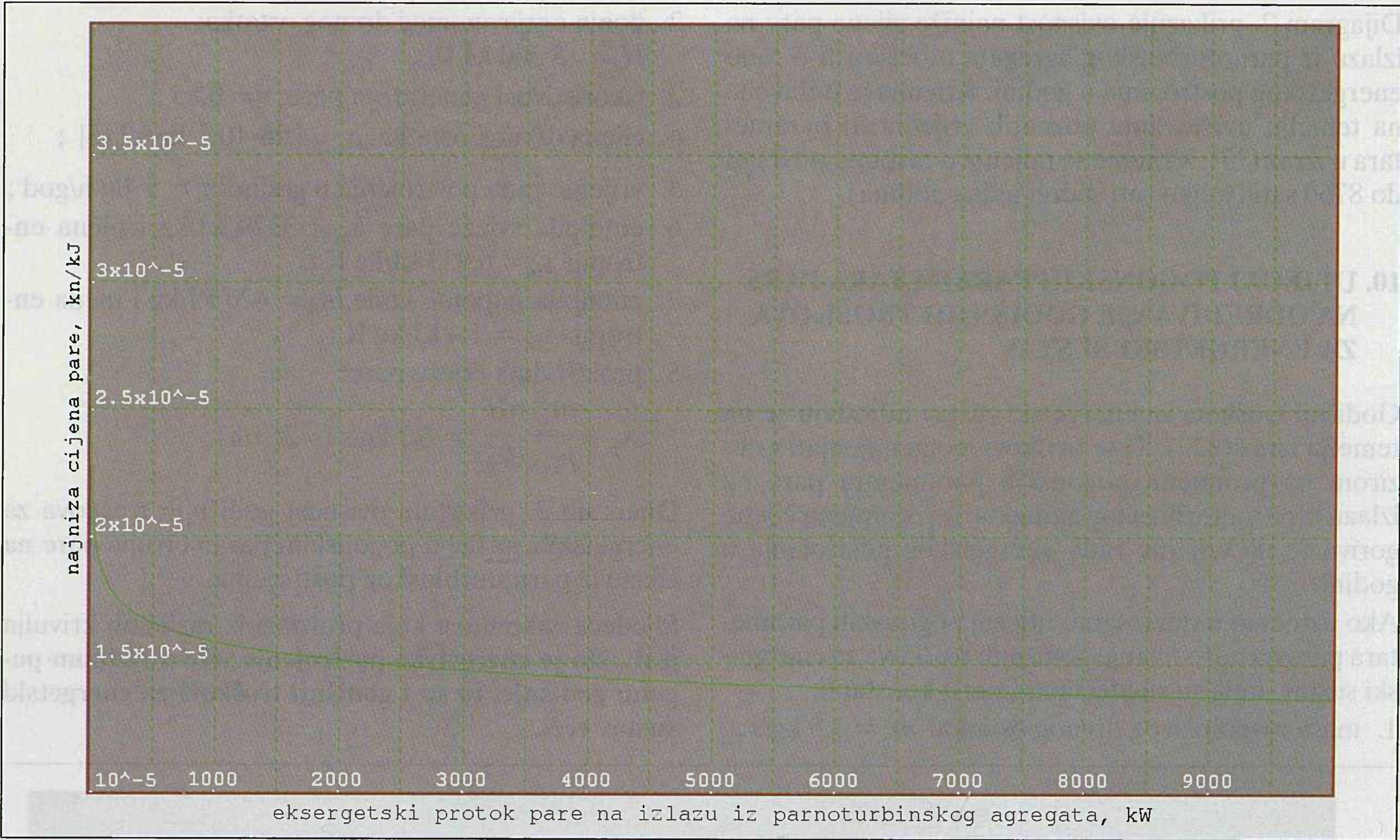
Za određivanje najnižih cijena pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata u ovisnosti o njegovom radu u godini dana, potrebno je odrediti sljedeće nepromjenjive parametre:

1. masa raspoloživog drvnog ostatka: $\dot{m}_g = 1,5$ kg/s ;
2. donja ogrjevnica moć drvnog ostatka: $H_d = 15\,300$ kJ/kg ;
3. iskoristivost generatora pare: $\eta = 0,85$;
4. cijena drvnog ostatka: $c_g = 1,96 \cdot 10^{-6}$ kn/kJ [5] ;
5. parametri svježe pare (tlak/temperatura) : 4 MPa/ 450°C ;
6. entalpija svježe pare $h_{izl} = 3329$ kJ/kg i njena entropija $s_{izl} = 6,933$ kJ/kg K ;
7. parametri pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata (tlak/temperatura) : 0,05 MPa/ 115°C ;
8. entalpija pare na izlazu iz turbine $h_p = 2710$ kJ/kg i njena entropija $s_p = 7,77$ kJ/kg K ;
9. entalpija napojne vode $h_{nv} = 420$ kJ/kg i njena entropija $s_{NV} = 1,4$ kJ/kg K ;
10. proizvodnja svježe pare:

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_g \eta H_d}{h_{izl} - h_{NV}} = 6,7 \text{ kg/s } (\approx 25 \text{ t/h})$$

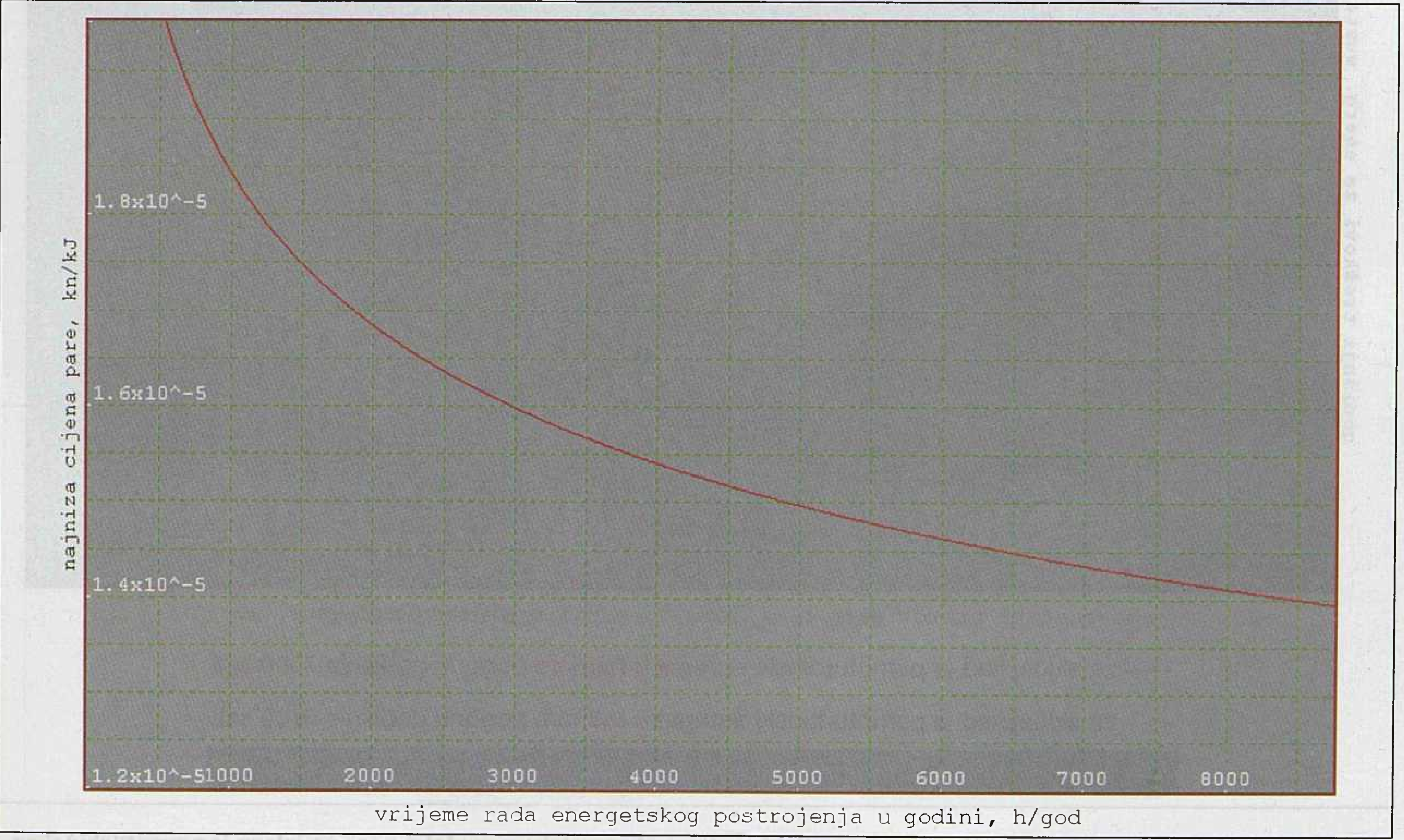
11. eksergetski protok pare:

$$\dot{E}_p = \dot{m}_p [h_p - h_0 - T_0 (s_p - s_0)] = 3174 \text{ kW}.$$



Dijagram 1. Ovisnost najniže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o njenom eksergetskom protoku

Prema dijagramu 1. proizlazi da (što) je eksergetski protok pare na izlazu iz parnoturbinskog postrojenja veći, što je njezina cijena po jedinici eksergije manja.



Dijagram 2. Ovisnost najniže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o radu energetskog postrojenja u godini

Iz dijagrama 2. može se zaključiti sljedeće: što je postrojenje duže u radnom pogonu tijekom godine, to je cijena pare niža.

Dijagram 2. prikazuje ovisnost najniže cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata u ovisnosti o radu energetskog postrojenja u godini. Krivulja je dobivena na temelju uvrštavanja poznatih vrijednosti parametara u izraz (17). Vrijeme se mijenja u rasponu od 0 sati do 8760 sati (toliko sati sadrži jedna godina).

10. UTJECAJ POGONSKIH PARAMETARA PARE NA ODREĐIVANJE GODIŠNJIH TROŠKOVA ZA ENERGETSKI SUSTAV

Godišnji troškovi za energetski sustav određuju se na temelju izraza (22). Ti se troškovi mogu mijenjati s obzirom na promjenu pogonskih parametara pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata, na promjenu cijene goriva te na vrijeme rada energetskog postrojenja u godini.

Ako uzmemo u obzir samo utjecaj pogonskih parametara pare na određivanje godišnjih troškova za energetski sustav, tada su sljedeći parametri konstanti:

1. masa raspoloživog drvnog ostatka: $\dot{m}_g = 1,5 \text{ kg/s}$;

2. donja ogrjevna moć drvnog ostatka:

$$H_d = 15\,300 \text{ kJ/kg} ;$$

3. iskoristivost generatora pare: $\eta = 0,85$;

4. cijena drvnog ostatka: $c_g = 1,96 \cdot 10^{-6} \text{ kn/kJ}$ [5] ;

5. vrijeme rada postrojenja u godini: $\tau = 5700 \text{ h/god}$;

6. entalpija svježe pare $h_{izl} = 3329 \text{ kJ/kg}$ i njena entropija $s_{izl} = 6,933 \text{ kJ/kg K}$;

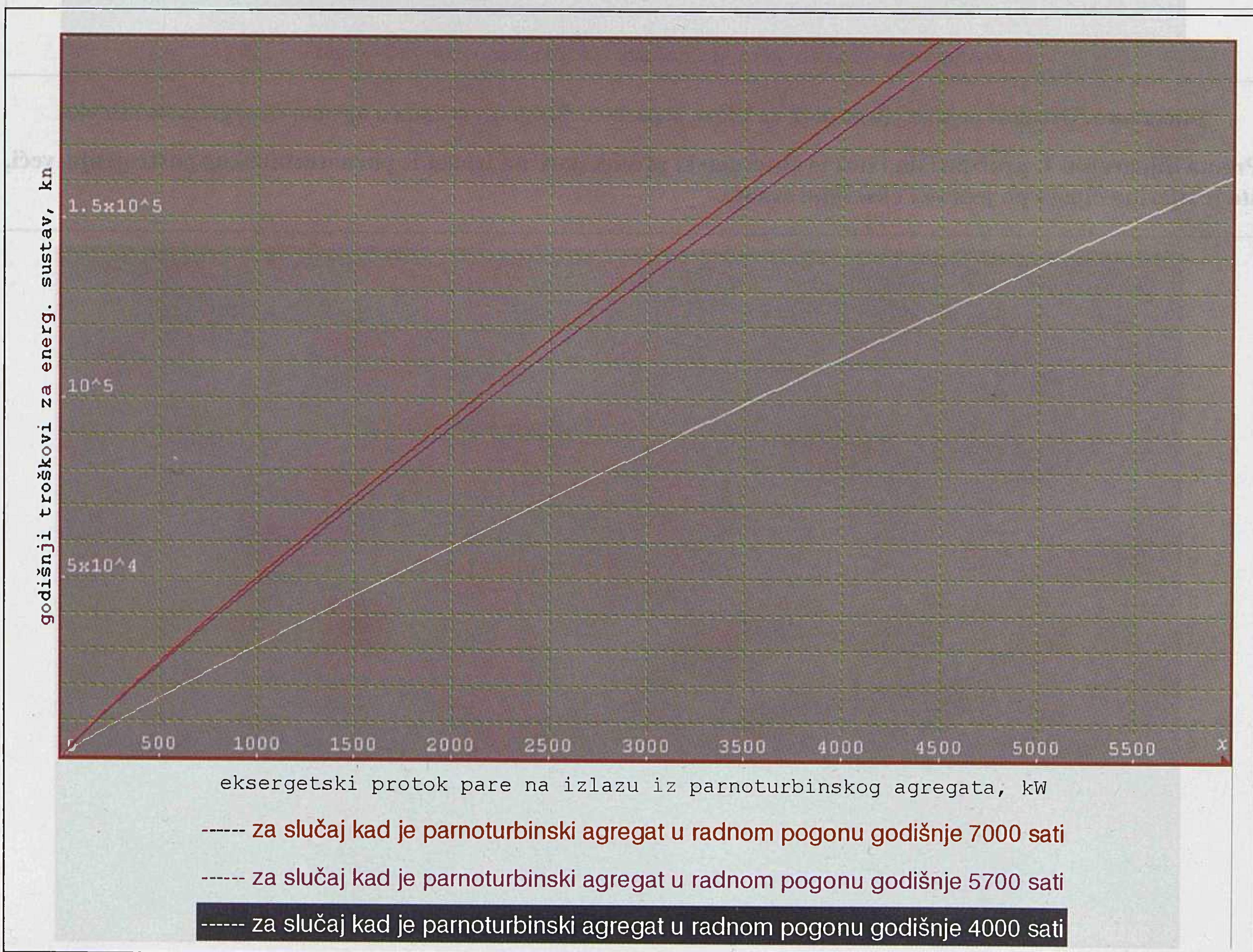
7. entalpija napojne vode $h_{NV} = 420 \text{ kJ/kg}$ i njena entropija $s_{NV} = 1,4 \text{ kJ/kg K}$;

8. proizvodnja svježe pare:

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{m}_g \eta H_d}{h_{izl} - h_{NV}} = 6,7 \text{ kg/s} (\approx 25 \text{ t/h}).$$

Dijagram 3. prikazuje ovisnost godišnjih troškova za energetskih sustav o pogonskim parametrima pare na izlazu iz parnoturbinskog postrojenja.

Sljedeća zakonitost koja proizlazi iz različitih krivulja jest: **što je energetsko postrojenje više u radnom pogonu godišnje, to su i godišnji troškovi za energetski sustav veći.**



Dijagram 3. Ovisnost godišnjih troškova za energetski sustav o eksergetskom protoku pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata

Dijagram 3. prikazuje zakonitost povećanja godišnjih troškova za energetski sustav prema određenim parametrima usporedo s povećanjem eksergetskog protoka pare na izlazu iz parnoturbinskog postrojenja.

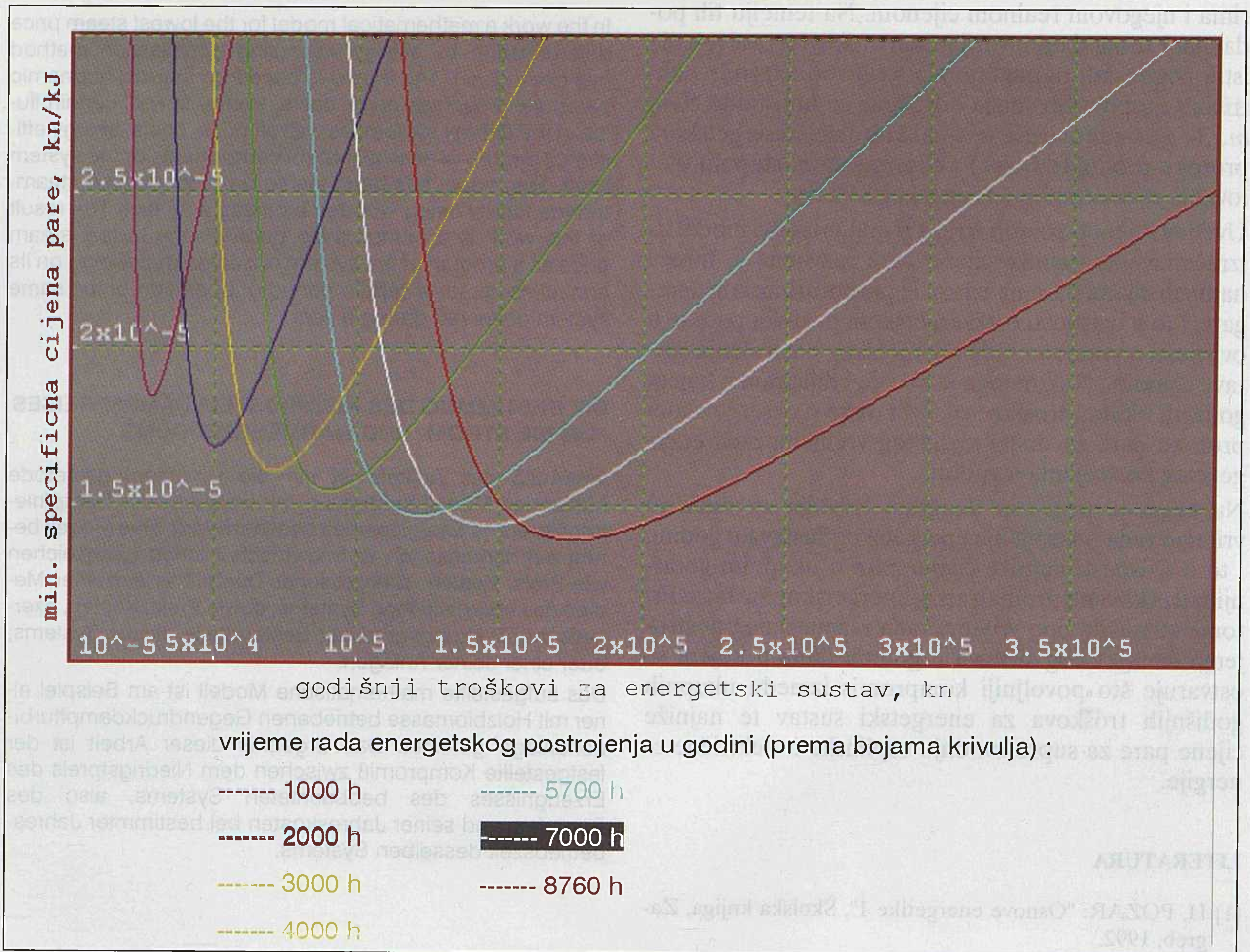
11. UTJECAJ GODIŠNJIH TROŠKOVA ZA ENERGETSKI SUSTAV NA ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE

Troškovi za energetski sustav odnose se na troškove amortizacije postrojenja, troškove goriva, te troškove za pogon i održavanje sustava. Na dijagramu 4. prikazana je ovisnost najniže specifične cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o godišnjim troškovima za energetski sustav s nekoliko različitih sati pogonskog rada energetskog postrojenja u godini.

- eksergijski protok pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata
(pogonski parametri pare: 0.05 MPa/115°C):

$$\dot{E}_p = \dot{m}_p [h_p - h_0 - T_0 (s_p - s_0)] = 3174 \text{ kW.}$$

Krivulje s različitim vremenima rada energetskog postrojenja u godini predstavljaju kompromis između onih godišnjih troškova za energetski sustav kod kojih je moguće postići najnižu cijenu pare u mreži najnižih cijena pare po jedinici eksergije. Iz dijagrama se može zaključiti da se najpovoljniji kompromis između nave-



Dijagram 4. Ovisnost najniže cijene pare po jedinici eksergije ili minimalne specifične cijene pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata o godišnjim troškovima za energetski sustav

Na dijagramu 4. prikazano je nekoliko krivulja koje su rezultat uvrštavanja izraza (22) u izraz (17):

$$c_{p,\min} = c_g \cdot \left(1 + \frac{n \cdot \dot{Z}^{OPT}}{c_g \cdot \dot{E}_p \cdot \tau \cdot 3600} \right) + \frac{(\beta + \gamma) \cdot B}{\tau \cdot \dot{E}_p^{1-m}} \cdot \left(\frac{c_g \cdot \dot{E}_p \cdot \tau \cdot 3600}{n \cdot \dot{Z}^{OPT}} \right) \quad (25)$$

unutar kojeg su uvršteni sljedeći nepromjenjivi parametri:

- cijena drvnog ostatka: $c_g = 1,96 \cdot 10^{-6} \text{ kn/kJ}$ [5];

denih relacija «godišnji troškovi – najniža cijena pare» postiže kad je energetsko postrojenje u radnom pogonu 5700 sati u godini. Povoljan je kompromis i kod rada postrojenja od 3000 sati u godini.

12. ZAKLJUČAK

U radu je postavljen matematički model za određivanje optimalnog ekonomski-eksergetskog stupnja djelovanja putem kojeg se može odrediti najniža cijena produkta. Taj model primjenjiv je, kako za kompo-

nente energetskog sustava, tako i za sam sustav (metoda *crna kutija*!).

Nakon kratkog objašnjenja o vezi između prvog i drugog zakona termodinamike dana je termoeкономска analiza tipičnih komponenti za energetski sustav na bazi plinskog i parnog procesa kao i termoeкономска analiza energetskog sustava za suproizvodnju toplinske i električne energije.

Dobiveni matematički model primijenjen je na protutlačnom parnoturbinskom postrojenju pogonjenog drvnom biomasom, s određenim pogonskim parametrima i njegovom realnom cijenom. Na temelju tih podataka i trima danim varijantama takovog postrojenja istih pogonskih parametara, a različitih izlaznih električnih i toplinskih snaga određene su konstante B , n , m . Te konstante ovise o cijeni koštanja, eksergetskom protoku produkta (pare) i eksergetskom stupnju djelovanja razmatranog energetskog sustava.

Uvrštavanjem poznatih izraza u matematički model za izračunavanje najniže cijene pare razvijena je mreža najnižih cijena pare na izlazu iz parnoturbinskog agregata, i to u ovisnosti o eksergetskom protoku pare te u ovisnosti o vremenu rada energetskog postrojenja sustava u godini. Nakon toga je razvijen dijagram u kojem godišnji ukupni troškovi sustava ovise o eksergetskom protoku pare za slučaj različitog vremena rada energetskog postrojenja u godini.

Na kraju je prikazan dijagram krivulja za različito vrijeme rada postrojenja energetskog sustava u godini, i to u ovisnosti najniže cijene pare o ukupnim godišnjim troškovima promatranog energetskog sustava. Pri tome se tražilo ono vrijeme rada razmatranog postrojenja energetskog sustava u godinu dana u kojem se ostvaruje što povoljniji kompromis između ukupnih godišnjih troškova za energetski sustav te najniže cijene pare za suproizvodnju toplinske i električne energije.

LITERATURA

- [1] H. POŽAR: "Osnove energetike 1", Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- [2] Z. PRELEC: "Energetika u procesnoj industriji", Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [3] A. BEJAN, G. TSATSARONIS, M. MORAN,: "Thermal design and optimization", A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1996.
- [4] B. KRAUT: "Strojarski priručnik", Tehnička knjiga, Zagreb, 1976., str. 193.
- [5] *GROWING POWER* – "Advanced solutions for bio-energy technology from Finland", pp 13, Found in <http://www.tekes.fi/>
- [6] K. RAŽNJEVIĆ: "Termodinamičke tablice", Školska knjiga, Zagreb, 1975.
- [7] V. URAN: "Optimizacija industrijskih energana s kogeneracijskim sustavom proizvodnje energije", Seminarski rad, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2002.
- [8] L. KRNIĆ, Z. ŠIKIĆ: "Račun, diferencijalni i integralni", I. Dio, Školska knjiga, Zagreb, 1992.

DETERMINATION OF LOWEST STEAM PRICE FOR HEAT AND ELECTRIC ENERGY PRODUCTION

In the work a mathematical model for the lowest steam price determination by exergy unit using optimisation method has been given. The model is based on thermal-economic parameters such as price, costs, exergy flow of certain fluids of the energy system, as well as price, costs, exergy efficiency degree of energy system components or the system itself. The model has been tested on a condensed steam-turbine facility using wooden biomass as a fuel. The result of this work is a compromise between the lowest steam price as a product of the system observed depending on its annual costs, for a certain period of operation of the same system observed during a year.

DIE BESTIMMUNG DES NIEDRIGSTEM DAMPFPREISES FÜR DIE STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG

Innerhalb des Artikels ist ein die Optimierungsmethode nützendes Modell aufgebaut, mit welchem der Dampfpreis je Exergieeinheit bestimmt wird. Das Modell beruht auf numerischen wärmewirtschaftlichen Kennzeichen wie Preis, Kosten, exergetischer Durchfluss einzelner Medien des energetischen Systems, sowie Preis, Kosten, exergetischer Wirkungsgrad der Bestandteile dieses Systems, oder einer seiner Anlagen.

Das aufgestellte mathematische Modell ist am Beispiel einer mit Holzbiomasse betriebenen Gegendruckdampfturbinenanlage getestet. Das Ergebnis dieser Arbeit ist der festgestellte Kompromiß zwischen dem Niedrigstpreis des Erzeugnisses des beobachteten Systems, also des Dampfes, und seiner Jahreskosten bei bestimmter Jahresbetriebszeit desselben Systems.

Naslov pisca:

Vedran Uran, dipl. ing.

"CASE" d.o.o.

Šetalište XIII. divizije 28

51000 Rijeka, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:

2002 – 12 – 10.

METODE ZA IZBOR OPTIMALNE VELIČINE I LOKACIJE UGRADNJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA

Prof. dr. sc. Matislav Majstrovic – mr. sc. Goran Majstrovic – mr. sc. Davor Bajs, Zagreb

UDK 621.3.083.5:621.316
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U članku se prezentira matematički model za određivanje optimalne veličine i lokacije kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, gubitaka radne snage i blizine sloma napona u elektroenergetskom sustavu. Na temelju sva tri promatranja kriterija formira se jedna objektna funkcija čije rješenje daje optimum, odnosno najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja radi zadovoljenja naponskih prilika, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona.

Ključne riječi: matematički model, kompenzacijski uređaj, naponske prilike, gubici radne snage, blizina sloma napona.

1. UVOD

Osnovni zadatak elektroenergetskog sustava je da svojim korisnicima osigura kvalitetnu električnu energiju, odnosno konstantnost frekvencije i napona unutar dopuštenih granica u svim čvorištima mreže, uz održanje zahtijevane sigurnosti i raspoloživosti, pri čemu je navedene zadatke potrebno realizirati uz što manje troškove. Stoga se kod planiranja izgradnje i korištenja prijenosne mreže često susreće problem određivanja najpovoljnije lokacije i snage kompenzacijskih uređaja. Priključkom kompenzacijskih uređaja na mrežu utječe se na profil napona u mreži, a time i na tokove jalovih snaga, čime se također može utjecati i na promjenu gubitaka radne snage u sustavu.

Problem kompenzacije jalove snage u mreži tako dobiva dvije dimenzije: zadovoljenje naponskih prilika i minimiziranje gubitaka radne snage. Doda li se tome i problem određivanja najkritičnijih čvorišta s aspekta kolapsa napona, vidimo da problem postaje dosta složen. Prilikom određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja potrebno je također voditi računa o ograničenjima koja proistječu iz pogonskih zahtjeva i ustrojstva sustava. Stoga se javila potreba za razvijanjem matematičkog modela kojim bi se obuhvatili svi navedeni problemi i ograničenja, te definirala metoda koja bi se mogla koristiti u budućnosti u praksi pri rješavanju razmatranog problema. Ta metoda bi, uz potpune ulazne podatke, dala nedvosmisleno rješenje o lokaciji i veličini kompenzacijskog uređaja u sustavu. U ovom radu opisana je metoda [1] po kojoj se određuje najpovoljnija lokacija kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika, minimiziranja gubitaka radne snage, te s aspekta najkritičnijeg

čvorišta za kolaps napona. Pridodavanjem težinskih faktora za svaki pojedini kriterij određuje se najpovoljnija lokacija istodobno za sva tri uvjeta.

2. MATEMATIČKI MODEL

2.1. Određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika

Princip po kojem se određuje najpovoljnija lokacije je najveći odziv (promjena) napona na male jedinične vrijednosti injektiranih reaktivnih snaga. U najpovoljniji čvor se zatim priključuju standardne nazivne vrijednosti kompenzacijskih uređaja, sve dok se ne zadovolje naponske prilike. Pri tom se vodi računa o postavljenim ograničenjima s aspekta dopuštenih naponskih granica (relacije 1 i 2), te dopuštene promjene iznosa (modula) napona pri uključivanju kompenzacijskog uređaja (3).

$$V_j \leq V_{\max j} \quad (1)$$

$$V_j \geq V_{\min j} \quad (2)$$

$$|\Delta V_j| \leq \Delta v V_j \quad (3)$$

gdje su:

V_j – modul napona u čvoru ; $j = 1, 2, \dots, N$; $j \neq r$,

N – ukupni broj čvorova,

r – čvor u kojem se nalazi regulacijska elektrana,

$V_{\max}$ – maksimalni dopušteni iznos napona,

$V_{\min}$ – minimalni dopušteni iznos napona,

ΔV – porast modula napona u čvoru u odnosu na početnu vrijednost prilikom uključivanja kompenzacijskog uređaja,

Δv – dozvoljeni relativni skok modula napona, na pr. 0.05 (5%).

Ukoliko se neko od navedenih ograničenja ne može zadovoljiti u promatranom čvoru, prelazi se na sljedeći čvor s najvećim prosječnim koeficijentom naponske osjetljivosti. Postupak se ponavlja sve dok se ne zadovolje sva ograničenja (optimalno rješenje) ili dok se ne iskoriste sve mogućnosti (sub-optimalno rješenje).

Svakom pojedinom čvoru pridružuje se jedan koeficijent kojim se opisuje koliko je promatrani čvor povoljan za ugradnju kompenzacijskog uređaja. Na taj način se dobije matrica tzv. koeficijenata naponske osjetljivosti. Koeficijent naponske osjetljivosti opisuje koliko bi bila ukupna promjena napona ako u taj čvor injektiramo reaktivnu snagu, odnosno ugradimo kompenzacijski uređaj jedinične snage. Najpovoljniji čvor za ugradnju kompenzacijskog uređaja je predstavljen maksimalnim koeficijentom naponske osjetljivosti. Matematički model počinje klasičnom matričnom jednačbom koja opisuje vezu između napona i struje u stacionarnom stanju:

$$[V] = [Z][I] \quad (4)$$

gdje su:

$[V]$ – n -dimeziionalni vektor napona čvorova (kompleksna varijabla $V = V\Theta$),

$[I]$ – N - dimenziionalni vektor struja čvorova (kompleksna varijabla),

$[Z]$ – $N \times N$ dimenziionalna matrica vlastitih i međusobnih impedancija čvorova (kompleksna varijabla).

Injektiranjem reaktivne snage u neki čvor, koje ćemo prikazati kao injektirane struje $[\Delta I]$, dolazi do promjene napona za $[\Delta V]$. Naponi čvorova nakon injekcije struja $[\Delta I]$ su:

$$[V_{novi}] = [V] + [\Delta V] \quad (5)$$

odnosno

$$[V_{novi}] = [Z][I] + [Z][\Delta I] \quad (6)$$

Prema tome vrijedi da je:

$$[\Delta V] = [Z][\Delta I] \quad (7)$$

Dakle, promjena napona jednaka je umnošku vlastitih i međusobnih impedancija čvorova i promjene struje. Poznati izraz za prividnu snagu je:

$$S = VI^* \quad (8)$$

gdje je:

I^* – konjugirano kompleksna vrijednost struje.

Dogovorom je određeno da se induktivna snaga označava kao pozitivna, odnosno kapacitivna jalova snaga kao negativna. Iz izraza (8) vrijedi da je konjugirano kompleksna vrijednost struje jednaka:

$$I^* = \frac{S}{V} \quad (9)$$

prema tome je za induktivnu jalovu snagu:

$$I = \frac{S^*}{V^*} = \frac{(P + jQ)^*}{V^*} = \frac{P - jQ}{V^*} \quad (10)$$

Analogno, uz kapacitivnu jalovu snagu vrijedi:

$$I = \frac{S^*}{V^*} = \frac{P + jQ}{V^*} \quad (11)$$

Sada je potrebno razmotriti jedan po jedan čvor. Ukoliko se u k -ti čvor priključi kompenzacijski uređaj male snage (Q), injektirana struja u tom čvoru će biti:

$$\Delta I_k = \frac{\pm jQ}{V_k^*} \quad (12)$$

gdje predznak ovisi o vrsti razmatranog kompenzacijskog uređaja (kapacitivnog ili induktivnog karaktera). Za slučaj da samo u čvor k injektiramo struju ΔI_k , jednačba (7) poprima sljedeći oblik:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_k \\ \vdots \\ \Delta V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1k} & \dots & Z_{1N} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ Z_{k1} & \dots & Z_{kk} & \dots & Z_{kN} \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ Z_{N1} & \dots & Z_{Nk} & \dots & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \Delta I_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Prema (12) porast napona u i -tom čvoru bit će:

$$\Delta V_i = Z_{ik} \cdot \Delta I_k = Z_{ik} \left(\frac{\pm jQ}{V_k^*} \right) \quad (14)$$

Na taj način se dobije odziv (promjena) napona u svakom pojedinom čvoru zbog injektirane struje ΔI_k u čvoru k . Sumiranjem odziva svih čvorova kojima su naponi izvan dopuštenih granica dobije se veličina koju nazivamo *koeficijent naponske osjetljivosti* (*PKNO*), definirana je kao suma promjena modula napona pri uključenju male reaktivne snage u čvoru k .

$$PKNO_k = \sum_{i \in P} |\Delta V_i| = \sum_{i \in P} \left| Z_{i,k} \left(\frac{\pm jQ}{V_k^*} \right) \right| \quad (15)$$

gdje je:

P – skup svih čvorova za koje je napon izvan dopuštenih granica, odnosno vrijedi da je:

$$V_i \geq V_{\max i} \quad (16)$$

ili

$$V_i \leq V_{\min i} \quad (17)$$

Da bi se odredio raspored potrebnih kompenzacijskih uređaja za svaki potencijalni čvor odredi se koeficijent naponske osjetljivosti, te se na kraju odredi čvor s najvećim koeficijentom. Međutim, taj koeficijent opisuje promatrani čvor samo za jedno stanje sustava. Da bi se dobila realnija slika o kvaliteti tog čvora kao potencijalne lokacije potrebno je na isti način promotriti i druga moguća stanja sustava s aspekta drugih opterećenja, neraspoloživosti pojedinih komponenti i sl. Budući da se svako stanje sustava očekuje s nekom vjerojatnošću, množenjem koeficijenta naponske osjetljivosti za promatrano stanje i vjerojatnosti pripadnog stanja, te sumiranjem tih umnožaka za sva promatrana stanja dobit će se prosječni koeficijent naponske osjetljivosti, tj. realni pregled kvalitete tog

čvora kao potencijalne lokacije kompenzacijskog uređaja koji najviše zadovoljava sva razmatrana stanja. Uzme li se u razmatranje M_s različitih pogonskih stanja sustava, za svako razmatrano stanje $i = 1, 2, \dots, M_s$ dobije se koeficijent naponske osjetljivosti u čvoru k :

$$PKNO_{k,i} = \left(\sum_{l \in P} |\Delta V_l| \right)_i = \left(\sum_{l \in P} Z_{l,k} \left| \frac{\pm j Q_l}{V_k^*} \right| \right)_i; \quad i=1,2,\dots,M_s. \quad (18)$$

Uz vjerojatnost svakog promatranog pogonskog stanja, potrebno je svakom stanju pridodati i mjeru naponske težine. Bez obzira na vjerojatnost pojave nekog stanja, ne smiju imati istu težinu stanje pri kojem se rješava vrlo izraženi problem nezadovoljenja naponskih ograničenja i stanje pri kojem se rješava relativno mali problem nezadovoljavanja naponskih prilika. Stoga se svakom razmatranom stanju sustava pridjeljuje težinski faktor kojeg nazivamo mjera naponske težine (w_i). Taj faktor definiramo kao sumu razlika dopuštenog napona i trenutnog napona čvorova kojima su naponi izvan dopuštenih granica.

$$w_i = \sum_{l \in P_i} |\Delta V_l| \quad (19)$$

gdje je:

ΔV_l – odstupanje modula napona od dopuštene vrijednosti u čvoru 1.

Za problem previsokih napona:

$$\Delta V_l = V_l - V_{\max 1}, \quad \text{za } V_l > V_{\max 1} \quad (20)$$

Za problem preniskih napona:

$$\Delta V_l = V_{\min 1} - V_l, \quad \text{za } V_l < V_{\min 1} \quad (21)$$

Koristeći sve spomenute relacije mogu se odrediti prosječni koeficijenti naponske osjetljivosti potencijalnih lokacija kompenzacijskih uređaja u M_s razmatranih pogonskih stanja, uz uvažavanje vjerojatnosti tih stanja i njihove naponske težine. Konačno, *prosječni koeficijenti naponske osjetljivosti (PKNO)* su:

$$PKNO_k = \frac{1}{M_s} \frac{\sum_{i=1}^{M_s} \left(p_i \cdot w_i \cdot \left(\sum_{l \in P} \left| Z_{l,k} \left(\frac{\pm j Q_l}{V_k^*} \right) \right| \right)_i \right)}{\sum_{i=1}^{M_s} p_i \sum_{l \in P} w_l} \quad (22)$$

$i=1,2,\dots,M_s, k \in \Omega$

gdje je:

M_s – ukupni broj razmatranih stanja,

Ω – skup svih čvorova - potencijalnih lokacija kompenzacijskog uređaja.

Prema tome je matrica prosječnih koeficijenata naponske osjetljivosti

$$[PKNO] = [PKNO_1 \quad PKNO_2 \quad \dots \quad PKNO_{r-1} \quad \dots \quad PKNO_{r+1} \quad \dots \quad PKNO_N]^t \quad (23)$$

gdje t znači transponiranu matricu. Prema iznosu prosječnog koeficijenta naponske osjetljivosti rangiraju se čvorovi, odnosno potencijalne lokacije kom-

penzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika. Na slici 1 prikazan je pojednostavljeni dijagram toka predloženog postupka određivanja najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika.

2.2. Određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage u mreži

Pretpostavimo da promatrani EES ima N čvorova i NG grana. Pretpostavimo da se u čvoru r nalazi regulacijska elektrana. Gubitak snage je razlika između snage izvora i snage potrošača.

$$\Delta S = S_c - S_p \quad (24)$$

gdje je:

S_c – prividna snaga izvora

S_p – prividna snaga potrošača.

Ukupni gubici radne snage su realni dio ukupnih gubitaka prividne snage, odnosno:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \operatorname{Re}(\Delta S) = \operatorname{Re}(S_c - S_p) = \\ &= \operatorname{Re} \left(\sum_{k=1}^N P_{ek} + \sum_{k=1}^N Q_{ek} - \sum_{k=1}^N P_{pk} - j \sum_{k=1}^N Q_{pk} \right) = \\ &= \sum_{k=1}^N P_{ek} - \sum_{k=1}^N P_{pk} = \sum_{k=1}^N (P_{ek} - P_{pk}) \end{aligned} \quad (25)$$

gdje je:

S_{ek} – ukupna prividna snaga izvora u čvoru k ,

P_{ek} – ukupna radna snaga izvora u čvoru k ,

Q_{ek} – ukupna jalova snaga izvora u čvoru k ,

N – ukupni broj čvorova.

Budući da je radna snaga po svim čvorovima fiksna po iznosu i unaprijed poznata u jednom razmatranom stanju (osim u čvoru regulacijske elektrane), ukupni gubici radne snage mogu se računati prema sljedećem izrazu:

$$\Delta P = (P_{er} - P_{pr}) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r}}^N (P_{ek} - P_{pk}) \quad (26)$$

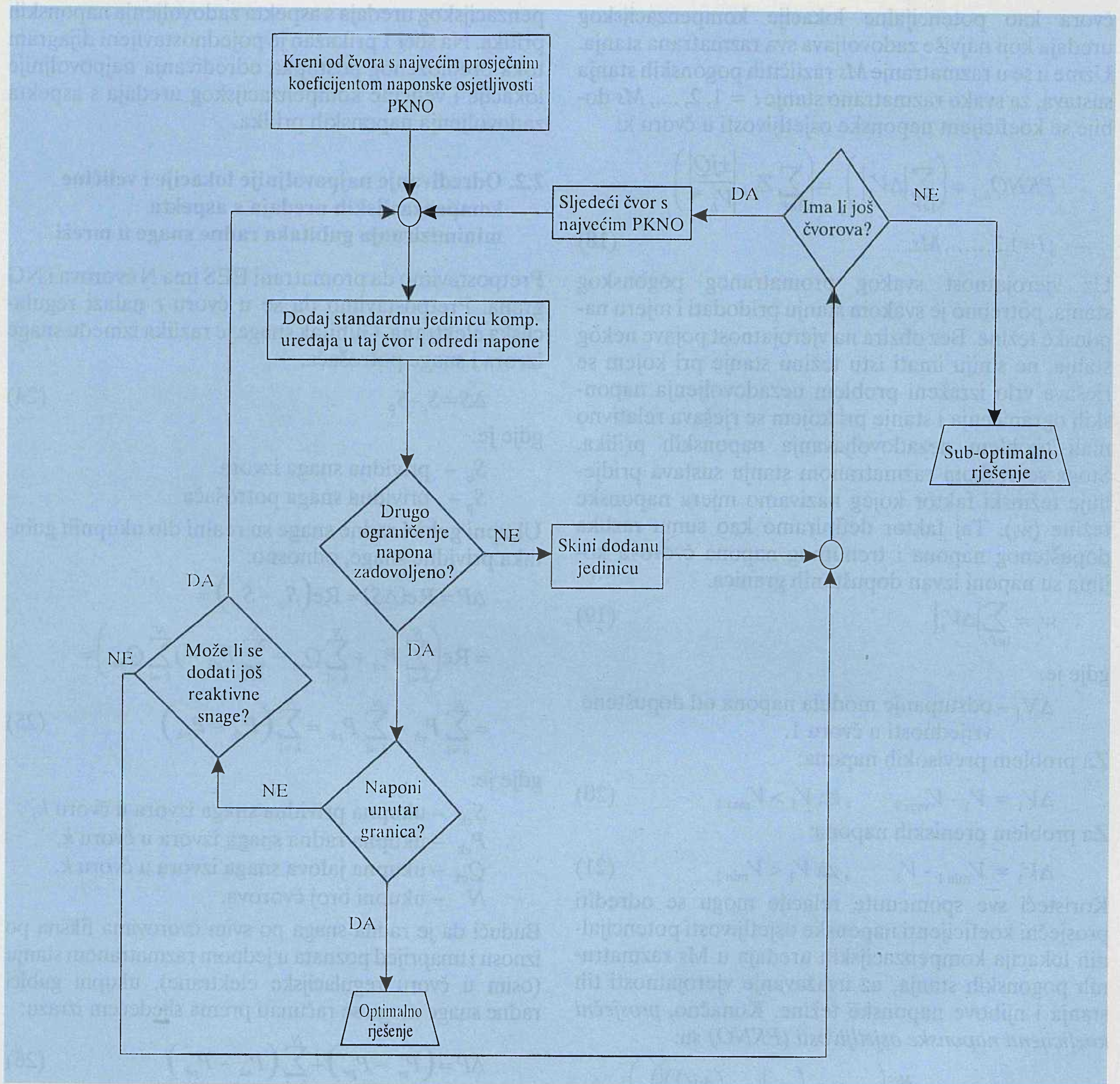
U izrazu (26), sve veličine su unaprijed definirane, osim iznosa radne snage regulacijske elektrane (P_{er}). Stoga se može reći da su ukupni gubici radne snage u promatranoj mreži proporcionalni promjeni radne snage regulacijske elektrane. Općenito se može reći da je prividna snaga u čvoru k jednaka razlici snage izvora i snage potrošača u tom čvoru, te je možemo pisati:

$$\begin{aligned} S_k &= P_k + jQ_k = (P_{ek} - P_{pk}) + j(Q_{ek} - Q_{pk}) \\ S_k &= V_k \sum_{k=1}^N Y_{ki}^* \cdot V_i^* \end{aligned} \quad (27)$$

gdje je:

V_k – napon čvora k (kompleksna veličina),

Y_{ki} – član matrice vlastitih i međusobnih admintancija čvorova (kompleksna veličina).



Slika 1. Blok dijagram toka postupka određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja naponskih prilika

Napone i vlastite i međusobne admintancije čvorova moguće je pisati na sljedeći način:

$$V_k = V_k \cdot e^{j\theta_k} \quad (28)$$

$$Y_{ki} = G_{ki} + jB_{ki} \quad (29)$$

Iz prethodna tri izraza dobije se:

$$P_k = V_k \sum_{i=1}^N V_i [G_{ki} \cos(\theta_k - \theta_i) + B_{ki} \sin(\theta_k - \theta_i)] \quad (30)$$

$$Q_k = V_k \sum_{i=1}^N V_i [G_{ki} \sin(\theta_k - \theta_i) - B_{ki} \cos(\theta_k - \theta_i)]$$

Iz jednadžbe (27) je vidljivo da je:

$$P_{ek} = P_k - P_{pk} \quad , \quad Q_{ek} = Q_k - Q_{pk} \quad (31)$$

Iz (30) i (31) slijedi da je:

$$P_{ek} = V_k \sum_{i=1}^N V_i [G_{ki} \cos(\theta_k - \theta_i) + B_{ki} \sin(\theta_k - \theta_i)] + P_{pk} \quad (32)$$

$$Q_{ek} = V_k \sum_{i=1}^N V_i [G_{ki} \sin(\theta_k - \theta_i) - B_{ki} \cos(\theta_k - \theta_i)] + Q_{pk}$$

Radi jednostavnosti ćemo razliku kuteva pisati kao $O_{ki} = O_k - O_i$, pa prema tome iz izraza (26) i (32) slijedi izraz za gubitke radne snage u mreži:

$$\Delta P = \sum_{k=1, k \neq r}^N (P_{ek} - P_{pk}) + V_r \sum_{i=1}^N V_i [G_{ki} \cos \theta_{ki} + B_{ki} \sin \theta_{ki}] \quad (33)$$

Dakle, ukupni gubici radne snage u mreži su funkcija parametara mreže i napona čvorova. Iz toga slijedi da

se reguliranjem napona u mreži mogu mijenjati i gubici radne snage. Ovisnost gubitaka radne snage o promjeni napona čvorova prikazuje se pomoću totalnog diferencijala koji je u matricnom obliku zapisan relacijom (34). Matrica $[JC]$ je stupčasta matrica s elementima prema (34a).

$$[d(\Delta P)] = [JC]' [\Delta U] \quad (34)$$

$$[JC] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{cr}}{\partial \theta} \\ \frac{\partial P_{cr}}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (34a)$$

Nadalje je

$$[\Delta U] = \begin{bmatrix} \Delta \Theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (35)$$

Osim jednadžbe (34) za proračun ovisnosti promjene gubitaka radne snage o promjeni napona koristimo i matricnu jednadžbu za proračun napona čvorova:

$$[\Delta PQ] = [J] [\Delta U] \quad (36)$$

gdje je:

- $[J]$ – Jakobijana reda $2(N-1)$,
- $[\Delta PQ]$ – stupčasta matrica razlike izračunate i stvarne radne i jalove snage po svim čvorovima
- $[\Delta U]$ – stupčasta matrica razlike izračunate i stvarne vrijednosti napona po svim čvorovima (35).

Iz ranije navedenih jednadžbi (34) i (36) dobija se:

$$[\Delta PQ] = [J] [\Delta U] \Rightarrow [\Delta U] = [J]^{-1} [\Delta PQ] \quad (37)$$

$$[d(\Delta P)] = [JC]' [\Delta U] = [JC]' [J]^{-1} [\Delta PQ] = [L] [\Delta PQ] \quad (38)$$

gdje je $[L]$ matrica koeficijenata osjetljivosti. Ona je jednaka

$$[L] = [JC]' [J]^{-1} \quad (39)$$

Matrica $[L]$ je reda $2N-2$. Prvih $N-1$ članova matrice opisuje ovisnost promjene gubitaka radne snage o promjeni radne snage u čvorovima, dok preostalih $N-1$ članova opisuje ovisnost promjene gubitaka radne snage o promjeni jalove snage čvorova. Posljednji $N-1$ članovi matrice $[L]$ predstavljaju koeficijente osjetljivosti s aspekta jalove snage, odnosno pomoću tih članova se rangiraju čvorovi po povoljnosti lokacije kompenzatora jalove snage. Najpovoljniji je onaj čvor koji ima najviši koeficijent osjetljivosti. Dakle, analiza najpovoljnije lokacije kompenzacijskog uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage temelji se na proračunu elemenata karakteristične matrice osjetljivosti koji opisuju povoljnost pojedinih čvorova. Analogno prethodno analiziranom kriteriju zadovoljenja naponskih prilika, razmatraju se različita pogonska stanja. Ta pogonska stanja okarakterizirana su pripad-

nim vjerojatnostima (p_i), čija suma je jednaka jedan, budući da je riječ o međusobno nezavisnim događajima. Za svako pogonsko stanje dobit će se pripadna matrica $[L]_i$, gdje je $i=1,2,\dots, Ms$ broj različitih stanja sustava. Srednja ili prosječna matrica koeficijenata osjetljivosti definira se kao suma umnožaka vjerojatnosti pogonskih stanja i pripadnih matrica osjetljivosti:

$$[\bar{L}] = \sum_{i=1}^{Ms} p_i [L]_i \quad (40)$$

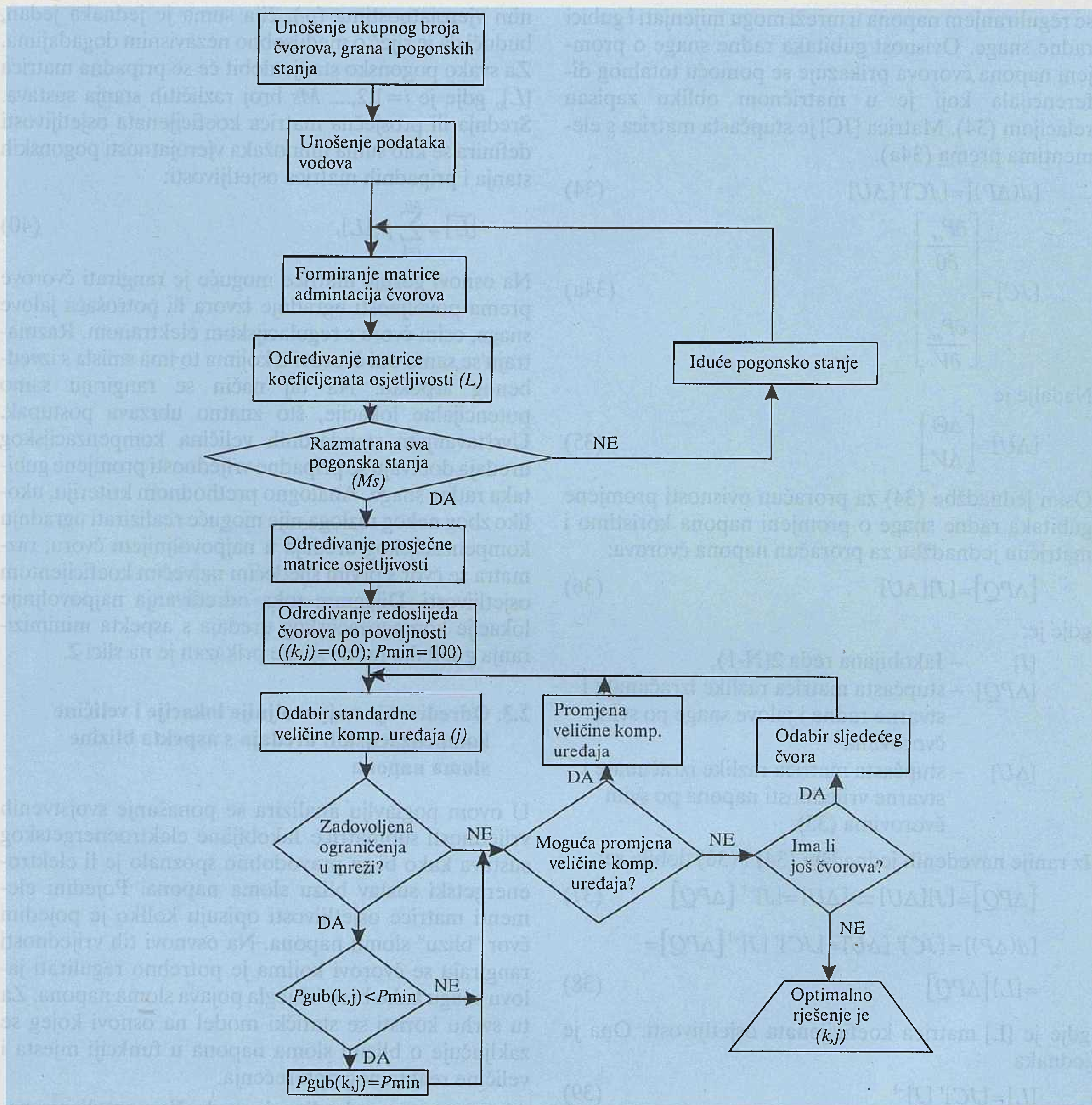
Na osnovi gornje matrice moguće je rangirati čvorove prema povoljnosti ugradnje izvora ili potrošača jalove snage, osim čvora s regulacijskom elektranom. Razmatraju se samo oni čvorovi u kojima to ima smisla s izvedbenog aspekta. Na taj način se rangiraju samo potencijalne lokacije, što znatno ubrzava postupak. Uvrštavanjem standardnih veličina kompenzacijskog uređaja dobivaju se pripadne vrijednosti promjene gubitaka radne snage. Analogno prethodnom kriteriju, ukoliko zbog nekog razloga nije moguće realizirati ugradnju kompenzacijskog uređaja u najpovoljnijem čvoru, razmatra se čvor s prvim sljedećim najvećim koeficijentom osjetljivosti. Dijagram toka određivanja najpovoljnije lokacije kompenzacijskog uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage prikazan je na slici 2.

2.3. Određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta blizine sloma napona

U ovom poglavlju analizira se ponašanje svojstvenih vrijednosti submatrice Jakobijane elektroenergetskog sustava kako bi se pravodobno spoznalo je li elektroenergetski sustav blizu sloma napona. Pojedini elementi matrice osjetljivosti opisuju koliko je pojedini čvor "blizu" slomu napona. Na osnovi tih vrijednosti rangiraju se čvorovi kojima je potrebno regulirati jalovu snagu kako bi se izbjegla pojava sloma napona. Za tu svrhu koristi se statički model na osnovi kojeg se zaključuje o blizini sloma napona u funkciji mjesta i veličine reaktivnog opterećenja.

Algoritmom za određivanje područja upravljanja naponom u jednom EES-u određuju se slabe električne veze. Na osnovi ovih veza može se odrediti područje upravljanja naponom. Baza ove analize je submatrica Jakobijane (PV i PQ sabirnice). Sam postupak se sastoji od sljedećih koraka:

1. traži se najveći dijagonalni element submatrice Jakobijane,
2. dijeli se svaki element submatrice s najvećim dijagonalnim elementom (normiraju se elementi submatrice),
3. apsolutne vrijednosti normiranih elemenata svakog retka se posebno poredaju od najmanje do najveće vrijednosti. Potom se eliminiraju elementi s najmanjim vrijednostima iz svakog retka. Eliminacija se vrši sve dotle dok suma eliminiranih elemenata bude manja ili jednaka unaprijed definiranom broju,



Slika 2. Blok dijagram toka postupka određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta minimiziranja gubitaka radne snage

4. grupe sabirnica koje su ostale još povezane čine područje upravljanja naponom.

Opća jednađžba kod određivanja naponskih prilika i tokova snaga glasi:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (41)$$

gdje je:

- ΔP – vektor razlika radnih snaga čvora,
- ΔQ – vektor razlika jalovih snaga čvora,
- $\Delta \delta$ – vektor razlike kutova napona,
- ΔV – vektor razlike modula napona.

Prethodna jednađžba pisana u proširenoj formi je:

$$[\Delta P] = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \cdot [\Delta \delta] + \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V] \quad (42)$$

$$[\Delta Q] = \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \cdot [\Delta \delta] + \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V]$$

Budući da tražimo čvorove (sabirnice) u kojima će se postaviti kompenzacijski uređaji, u tim čvorovima se javlja matrica $[\Delta Q]$, dok je matrica $[\Delta P] = [0]$ (nul-matrica, tj. matrica čiji su svi članovi jednaki nuli). Svi čvorovi u mreži su potencijalne lokacije, osim čvorova u kojima su regulacijske elektrane. Uvažavajući prethodne jednađžbe, slijedi da je:

$$[0] = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \cdot [\Delta \delta] + \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V] \quad (43)$$

odnosno:

$$\left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \cdot [\Delta \delta] = - \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V] \quad (44)$$

$$[\Delta \delta] = - \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]^{-1} \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V]$$

Iz jednadžbe (42) vrijedi da je:

$$[\Delta Q] = \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \cdot [\Delta \delta] + \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V] \quad (45)$$

Iz (44) i (45) dobije se:

$$[\Delta Q] = \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \cdot \left(- \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]^{-1} \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V] \right) + \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] \cdot [\Delta V] \quad (46)$$

$$[\Delta Q] = \left(- \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]^{-1} \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] + \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] \right) \cdot [\Delta V] = [D] \cdot [\Delta V]$$

gdje je:

$$[D] = \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \cdot \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]^{-1} \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] + \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right]$$

U skladu s jednadžbom (46) vrijedi da je:

$$[D] \cdot [\Delta V] = [\Delta Q] \quad (47)$$

Dimenzija kvadratne matrice $[D]$ je M (gdje je M – ukupni broj sabirnica-potencijalnih lokacija ($M \leq (N-1)$)). Ova se jednadžba može čitati na način da linearni operator $[D]$ transformira vektor napona $[\Delta V]$ u vektor $[\Delta Q]$. Može se postaviti pitanje postoje li u ovom prostoru neki vektori koje linearna transformacija, određena matricom $[D]$ kao operatorom, transformira u kolinearne vektore, tako da se može napisati da je

$$[D] \cdot [\Delta V] = \lambda \cdot [\Delta V] \quad (48)$$

gdje je:

λ – neki skalar.

Ova matrična jednadžba se može napisati i na sljedeći način:

$$([D] - \lambda \cdot [I]) \cdot [\Delta V] = [0] \quad (49)$$

gdje je:

$[I]$ – jedinična matrica, a $[0]$ – nul vektor.

Ovo je sustav od M homogenih linearnih jednadžbi sa M nepoznanica i imat će netrivialna rješenja samo onda kada je determinanta sustava jednaka nuli, tj. ako vrijedi:

$$|D - \lambda \cdot I| = 0 \quad (50)$$

Odnosno može se pisati

$$p(\lambda) = |\lambda \cdot I - D| \quad (51)$$

gdje je $p(\lambda)$ karakteristični polinom matrice $[D]$. Budući da su elementi matrice $[D]$ realni brojevi, slijedi da je

$$p(\lambda) = \lambda^M - c_1 \cdot \lambda^{M-1} + c_2 \cdot \lambda^{M-2} - \dots + (-1)^M \cdot c_M \quad (52)$$

Svi koeficijenti ovog polinoma su realni brojevi. U skladu s jednadžbom (51) ti koeficijenti su:

$$c_1 = \sum_{i=1}^M d_{ii} \quad (53)$$

gdje je:

d_{ii} – i -ti dijagonalni element matrice $[D]$.

Općenito je c_j ($j=2, \dots, M-1$) jednak zbroju glavnih subdeterminanti reda j . Ima ih $\left(\frac{M}{j} \right)$, dok je

$$c_M = |D| \quad (54)$$

Karakteristični polinom (jednadžba 52) se može napisati i na sljedeći način:

$$p(\lambda) = \prod_{i=1}^M (\lambda - \lambda_i) \quad (55)$$

gdje su:

λ_i – ($i = 1, 2, \dots, M$) korijeni karakterističnog polinoma, odnosno karakteristične jednadžbe (49) i nazivaju se svojstvene vrijednosti matrice $[D]$.

Matematičkom analizom se može pokazati da se svojstvene vrijednosti matrice $[D]$, dakle veličine λ , odnose na odgovarajuće čvorove. Veza između korijena i koeficijenata karakterističnog polinoma je sljedeća:

$$c_1 = \sum_{i=1}^M \lambda_i \quad (56)$$

$$c_2 = \lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 + \dots + \lambda_{M-1} \cdot \lambda_M \quad (57)$$

$$c_M = \sum_{j=1}^M \lambda_j \quad (58)$$

U skladu s jednadžbama (58) i (54) dovoljno je da jedna svojstvena vrijednost bude nula, pa da determinanta matrice $[D]$ bude jednaka nuli, što znači da je ova matrica singularna. Drugim riječima, ako se u realnom EES-u najmanja svojstvena vrijednost približava nuli, to znači da se EES približava točki kada nastupa slom napona. Stoga je na osnovi rangiranja svojstvenih vrijednosti moguće rangirati potencijalne lokacije za ugradnju kompenzacijskog uređaja s aspekta izbjegavanja sloma napona. Najmanji iznos funkcije λ opisuje čvor u kojem je slom napona najbliži. Dakle, čvor s najmanjim λ je "najkritičniji" čvor s aspekta sloma napona. Budući da su kod prethodna dva uvjeta najpovoljniji čvorovi za ugradnju kompenzacijskog uređaja bili opisani najvećim iznosom pripadnog koeficijenta osjetljivosti, na isti način promatramo i slom napona, odnosno uzimamo recipročnu vrijednost koeficijenta λ .

$$\varepsilon_j = \frac{1}{\lambda_j} \quad (59)$$

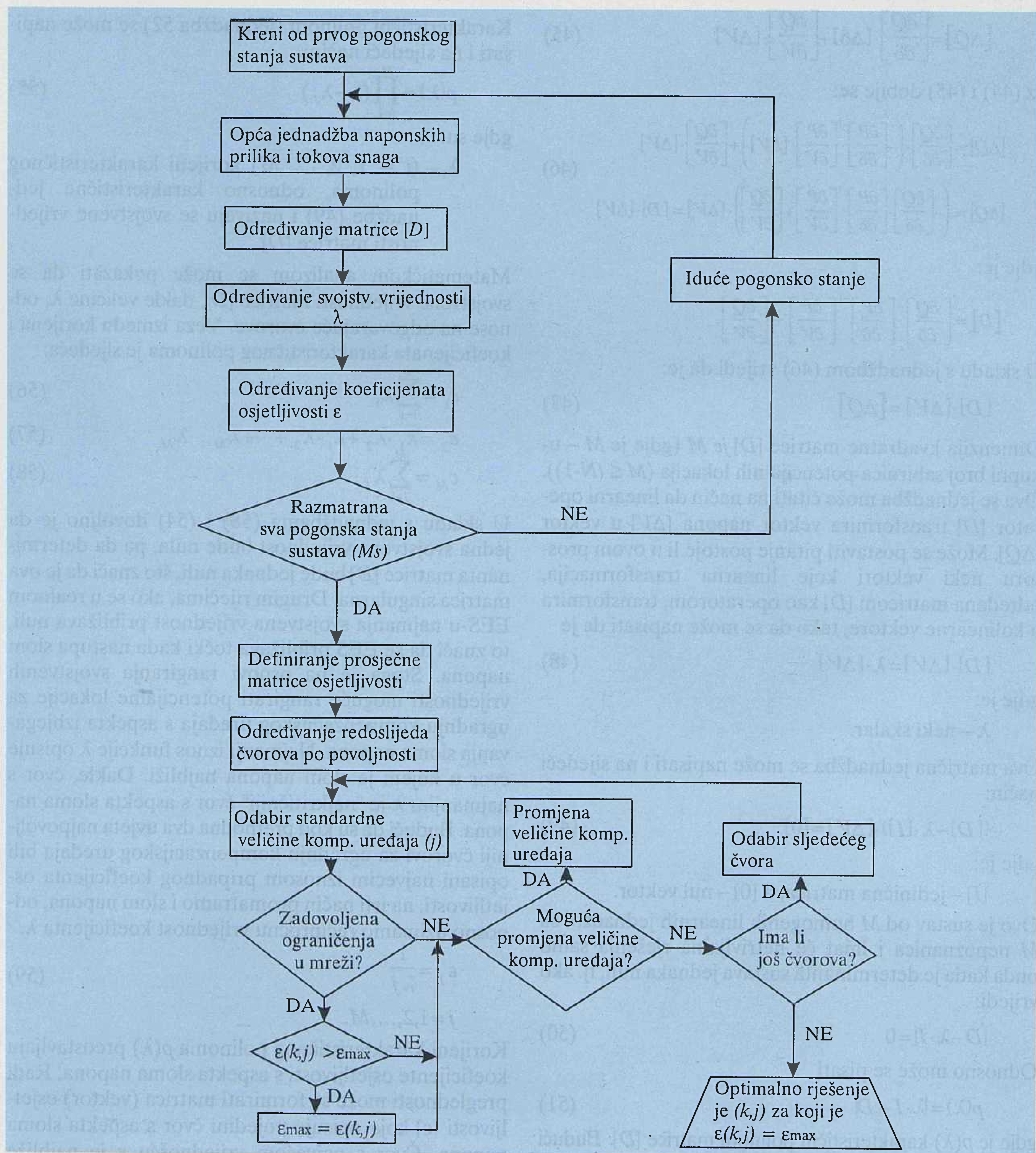
$j = 1, 2, \dots, M$.

Korijeni karakterističnog polinoma $p(\lambda)$ predstavljaju koeficijente osjetljivosti s aspekta sloma napona. Radi preglednosti može se formirati matrica (vektor) osjetljivosti $[\varepsilon]$ koja opisuje pojedini čvor s aspekta sloma napona. Čvor s najvećom vrijednošću ε je najbliže slomu napona, tj. to je najpovoljniji čvor za ugradnju kompenzacijskog uređaja s aspekta sloma napona.

Analogno prethodnim poglavljima potrebno je provesti analizu najkritičnijih čvorova za više pogonskih stanja ($i=1,2,...M_s$). Svako pogonsko stanje je okarakterizirano određenom vjerojatnošću p_i . Srednja ili prosječna matrica koeficijenta osjetljivosti s aspekta sloma napona definira se kao suma umnožaka vjerojatnosti pogonskih stanja i pripadnih matrica osjetljivosti:

$$[\bar{\varepsilon}] = \sum_{i=1}^{M_s} p_i [\varepsilon]_i \quad (60)$$

Članovi matrice $[\bar{\varepsilon}]$ uključuju u sebi razmatrana pogonska stanja u dužem vremenskom razdoblju i opisuju pogodnost čvorova za ugradnju kompenzacijskih uređaja. Na taj način smo rangirali čvorove s aspekta sloma napona. Najveći element matrice $[\bar{\varepsilon}]$ je najpogodnija lokacija za ugradnju uređaja za kompenzaciju jalove snage. Nakon toga potrebno je odrediti najpovoljniju veličinu kompenzacijskog uređaja. Sljedeća slika prikazuje dijagram toka funkcije određivanja najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta sloma napona.



Slika 3. Blok dijagram toka postupka određivanja optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta izbjegavanja sloma napona

2.4. Konačni odabir lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja

Nakon provedenih analiza u prethodnim poglavljima dobili smo tri karakteristične matrice koje rangiraju čvorove kao potencijalne lokacije kompenzacijskog uređaja prema tri opisana kriterija. Postavlja se pitanje kako od tri neovisna uvjeta i tri neovisna rangiranja lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja dobiti jedinstvenu lokaciju i veličinu kompenzacijskog uređaja, odnosno jedinstveno rješenje koje bi moglo zadovoljiti sve postavljene uvjete.

Kao što je ranije rečeno, ovisno o konkretnom problemu, ali i iskustvu, svakom pojedinom kriteriju pridaje se koeficijent važnosti, tj. težinski faktor, ovisno o tome koliku ulogu ima razmatrani kriterij (naponske prilike, gubici radne snage ili slom napona) u rješavanju problema u konkretnoj mreži. Težinski faktori mogu imati vrijednost i veću od jedan, ovisno o slobodnoj procjeni autora. Dakle, težinski faktori nisu vjerojatnosti, niti se mogu dokazati eksperimentom. To su veličine koje se definiraju na osnovi slobodne procjene planera koji na osnovi vlastitih iskustava, vezano za funkcioniranje prijenosne mreže, može postaviti relativne odnose između pojedinih stanja mreže s obzirom na kvalitetu pogona.

Osim toga potrebno je naglasiti da se kompenzacijski uređaj ugrađuje za jedno duže vremensko razdoblje, dakle ne za trenutne potrebe u mreži. Stoga je potrebno naći najpovoljniju lokaciju i veličinu kompenzacijskog uređaja za više različitih pogonskih stanja i za sagledivo iduće razdoblje. Zbog toga se koriste prosječne vrijednosti koeficijenata, te se formira jedna općenita matrica $[f]$ koja predstavlja objektnu funkciju i to na sljedeći način:

$$[f] = w_{nap} [PKNO] + w_{gub} [L] + w_{sлом} [\bar{\epsilon}] \quad (61)$$

gdje su:

$[PKNO]$ – matrica prosječnih koeficijenata naponske osjetljivosti prema jednadžbi (23)

$[L]$ – matrica prosječnih koeficijenata osjetljivosti s aspekta smanjenja gubitaka radne snage prema jednadžbi (40)

$[\bar{\epsilon}]$ – matrica prosječnih koeficijenata osjetljivosti s aspekta sloma napona prema jednadžbi (60)

w_{nap} – težinski faktor koji opisuje ulogu zadovoljenja naponskih prilika pri ugradnji kompenzacijskih uređaja

w_{gub} – težinski faktor koji opisuje ulogu zadovoljenja gubitaka radne snage pri ugradnji kompenzacijskih uređaja

$w_{sлом}$ – težinski faktor koji opisuje ulogu sloma napona pri ugradnji kompenzacijskih uređaja.

Na taj način matrica $[f]$ rangira elemente po sva tri kriterija. Najpovoljniji čvor za ugradnju kompenzacijskog uređaja je onaj koji je u matrici $[f]$ opisan najvećim koeficijentom. Time smo odredili najpovoljniju lokaciju, ali ne i veličinu kompenzacijskog uređaja.

Nakon određivanja najpovoljnije lokacije potrebno je odrediti i najpovoljniju veličinu kompenzacijskog uređaja, odnosno njegovu snagu. Dakle, potrebno je za svaku standardnu veličinu kompenzacijskog uređaja u svakom čvoru provjeriti zadovoljenje postavljenih uvjeta, uvažavajući ranije dobivene koeficijente. Sumirajući sve postavljene uvjete jednostavno dobivamo funkciju $F(i,j)$, gdje je i – čvor u kojeg je ugrađen kompenzacijski uređaj nazivne snage " j ". Funkciju $F(i,j)$ definiramo na sljedeći način:

$$F(i,j) = w_{nap} PKNO(i) \cdot \frac{1}{\Delta V(i,j)+1} + w_{gub} \bar{L}(i) \cdot \frac{1}{\Delta P_{gub}(i,j)+1} + w_{sлом} \cdot \bar{\epsilon}(i) \quad (62)$$

$$i = 1, 2, \dots, M.$$

$$j = 1, 2, \dots, Mns.$$

gdje su:

$\Delta V(i,j)$ – suma apsolutnih vrijednosti odstupanja napona od dopuštenih granica ugradnjom kompenzacijskog uređaja " j " u čvor i .

$\Delta P(i,j)$ – ukupno smanjenje gubitaka radne snage u mreži ugradnjom kompenzacijskog uređaja " j " u čvor i .

w_c – težinski faktor koji opisuje ulogu cijene ugradnje kompenzacijskih uređaja

M – ukupni broj čvorova, potencijalnih lokacija kompenzacijskih uređaja

Mns – ukupni broj nazivnih snaga kompenzacijskih uređaja.

Da bi se izbjegao utjecaj međusobnog nesrazmjera pojedinih veličina (različiti red veličina) potrebno je u relaciji (62) koristiti relativne (jedinične ili normirane) vrijednosti. Pri tom je potrebno prethodno za svaku veličinu odrediti pripadnu baznu vrijednost.

Vrijednost funkcije $F(i,j)$ u čvoru i , ugradnjom kompenzacijskog uređaja j bit će veća što su veći koeficijenti osjetljivosti čvora i za pojedini razmatrani kriterij (naponske prilike, gubitke radne snage i slom napona), odnosno što su manji: odstupanje napona od dopuštenih granica i gubici radne snage nakon ugradnje kompenzacijskog uređaja. Tako dobivamo matricu u kojoj retke predstavljaju čvorovi kao potencijalne lokacije kompenzacijskih uređaja, a stupce standardne nazivne vrijednosti kompenzacijskih uređaja. Ovu matricu ćemo nazvati globalnom matricom osjetljivosti.

$$[F]=\begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1Mns} \\ F_{21} & F_{22} & \cdots & F_{2Mns} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ F_{M1} & F_{M2} & \cdots & F_{MMns} \end{bmatrix} \quad (63)$$

Pretpostavimo da se promatrana mreža sastoji od M čvorova – potencijalnih lokacija kompenzacijskog uređaja, te da standardna snaga kompenzacijskog uređaja može varirati od 200 MVar kapacitivno do 200 MVar induktivno i to u modulima od po 50 MVar. To znači da pretpostavljamo da kompenzacijski uređaj može imati nazivnu snagu od 50 MVar, 100 MVar, 150 MVar i 200 MVar u kapacitivnom i u indukativnom području. Naravno, ovo su pretpostavke samo za ovaj primjer. U praksi je potrebno uzeti sve veličine kompenzacijskih uređaja dostupne na tržištu, te ih ravnopravno razmatrati. Globalna matrica osjetljivosti u konkretnom slučaju je:

$[F]=$

čvor / nazivna snaga (MVar)		KOMPENZACIJSKI UREĐAJ					
		-200 MVar	-150 MVar		100 MVar	150 MVar	200 MVar
Č V O R	1	F(1,-200 MVar)	F(1,-150 MVar)	...	F(1,100 MVar)	F(1, 150 MVar)	F(1, 200 MVar)
	2	F(2,-200 MVar)	F(2,-150 MVar)	...	F(2, 100 MVar)	F(2, 150 MVar)	F(2, 200 MVar)
	...	...	...	...	...	...	...
	M	F(N,-200 MVar)	F(N,-150 MVar)	...	F(N, 100 MVar)	F(N, 150 MVar)	F(N, 200 MVar)

3. ZAKLJUČAK

Zbog teritorijalnog oblika države i problema koji se javljaju u normalnom pogonu hrvatskog elektroenergetskog sustava bilo je potrebno detaljnije istražiti načine za određivanje najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja. Metodologija prikazana u ovom članku predstavlja prvi dio projekta koji se odnosi na definiranje matematičkog modela. Drugi dio se odnosi na izradu programskog koda na osnovi postavljenog matematičkog modela, te njegovo testiranje.

U ovoj studiji razmatra se najpovoljnija lokacija i veličina kompenzacijskog uređaja s tri aspekta:

- zadovoljenje naponskih prilika,
- smanjenje gubitaka radne snage,
- izbjegavanje sloma napona.

Najpovoljnije rješenje predstavlja ona kombinacija (čvor, veličina kompenzacijskog uređaja) = (i,j) koja je opisana najvećim iznosom funkcije $F(i,j)$. To znači da bi se od svih razmatranih opcija ugradnjom kompenzacijskog uređaja j u čvor i po svim razmatranim stanjima sustava najviše smanjila naponska odstupanja, gubici radne snage i mogućnost sloma napona u mreži. Na taj način se jednoznačno dobije najpovoljnije rješenje problema kompenzacije jalove snage u mreži s aspekta zadovoljenja napona, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona.

Nakon ugradnje kompenzacijskog uređaja u čvor s najvećim iznosom funkcije F potrebno je ponovo razmotriti naponske prilike, gubitke radne snage i blizinu sloma napona u pojedinim čvorovima. Ukoliko su te veličine nezadovoljavajuće i nakon ugradnje prvog kompenzacijskog uređaja, potrebno je ponovno provesti isto razmatranje za ugradnju drugog kompenzacijskog uređaja. Također je moguće da jedan dio sustava ima previsoke, a drugi dio sustava preniske napone. Općenito, potrebno je provoditi razmatrani postupak sve dok zadani kriteriji s aspekta iznosa napona, gubitaka radne snage i sloma napona ne budu zadovoljeni.

Svakom pojedinom čvoru se za svaki promatrani aspekt (kriterij) pridružuje karakteristični koeficijent. Taj koeficijent govori koliko je pojedini čvor povoljan za ugradnju kompenzacijskog uređaja radi zadovoljenja promatranog kriterija. Prema problemima u konkretnoj mreži svakom aspektu se na osnovi iskustva autora pridjeljuje težinski faktor koji opisuje koliko je promatrani aspekt (naponske prilike, gubici radne snage, slom napona) naglašen u konkretnoj mreži. Razmatra se više stanja, te svako stanje ima pripadnu vjerojatnost. Umnoškom karakterističnih koeficijenata, njihovih težinskih faktora i pripadnih vjerojatnosti stanja, te sumiranja po svim stanjima dobije se jednoznačan broj koji određuje povoljnost ugradnje kompenzacijskog uređaja u svaki pojedini čvor za sva četiri uvjeta istodobno. Na taj način se rangiraju najpovoljnije lokacije za ugradnju kompenzacijskog uređaja.

Analizom zadovoljenja naponskih prilika, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona za svaku pojedinu standardnu veličinu kompenzacijskog uređaja dobije se konkretan koeficijent $F(k,j)$. Uređeni par (k,j) opisuje čvor k u koji je ugrađen kompenzacijski uređaj nazive snage j . Svaki takav par ima svoj

koeficijent $F(k,j)$. Varijanta s najvećim F predstavlja najpovoljniju veličinu kompenzacijskog uređaja i određuje njegovu lokaciju. Na taj način se određuje najpovoljnija lokacija i veličina kompenzacijskog uređaja. Idući korak je bila izrada programske podrške, na osnovi prezentiranog matematičkog modela, te njegovo testiranje i primjena na prijenosnoj mreži Hrvatske.

LITERATURA

- [1] M. MAJSTROVIĆ, G. MAJSTROVIĆ, D. BAJŠ: "Metode za izbor najpovoljnije lokacije kompenzacijskih uređaja", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2001.
- [2] H. GOLUB Gene, F. VAN LOAN Charles: "Matrix computations", The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- [3] M. MAJSTROVIĆ, E. SUTLOVIĆ: "Ponašanje svojstvenih vrijednosti submatrice Jakobijane kao pokazatelj blizine sloma napona", Primošten CIGRE 1995.
- [4] R. A. SCHLUETER, I. HU, W. CHANG, A. LO J. C. COSTI: "Methods for determining proximity to voltage collapse", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 6, No.1., February 1991.
- [5] G. KROST, G. BAKARE: "A genetic algorithm based approach for improvement in voltage profile and real power loss minimization", IEEE Power Tech '99 Conference, Budapest, 1999.

METHOD FOR OPTIMAL CHOICE OF COMPENSATION EQUIPMENT SIZE

Mathematical model for optimal choice of size and location of compensation equipment is presented from the aspect of voltage circumstances and vicinity of voltage breakdown in

an electric power system. Based on three criteria the objective function is developed, resulting in the optimum, that is best location and size of compensation equipment to satisfy voltage circumstances, decrease losses of active power and avoid voltage breakdown.

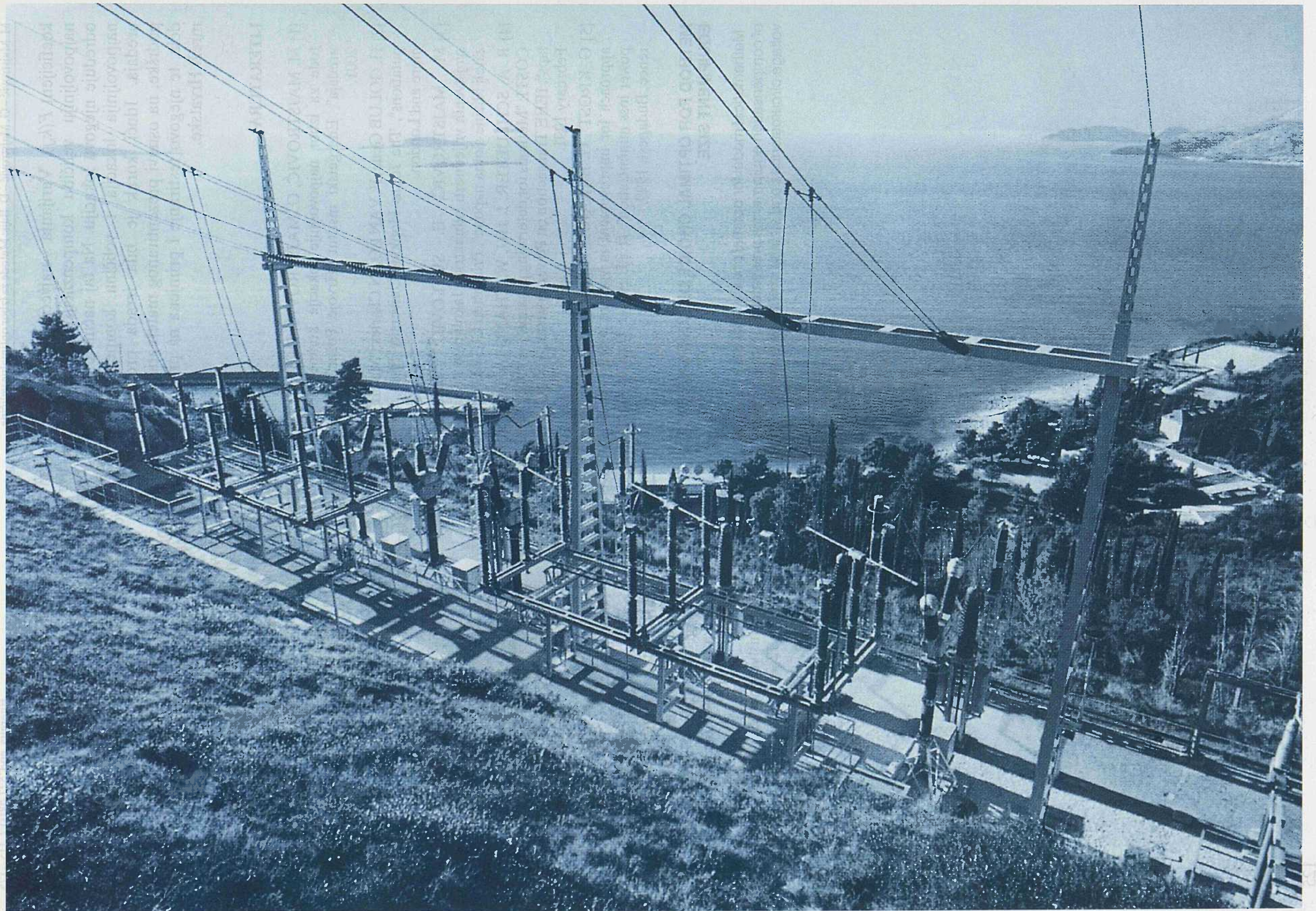
METHODE ZUR AUSWAHL OPTIMALER LEISTUNG VON KOMPENSATIONSANLAGEN

Vorgezeigt wird das mathematische Modell der Bestimmung optimaler Leistung und Standortauswahl für Kompensationsanlagen aus der Sicht der Spannungsverhältnisse und des drohenden Spannungskollapses im Stromversorgungssystem. Nach drei betrachteten Merkmalen wird eine objektbezogene Funktion, deren Lösung einen Optimum bzw. beste Standorte und Leistungen von Kompensationsanlagen zwecks Erreichung der annehmbaren Spannungsverhältnisse, der Verlustminderungen der Wirkleistung und der Ausweichung dem Spannungskollaps gibt, gebildet.

Naslov pisaca:

Prof. dr. sc. Mislav Majstrović, dipl. ing.
mr. sc. Goran Majstrović, dipl. ing.
mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.
 Energetski institut "Hrvoje Požar",
 Savska 163, 10000 Zagreb,
 Hrvatska

Uredništvo primilo rukops:
 2002 – 12 – 10.



OPTIMALNA VELIČINA I LOKACIJA UGRADNJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA U PRIJENOSNOJ MREŽI HEP-a

Mr. sc. Davor B a j s – prof. dr. sc. M a t i s l a v M a j s t r o v i ć – mr. sc. G o r a n M a j s t r o v i ć, Zagreb

UDK 621.316.1:621.3.083.5

STRUČNI ČLANAK

Prezentira se analiza optimalne veličine i lokacije ugradnje kompenzacijskog(ih) uređaja u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede, za planirani razvoj mreže u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju. Analiza je provedena na temelju matematičkog modela opisanog u prethodnom članku. Na osnovi velikog broja mogućih i očekivanih pogonskih stanja daje se prijedlog kompenzacije, te se analizira utjecaj pojedinih mjera i korištenja postojećih resursa radi održavanja naponskih prilika unutar dozvoljenih granica.

Ključne riječi: kompenzacijski uređaj, kratkoročno i srednjoročno razdoblje, naponske prilike.

1. UVOD

Prostorna raspodjela proizvodnih postrojenja i većih potrošačkih centara u Republici Hrvatskoj međusobno povezanih prijenosnom mrežom longitudinalne strukture najvišeg 400 kV napona, velika ovisnost o hidrologiji i izvedba priključka postojećih elektrana pretežito na 220 kV i 110 kV mreže, te karakteristike potrošnje s velikim varijacijama između maksimalnih i minimalnih dnevnih, sezonskih i godišnjih opterećenja, uzrokuju značajne promjene naponskih prilika u 400 kV mreži, posebno na njenom južnom kraku (TS Melina, RHE Obrovac, TS Konjsko).

Izvršene analize pokazuju da će se problematika previsokih napona u prijenosnoj mreži HEP-a još više potencirati obnovom 400 kV mreže na području Bosne i Hercegovine, odnosno rekonstrukcijom današnje druge sinkrone zone UCTE (Srbija, Crna Gora, Makedonija, Grčka, Bugarska i Rumunjska).

Problematika nepovoljnih naponskih okolnosti, prvenstveno s aspekta previsokih napona na južnom kraku prijenosne 400 kV mreže, razmatrana je u više studija, elaborata i članaka posljednjih nekoliko godina [2], [3]. Godine 2000. održan je i okrugli stol u organizaciji HK Cigre, na kojemu je raspravljana problematika nepovoljnih naponskih okolnosti u prijenosnoj mreži HEP-a, te problematika prijelazne i dinamičke stabilnosti EES-a. Na spomenutom okruglom stolu HK Cigre zabilježeno je i sljedeće razmišljanje: "Na osnovi svega prethodno iznesenog, mišljenja smo da rješavanje problematike nepovoljnih naponskih prilika u dijelu 400 kV mreže na području R. Hrvatske, a posebice na njenom južnom kraku, te problematike stabilnosti EES-a ne treba odgađati, te da je nužno izvršiti sve preostale analize i eventualno nadopu-

niti dosadašnje novijim saznanjima o razvoju prijenosne mreže i EES-a u cjelini, nakon čega je potrebno izvesti optimalne zahvate u mreži koji bi sanirali postojeće stanje, te osigurali povoljan naponski profil i dovoljnu rezervu s aspekta očuvanja prijelazne i dinamičke stabilnosti EES-a ovisno o njegovu razvoju u bližoj i daljoj budućnosti".

2. MATEMATIČKI MODEL

Matematički model na osnovi kojega su izvršeni proračuni detaljno je opisan u prethodnom članku. Matematički postupak je programiran, a korišteni programski paket je nazvan *Optlok*. Optlok koristi proračune tokova snaga i naponskih prilika izračunatih u programskom paketu *TOKSwin*, te na temelju matematičkog postupka opisanog u [1] daje kao izlazni rezultat optimalnu(e) lokaciju(e) i veličinu(e) kompenzacijskog(ih) uređaja. Optimalna lokacija i veličina kompenzacijskog uređaja se određuje na osnovi:

- zadovoljenja naponskih prilika u mreži,
- gubitaka radne snage u mreži, i
- izbjegavanja sloma napona.

Kao početni korak u čitavom postupku nužno je formirati model EES u programskom paketu *TOKSwin*, te određeni broj mogućih pogonskih stanja kojima se pridružuju težinski faktori, kao mjera vjerojatnosti nastanka pojedinog pogonskog stanja. Budući da je neracionalno modelirati sva moguća pogonska stanja u mreži kroz godinu dana, te im pridruživati određene vjerojatnosti (zbroy svih vjerojatnosti bi tada bio 1), koriste se težinski faktori kao mjera "međusobne" vjerojatnosti nastanka određenog pogonskog stanja

i/ili mjera značajnosti za sustav pojedine varijante. Tako je npr. pogonsko stanje s težinskim faktorom 4 dvaput vjerojatnije od onoga s težinskim faktorom 2, odn. 4 puta vjerojatnije od onoga s težinskim faktorom 1.

Prilikom modeliranja mogućih pogonskih stanja potrebno je obratiti pažnju na opterećenja grana u mreži, te angažman regulacijske elektrane. Ukoliko je u kasnijem postupku pri ugradnji određenog kompenzacijskog uređaja angažman regulacijske elektrane izvan dozvoljenih granica, ili ukoliko je neka grana mreže opterećena iznad dozvoljene granice, postupak odbacuje tu varijantu kompenzacije koja se tada ispitala.

Nakon modeliranja određenog broja mogućih pogonskih stanja i pridruživanja težinskih faktora svakome od njih, definiraju se moguće veličine i svojstva kompenzacijskih uređaja koji se ispituju. Razlog tomu je težnja za pronalaženjem realnog (praktičnog) optimuma, te izbjegavanje rezultata tipa decimalnog broja. Svojstva kompenzacijskog uređaja govore o njegovom induktivnom (prigušnica) ili kapacitivnom (kondenzator) djelovanju.

Nakon definiranja mogućih (ispitivanih) pogonskih stanja i veličina kompenzacijskih uređaja, obavlja se priprema podataka za proračun. Ta priprema podrazumijeva proračun tokova snaga, odnosno određivanje svih potrebnih varijabli stanja (naponi (moduli i kutevi), radna, jalova snaga, angažman regulacijske elektrane), za sva modelirana pogonska stanja. Nakon toga pristupa se proračunu optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta prethodno nabrojena tri kriterija, a za željeni (definirani) broj kompenzacijskih uređaja u mreži. Završni korak analize je određivanje optimalne lokacije i veličine kompenzacijskog uređaja s aspekta zadovoljenja sva tri postavljena kriterija.

3. MODEL ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Planirana i analizirana konfiguracija prijenosne mreže HEP-a, naponskih razina 400, 220 i 110 kV, a za promatrane vremenske presjeke ("nazivna" 2005. i 2010. godina), prikazana je slikama 1 i 2 (u Prilogu na str. 139. i 140). Pretpostavka je da će se do razmatranog početnog vremenskog presjeka ("nazivna" 2005. godina) obnoviti cjelokupna 400 kV i 110 kV mreža u Slavoniji (TS 400/110 kV Ernestinovo i rasplet 110 kV vodova prema prijeratnom stanju), izgraditi TS 400/220/110 kV Zerjavinec, te da će se na UCTE povezati EES-i BiH, Jugoslavije, Makedonije, Rumunjske, Bugarske i Grčke (cjelokupna 400 i 220 kV mreža BiH je obnovljena). Pretpostavljeno je da će u EES Hrvatske između 2005. i 2010. godine ući u pogon nova KTE Rijeka u krugu postojeće TE Rijeka (360 MW, 180 Mvar kap., 270 Mvar ind. – podaci ABB, [14], priključena na 400 kV sabirnice TS Melina.

Model EES-a RH obuhvaća cjelokupnu prijenosnu 400, 220 i 110 kV mrežu HEP-a. Elektrane su modeli-

rane preko generatora i blok transformatora, zajedno s priključnim dalekovodima. Potrošači su modelirani na 110 kV naponskoj razini. Svi mrežni transformatori, izuzev onih u TS Tumbri na koje se priključuje postojeća prigušnica, modelirani su kao dvonamotni, što znači da se nisu ispitivale varijante ugradnje kompenzacijskih uređaja na tercijare tih transformatora, budući da je ocijenjeno (na temelju dosadašnjih studija) da bi takav slučaj rezultirao ekonomski neisplativim rješenjem s nerealno velikim brojem konačnih čvorova za ugradnju kompenzacijskih uređaja. Prigušnica u TS 400/110 kV Tumbri (priključena na tercijare transformatora) inicijalno je odspojena, budući da su naponske prilike u toj TS unutar dozvoljenih granica, a da ona ne utječe značajno na popravljivanje naponskog profila na južnom kraku 400 kV mreže koja je kritična s aspekta pojave previsokih napona (priključenjem prigušnice u TS Tumbri napon u svim TS 400/(220)/110 kV se smanjuje za 1 – 2 kV na 400 kV razini). Prigušnica 100 Mvar u Ernestinovu (predviđena za ugradnju), priključena na 110 kV sabirnice, inicijalno je odspojena budući da su naponske prilike u toj TS zadovoljavajuće (pretpostavka je da TE Nikola Tesla regulira napon oko nazivnih vrijednosti u čvoru Obrenovac). Kondenzatorska baterija priključena na 110 kV sabirnice TS 220/110 kV Đakovo uključena je na modelu u vršnom režimu rada.

Budući da je cilj provedenih analiza bilo sagledavanje potrebe za ugradnjom jednog ili više kompenzacijskih uređaja na optimalnoj lokaciji(ama), pretpostavka je da će se svi postojeći resursi u sustavu koristiti prema svojim tehničkim mogućnostima. To znači da su pojedini generatori na modelu u mogućnosti davati jalovu induktivnu i kapacitivnu snagu (određeno prema tvorničkim pogonskim kartama pojedinih generatora dostupnih autorima ovog članka), te da su preklopke transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera, (400/220 i 400/110 kV transformatora u beznaponskom stanju, te 220/110 kV transformatora automatski, postavljene u optimalan položaj s obzirom na nazivni napon sekundara. Ta pretpostavka nije u skladu s postojećom praksom prema kojoj su te preklopke stalno u nultom položaju (mogućnosti utjecaja na tokove jalove snage i naponske prilike se ne koriste na taj način), ali preporuka je da se ubuduće one postavljaju u "optimalan" položaj barem dva puta godišnje (zimski i ljetni režim rada).

Za razmatrani problem u ovom članku od velike je važnosti odrediti mogući angažman elektrana (pojedinih generatora) u kapacitivnom i induktivnom dijelu pogonskog dijagrama, odnosno dozvoljeno područje rada generatora. Za postavljanje ispravnog modela vrlo je važno posjedovati ažurirane pogonske karte svih generatora u EES-u, što nažalost danas nije slučaj. Praksa je takva da se generatori u EES-u Hrvatske ne angažiraju u kapacitivnom dijelu pogonskog dijagrama [3] iz uglavnom neopravdanih razloga (nepoznato po-
dešenje limitera poduzbude, neodređena praktična

granica stabilnosti, i dr.). Za očekivati je da će se stanje u svezi s tom problematikom bitno promijeniti uvođenjem otvorenog tržišta električnom energijom u kojemu će se pomoćne usluge (*eng. ancillary services*) financijski vrednovati, a u takve spadaju i primarna, te sekundarna i tercijarna regulacija reaktivne snage i napona.

Za ispravno određivanje optimalnih lokacija kompenzacijskog uređaja u EES-u Hrvatske nužno je modelirati (s većom ili manjom detaljnošću) susjedne elektroenergetske sustave, budući da oni imaju veliki utjecaj na naponski profil u promatranoj mreži. Model elektroenergetskih sustava ovog dijela Europe obuhvaća 400, 220 i 110 kV mrežu Hrvatske, 400 i 220 kV mreže Bosne i Hercegovine i Slovenije, 400 kV mreže Srbije i Crne Gore, te dio 400 kV mreže Mađarske (po-tez Heviz-Paks-Sandorfalva). Procijenjeno je da je takav model zadovoljavajući s obzirom na razmatrani problem. Model susjednih EES-a postavljen je na temelju podataka iz [4]. U navedenoj literaturi nalaze se opisi modela elektroenergetskih sustava Slovenije, Hrvatske, Mađarske, Rumunjske, Bugarske, Srbije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Makedonije, Albanije, Grčke i Turske, te ekvivalenti mreža UCTE i zapadne Ukrajne, za "nazivnu" 2005. godinu prema službenim planovima pojedinih elektroprivreda. Modeli EES-a se nalaze u formatu za programski paket PSS/E, pa su stoga podešeni za prikaz u TOKSwin-u. Svaki model pojedinog sustava sadrži službeno planiranu konfiguraciju mreže za razmatrani vremenski presjek, opterećenja modelirana na 400 kV i 220 kV naponskoj razini, prikaz elektrana kao grupa generatora i blok transformatora, angažman elektrana za bazno stanje (uravnoteženi sustavi), mogućnosti rada generatora u naduzbudi ili poduzbudi, te dugoročne ugovore o razmjeni električne energije. Za ispitivanu "nazivnu" 2010. godinu pretpostavljeno je da konfiguracije mreža susjednih modeliranih EES-a ostaju iste u odnosu na "nazivnu" 2005. godinu, a da će opterećenje u svakom modeliranom susjednom EES-u rasti po stopi od 2.5 % godišnje.

Osnovni princip po kojemu su modelirani susjedni EES-i je taj da se naponske prilike u svakom pojedinom susjednom sustavu moraju nalaziti unutar dozvoljenih granica, ukoliko je to moguće postići korištenjem postojećih resursa u mreži ili uz ispomoć njima susjednih sustava. To znači da su eventualna odstupanja napona u EES-u Hrvatske uglavnom posljedica karakteristika našeg EES-a, a ne uzrokovana problemima u našem okruženju. To je vrlo bitna pretpostavka budući da zbog strukture prijenosne mreže Hrvatske (longitudinalna struktura, četiri električki povezana susjedna sustava) naponski profil u graničnim čvorovima (praktički u čitavoj 400 kV mreži) direktno ovisi o naponskom profilu u pojedinom susjednom EES-u. Tako je npr. napon u TS Ernestinovo direktno ovisan o naponu u Sremskoj Mitrovici (Obrenovcu), u TS Žerjavinec o naponu u TS Heviz, u

TS Tumbri o naponu u NE Krško, TS Melina je ovisna o naponskim prilikama u TS Divača, a naponi u TS Konjsko o naponu na sabirnicama TS Mostar. Naravno da vrijedi i obrnut utjecaj, što je značajan razlog da se pristupi saniranju nepovoljnih naponskih prilika u EES-u Hrvatske kako bi se uostalom zadovoljila pravila rada sustava u interkonekciji UCTE [5] – pogl. 4. Voltage and reactive power control). Za većinu razmatranih pogonskih stanja naponske prilike u susjednim EES-ima su unutar dozvoljenih granica, iako u pojedinim slučajevima pri minimalnom opterećenju (ljetni noćni režim rada) blizu dozvoljene gornje granice. Zadovoljavajuće naponske prilike u susjednim EES-ima se postižu bilo radom generatora u dozvoljenom području rada prema [4], bilo radom pojedinih elektrana u kompenzacijskom režimu (primjer RHE Čapljina u BiH), bilo prijenosom dovoljnih količina reaktivne snage iz njima susjednih EES-a (primjer Srbija – Bugarska).

4. VARIJANTE PRORAČUNA

Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja određene su uzimajući u obzir što veći broj mogućih pogonskih stanja kojima je pridružen određen težinski faktor (prema slobodnoj procjeni planera). Pogonska stanja se međusobno razlikuju po:

- Vremenskom presjeku promatranja ("nazivna" 2005., "nazivna" 2010. godina).
- Opterećenju u sustavu (maksimalno, minimalno).
- Hidrologiji (normalna, ekstremno vlažna, ekstremno suha).
- Razmjenama snage sa susjednim EES-ima (Mađarskom, BiH, Srbijom).
- Tranzitima za treće sustave (Italija, BiH, Srbija, Bugarska).
- Angažmanu RHE Obrovac i RHE Čapljina (nisu angažirane, angažirane u generatorskom režimu rada, angažirane u motorskom režimu rada, angažirane u kompenzacijskom režimu rada).

Planirano opterećenje hrvatskog EES-a, te raspodjela opterećenja na pojedine čvorove 110 kV preuzeto je iz [12]. Pretpostavljeno je da minimum opterećenja iznosi 40 % maksimuma. Angažman hidroelektrana u vrijeme normalne, vlažne i suhe hidrologije određen je na osnovi podataka prikazanih u [11]. Termoelektrane se angažiraju prema minimalnim troškovima proizvodnje. Pogonska stanja su modelirana uzimajući u obzir mogućnosti razmjene energije/snage sljedećih iznosa:

- uvoz 1000 MW / 900 MW / 800 MW / 700 MW / 600 MW / 400 MW / 250 MW iz pravca EES Mađarske (na modelu prikazano povećanjem angažmana NE Paks)
- uvoz 800 MW / 700 MW / 600 MW / 500 MW / 400 MW / 300 MW iz EES BiH i Srbije (na modelu prika-

zano povećanjem angažmana elektrana u vlasništvu HEP-a i djelomice povećanjem angažmana TE Nikola Tesla)

– uvoz 700+500 MW / 600+400 MW / 500+400 MW / 400+300 MW / 300+200 MW iz pravca EES Mađarske, te BiH i Srbije (na modelu prikazano povećanjem angažmana NE Paks, te elektrana u vlasništvu HEP-a na području BiH i Srbije).

Promatrani su također sljedeći iznosi mogućih tranzita preko prijenosne mreže HEP-a:

700 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija

700 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska

600 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija

600 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska

500 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija

500 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska

400 MW BiH, Srbija, Bugarska → Italija

400 MW Italija → BiH, Srbija, Bugarska.

S obzirom na angažman RHE Obrovac (Velebit) i RHE Čapljina promatrane su sljedeće mogućnosti njihova rada:

1. generatorski rad do instalirane snage
2. kompenzacijski rad (RHE Obrovac do 80 Mvar, RHE Čapljina do 160 Mvar)
3. pumpni rad (RHE Obrovac do 240 MW, RHE Čapljina do 400 MW).

Ukupan broj modeliranih pogonskih stanja iznosi 224. Na "nazivnu" 2005. godinu odnosi se 112 pogonskih stanja, isto kao i za "nazivnu" 2010. godinu. Za svaki promatrani vremenski presjek modelirano je 36 pogonskih stanja u maksimumu opterećenja i 76 u minimumu opterećenja. Varijante proračuna s pridruženim težinskim faktorima mogu se pronaći u [2].

Za potrebe analiza u ovom članku razmatra se dva osnovna tipa kompenzacijskih uređaja:

1. kompenzacijski uređaj kapacitivnog djelovanja (paralelne prigušnice)
2. kompenzacijski uređaj induktivnog djelovanja (paralelne kondenzatorske baterije).

Prema terminologiji UCTE [5] korištenje ovih vrsta kompenzacijskih uređaja radi regulacije napona i reaktivnih snaga se svrstava u tercijarnu regulaciju.

Primjena ostalih uređaja za kompenzaciju reaktivne snage (sinkroni kompenzatori, statički VAR kompenzatori, FACTS uređaji), a koji se mogu izvesti iz dva osnovna tipa ovdje analizirana, u ovom članku nije razmatrana budući da se radi o sofisticiranim i relativno skupim uređajima s mogućnošću proizvodnje jalove induktivne i kapacitivne snage, a čija primjena ovisi i o drugim aspektima eksploatacije EES-a koji se ovdje ne promatraju (prijelazna i dinamička stabilnost, regulacija tokova aktivnih snaga i dr.). Generalno gledajući, nema nikakve prepreke da se i oni koriste za proizvodnju potrebne induktivne i/ili kapacitivne

snage, a osnovu za razmatranje potreba njihove ugradnje mogu predstavljati rezultati ovdje opisanih analiza u kojima se na istom čvoru pojavljuje potreba ugradnje kompenzacijskog uređaja dvosmjernog djelovanja (kapacitivno, induktivno) za različite grupe pogonskih stanja.

Analizirana su tri standardna modula (velicina) kompenzacijskih uređaja (paralelnih prigušnica i kondenzatorskih baterija): 50 Mvar, 100 Mvar i 150 Mvar.

Kao potencijane lokacije za ugradnju kompenzacijskih uređaja analizirani su svi mrežni 400 kV i 220 kV čvorovi u EES-u Hrvatske koji su izgrađeni do "nazivne" 2005. godine, a u kojima nisu priključene elektrane, s izuzetkom RHE Obrovac. Budući da se traži optimalan raspored i velicina kompenzacijskih uređaja za vremenske presjeke 2005. i 2010. godine, u obzir se ne uzimaju čvorovi mreže (TS) izgrađeni poslije 2005. godine.

Čvorovi mreže 110 kV se ne uzimaju u obzir kao moguće lokacije ugradnje kompenzacijskih uređaja budući da su eventualni problemi s naponskim profilom na toj naponskoj razini uzrokovani poremećajima u 400 kV i 220 kV mrežama. Uzimanje i te naponske razine u obzir uzrokovalo bi (analogno ispitivanjima tercijara mrežnih transformatora) preveliki broj lokacija kompenzacijskih uređaja što se ocjenjuje neekonomičnim.

Popis potencijalnih lokacija je sljedeći:

400 kV mreža	220 kV mreža
TS Ernestinovo,	TS Međurić, TS Žerjavinec,
TS Žerjavinec,	TS Mraclin, RP Brinje,
TS Tumbri,	TS Melina,
TS Melina,	TS Pehlin,
RHE Obrovac,	TS Konjsko,
TS Konjsko	TS Bilice.

Sabirnice 220 kV u TS 220/110 kV Đakovo se ne uzimaju u obzir kao potencijalna lokacija kompenzacijskog uređaja budući da nisu izravno povezane s ostatkom 220 kV mreže EES-a RH. Matematički model koji se koristi radi određivanja optimalne lokacije i snage kompenzacijskog uređaja može rezultirati maksimalnim brojem kompenzacijskih uređaja smještenih na različite lokacije u mreži, jednak broju potencijalnih čvorova za ugradnju. Zato su ispitane tri moguće varijante s obzirom na broj ugrađenih kompenzacijskih uređaja, a koje su ocijenjene realnim i izvedivim: 1, 2 i 3 kompenzacijska uređaja u mreži

5. ANALIZA NAPONSKIH PRILIKA I TOKOVA SNAGA

5.1. Verifikacija modela

Radi verifikacije postavljenog modela za određivanje optimalne velicine i lokacije kompenzacijskog uređaja modelirano je stanje EES-a u maksimumu i minimumu opterećenja 2001. godine prema podacima dobivenim iz dispečerskog centra. Modeliranje je izvršeno u tri

koraka, ovisno o predstavljanju elektrana i susjednih EES-a. U završnom koraku na modelu su elektrane predstavljene kao grupe generatora i blok transformatora, a susjedni EES-i su modelirani u cijelosti.

Izmjerene veličine i rezultati na modelima su prikazani tablicama 1 i 2. Na osnovi usporedbe rezultata ocijenjeno je da je postignuti model dovoljno kvalitetan da posluži za ovdje prikazane analize.

Tablica 1. Naponske prilike u mreži na modelu EES-a u maksimumu 2001.

Sabirnica	Maksimum 2001 (17. 12. u 17 ²⁶)		Minimum 2001 (25. 6. u 3 ³⁰)	
	Naponi – izmjereni (kV)	Naponi – model (kV)	Naponi – izmjereni (kV)	Naponi – model (kV)
400 kV				
Tumbri	397.3	396	409.8	410
Melina	397.3	396	410.4	410
Obrovac	400.3	401	412.2	410
Konjsko	400.5	402	413.1	410
220 kV				
Mraclin	228.5	226	239.4	237
TE Sisak	230.3	231	238.5	238
Međurić	229.5	229	241.4	240
Đakovo	222.7	216	235.0	231
Brinje	231.6	231	238.0	238
HE Senj	231.4	231	237.5	238
Melina	227.9	227	235.8	236
Pehlin	226.7	226	235.1	236
Plomin	226.2	225	233.9	233
Konjsko	230.4	232	238.3	236
HE Zakučac	231.8	231	237.9	235
Bilice	229.7	231	239.4	237
110 kV				
Tumbri	114.0	114	117.6	118
Mraclin	114.5	115	117.0	117
Botinec	112.8	113	117.0	117
Nedeljanec	109.2	113	115.7	116
Đakovo	110.3	110	115.9	115
Osijek 2	105.0	106	115.1	114
Vinkovci	107.1	107	108.9	107
Melina	111.8	110	116.9	117
HE Rijeka	110.8	109	116.3	115
Obrovac	109.7	113	121.8	121
Konjsko	112.3	110	117.7	115
HE Zakučac	112.5	113	116.7	115
Sučidar	110.7	110	117.4	115

Tablica 2. Tokovi snaga pojedinim vodovima na modelu EES-a u maksimumu 2001.

Vod	Maksimum 2001 (17. 12. u 17 ²⁶)		Minimum 2001 (25. 6. u 3 ³⁰)	
	Tokovi snaga – izmjereni (MW/Mvar)	Tokovi snaga – model (MW/Mvar)	Tokovi snaga – izmjereni (MW/Mvar)	Tokovi snaga – model (MW/Mvar)
400 kV				
Tumbri – Heviz	– 780 / 115	– 778 / 125	– 326 / 20	– 324 / 20
Tumbri – Krško	2 x (– 182 / – 47)	2 x (– 177 / – 51)	2 x (– 208 / 14)	2 x (– 199 / 18)
Tumbri – Melina	549 / – 44	537 / – 42	479 / – 58	467 / – 57
Melina – Divača	398 / 1	387 / 26	217 / 20	205 / 14
Melina – Obrovac	74 / – 76	80 / – 90	205 / – 78	205 / – 66
Obrovac – Konjsko	23 / – 33	29 / – 45	121 / – 53	125 / – 31
220 kV				
Mraclin* – Đakovo	124 / 2	116 / 0	87 / – 6	81 / – 11
Mraclin* – Cirkovce	– 86 / – 3	– 64 / 24	– 28 / 8	– 28 / 5
Mraclin – Brinje	16 / – 33	3 / – 41	–	–
Mraclin – TE Sisak	– 63 / – 13	– 59 / – 57	– 56 / 19	– 55 / – 8
Đakovo – Tuzla	– 151 / – 13	– 151 / – 12	36 / – 8	34 / 10
Brinje – Konjsko	22 / – 16	22 / – 22	44 / – 24	43 / – 16
HE Senj – Melina	52 / 22	45 / 20	– 57 / 26	– 56 / 30
HE Senj – Brinje	6 / – 8	19 / – 4	44 / – 26	43 / – 18
Melina – Pehlin 1	169 / 17	157 / 31	11 / 20	7 / – 19
Melina – Pehlin 2	133 / 20	120 / 29	15 / 26	8 / – 25
Plomin – Pehlin	31 / – 14	20 / – 16	94 / – 31	91 / – 52
Plomin – Melina	– 14 / – 22	– 20 / – 21	63 / – 34	62 / – 34
Pehlin – Divača	165 / 15	135 / 45	89 / 32	80 / 34
Konjsko – Bilice	2 x (36 / – 3)	2 x (36 / – 3)	2 x (5 / – 17)	2 x (5 / – 16)
Konjsko – Mostar	– 48 / 7	– 48 / 39	49 / 24	50 / 38
Konjsko – HE Zakućac	– 70 / – 20	– 68 / 19	48 / – 1	49 / 6
HE Zakućac – Mostar	– 22 / 15	– 19 / 31	32 / 16	33 / 26
110 kV				
Tumbri – Mraclin	2 x (77 / – 27)	2 x (80 / – 34)	2 x (33 / – 2)	2 x (31 / – 5)
Tumbri – Botinec	155 / 19	157 / 21	63 / 10	63 / 8
Đakovo – S. Brod	10 / 17	8 / 20	0 / 0	– 1 / 0
Đakovo – Osijek 2	72 / 14	74 / 8	–	–
Đakovo – Vinkovci	109 / 1	105 / 5	30 / 54	30 / 54
Melina – HE Rijeka	41 / 11	38 / 13	3 / 11	6 / 62
Crikvenica – Krk	45 / – 7	48 / – 7	28 / – 16	22 / – 21
Obrovac – Benkovac	8 / 6	8 / 12	17 / 16	17 / 16
Konjsko – Vrboran	2 x (52 / 11)	2 x (52 / – 17)	2 x (43 / 0)	2 x (43 / 0)
Zakućac – Kraljevac	2 x (35 / 9)	2 x (36 / 9)	–	–

5.2. Analiza naponskih prilika

U 224 modelirana pogonska stanja detektirano je odstupanje napona od dozvoljenih gornjih granica (420 kV i 245 kV) u 41 pogonskom stanju 2005. i 48 pogonskih stanja 2010. godine (ukupno 89 pogonskih stanja s nedozvoljenim naponima – prekoračenja gornje granice u 400 kV i 220 kV mreži).

Za analizirane presječne godine pri maksimalnom opterećenju sustava ne dolazi do odstupanja naponskog profila od dozvoljenih granica na sve tri naponske razine (400, 220, 110 kV). Najniži naponi u 400, 220 i 110 kV mreži se kreću oko nazivnih vrijednosti. U minimumu opterećenja pojavljuje se problem povišenja napona u 400 kV mreži za većinu analiziranih pogonskih stanja. Napone u 220 kV mreži moguće je održavati unutar dozvoljenih granica za većinu analiziranih pogonskih stanja ispravnim podešenjem preklopki za regulaciju prijenosnog omjera transformatora 400/220 kV (u beznaponskom stanju). Naponi u 110 kV mreži nalaze se ispod dozvoljenih granica zbog optimalnog položaja preklopki transformatora 400/110 kV i automatske regulacije transformatora 220/110 kV. Najveći zabilježeni napon u 400 kV mreži "nazivne" 2005. iznosi 432 kV (RHE Obrovac), a "nazivne" 2010. godine 437 kV (TS Konjsko).

Previsoki naponi javljaju se isključivo na južnom kraku mreže (Konjsko, Obrovac, Melina), a u nekoliko varijanti zabilježen je previsok napon i u TE Sisak, TS Međurić i TS Đakovo.

5.3. Analiza opterećenosti elementa sustava i gubitaka radne snage

Opterećenja svih grana mreže (vodovi, mrežni transformatori, blok transformatori), u svim ispitivanim pogonskim stanjima, nalaze se unutar dozvoljenih granica, ukoliko su sve grane mreže raspoložive. Od svih ispitanih pogonskih stanja na modelu EES-a "nazivne" 2005. godine opterećenje 400 kV grana je manje od 28 % od njihove termičke granice, što znači da su one u normalnim okolnostima (raspoložive sve grane mreže) opterećene manje od 1/3 njihove prijenosne moći. Najveće zabilježeno opterećenje u postocima od termičke granice u 220 kV mreži iznosi 55 % I_L . Gubici radne snage na modelu "nazivne" 2005. godine se kreću u rasponu od 45.5 MW do 65.2 MW u maksimumu opterećenja, odnosno od 15.3 MW do 22.4 MW u minimumu opterećenja.

Na modelu EES-a "nazivne" 2010. godine opterećenje 400 kV grana je manje od 40 % od njihove termičke granice, što znači da su one u normalnim okolnostima (raspoložive sve grane mreže) opterećene manje od 2/5 njihove prijenosne moći. Najveće zabilježeno opterećenje u postocima od termičke granice u 220 kV mreži iznosi 59 % I_L . Gubici radne snage na modelu "nazivne" 2010. godine se kreću u rasponu od 51.2 MW do 85.4 MW u maksimumu opterećenja, odnosno od 15.6 MW do 24.3 MW u minimumu opterećenja.

To nadalje znači da su svi interni 400 kV vodovi u EES-u Hrvatske, pri svim analiziranim pogonskim stanjima, u normalnom pogonu (raspoložive sve grane mreže) opterećeni manje od njihove prirodne snage prijenosa pa se ponašaju kao proizvođači jalove induktivne snage (povišeni naponi i ostali efekti koji uz to idu).

6. OPTIMALNA VELIČINA I LOKACIJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA

Optimalne lokacije (najviše 3) i veličine ugradnje kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, gubitaka radne snage i blizine sloma napona, određene su za različite grupe analiziranih pogonskih stanja:

1. Maksimalno opterećenje "nazivne" 2005. godine (36 pogonska stanja)
2. Minimalno opterećenje "nazivne" 2005. godine (76 pogonska stanja)
3. Maksimalno opterećenje "nazivne" 2010. godine (36 pogonska stanja)
4. Minimalno opterećenje "nazivne" 2010. godine (76 pogonska stanja)
5. Maksimalno opterećenje "nazivne" 2005. i 2010. godine (72 pogonska stanja)
6. Minimalno opterećenje "nazivne" 2005. i 2010. godine (152 pogonska stanja)
7. Maksimalna i minimalna opterećenja "nazivne" 2005. i 2010. godine (224 pogonska stanja).

Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja za različite gore navedene grupe pogonskih stanja prikazuje tablica 3. Za određivanje optimalnih lokacija i veličina izgradnje kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika kao mjerodavnu ocjenjujemo grupu pogonskih stanja karakterističnih po minimalnom opterećenju nazivne 2005. i 2010. godine (osjenčano u tablici). U slučaju uzimanja u obzir, kao mjerodavne za određivanje optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, grupe pogonskih stanja karakterističnih i po maksimalnom opterećenju EES-a, rezultati nisu realni jer se tada pretpostavlja da je prigušnica konstantno priključena na mrežu, što u stvarnosti nije slučaj (isključuje se pri visokim opterećenjima EES-a kada su naponske prilike zadovoljavajuće). Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika su:

1. RHE Obrovac (400 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar
2. TS 400/220/110 kV Konjsko (400 kV sabirnice) – prigušnica 50 Mvar.

Za određivanje optimalne lokacije i veličina izgradnje kompenzacijskih uređaja s aspekta gubitaka radne snage kao mjerodavne ocjenjujemo odvojeno grupe pogonskih stanja karakterističnih po maksimalnom i minimalnom opterećenju nazivne 2005. i 2010. godine (osjenčano u tablici). Iz rezultata je vidljivo da je optimalni kompenzacijski uređaj u maksimumu op-

Tablica 3. Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja

Pogonska stanja	Optimalne lokcije i veličine kompenzacijskih uređaja		
	Naponske prilike	Gubici radne snage	Blizina sloma napona
Max. 2005.	/	Medurić 220 kV C100 Ernestinovo 400 kV C50	/
Min. 2005.	Obrovac 400 kV L150 Mvar Konjsko 400 kV L50 Mvar	Žerjavinec 220 kV L150 Ernestinovo 400 kV L100 Tumbri 400 kV L150	Žerjavinec 220 kV L150 Pehlin 220 kV L150 Mraclin 220 kV L150
Max. 2010.	/	Medurić 220 kV C100 Mraclin 220 kV C50 Žerjavinec 220 kV C100	/
Min. 2010.	Obrovac 400 kV L150 Mvar Konjsko 400 kV L50 Mvar	Žerjavinec 220 kV L150 Medurić 220 kV L50 Tumbri 400 kV L100	Žerjavinec 220 kV L150 Pehlin 220 kV L150 Mraclin 220 kV L150
Max. 2005. i 2010.	/	Medurić 220 kV C100 Mraclin 220 kV C50 Žerjavinec 220 kV C100	/
Min. 2005. i 2010.	Obrovac 400 kV L150 Mvar Konjsko 400 kV L50 Mvar	Žerjavinec 220 kV L150 Tumbri 400 kV L150 Mraclin 220 kV L50	Žerjavinec 220 kV L150 Pehlin 220 kV L150 Mraclin 220 kV L150
Max. i min. 2005. i 2010.	Obrovac 400 kV L150 Mvar Melina 400 kV L50 Mvar	Žerjavinec 220 kV L100 Tumbri 400 kV L150 Ernestinovo 400 kV L100	Žerjavinec 220 kV L150 Pehlin 220 kV L150 Mraclin 220 kV L150

* L – prigušnica (L50 – 50 Mvar, L100 – 100 Mvar, L150 – 150 Mvar)
C – kondenzatorska baterija (C50 – 50 Mvar, C100 – 100 Mvar, C150 – 150 Mvar)

terećenja EES-a s aspekta smanjenja gubitaka radne snage kapacitivnog djelovanja, a u minimumu opterećenja induktivnog djelovanja. To nadalje znači da bi s aspekta gubitaka radne snage trebalo ugraditi takav kompenzacijski uređaj koji ima mogućnost induktivnog i kapacitivnog rada (sinkroni kompenzator, statički Var kompenzator), kako bi imao utjecaja na smanjenje gubitaka radne snage tijekom čitave godine. Analize pokazuju da bi smanjenje gubitaka radne snage bilo toliko neznatno da takav kompenzacijski uređaj ne bi bio na prvi pogled ekonomski opravdan. Međutim, pravu verifikaciju njegove opravdanosti potrebno je vrednovati preko smanjenja gubitaka radne energije. Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja (prigušnica) s aspekta smanjenja gubitaka radne snage su:

- (a) u maksimumu opterećenja
- 1a.TS 220/110 kV Medurić (220 kV sabirnice) – kondenzator 100 Mvar

2a.TS 220/110 kV Mraclin (220 kV sabirnice) – kondenzator 50 Mvar

3a.TS 400/220/110 kV Žerjavinec (220 kV sabirnice) – kondenzator 100 Mvar.
- (b) u minimumu opterećenja
- 1b.TS 400/220/110 kV Žerjavinec (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar

- 2b.TS 400/110 kV Tumbri (400 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar
- 3b.TS 220/110 kV Mraclin (220 kV sabirnice) – prigušnica 50 Mvar.
- Očito je da provedene analize ne upućuju na istu optimalnu lokaciju kompenzacijskog uređaja s dvosmjernim djelovanjem (induktivno, kapacitivno) za maksimalna i minimalna opterećenja EES-a. Radi pronalaženja obostranog optimuma trebalo bi provesti dodatna istraživanja i analize, no zbog očite neisplativosti takvog uređaja daljnje analize nisu izvršene.
- Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta blizine sloma napona su iste za sve analizirane grupe pogonskih stanja karakterističnih po minimalnom opterećenju EES-a. Za grupe pogonskih stanja karakterističnih po maksimalnom opterećenju EES-a optimalna veličina kompenzacijskog uređaja za razmatrani kriterij se ne može pronaći.
- Optimalne lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja s aspekta blizine sloma napona su:
1. TS 400/220/110 kV Žerjavinec (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar

2. TS 220/110 kV Pehlin (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar

3. TS 220/110 kV Mraclin (220 kV sabirnice) – prigušnica 150 Mvar.

Ocito je da racunski opitnum s aspekta blizine sloma napona nije prakticno primjenljiv budući da se pri niskim opterećenjima u sustavu ne pojavljuje opasnost od sloma napona.

Na osnovi provedenih analiza ocjenjujemo da optimalnu lokaciju i velicinu kompenzacijskog uređaja treba odrediti s aspekta zadovoljenja naponskih prilika u EES-u. Minimiziranje radne snage i blizina sloma napona nisu kriterij prema kojemu bi trebalo određivati način i velicinu kompenzacije u EES-u Hrvatske (težinski faktori su im 0 – funkcija cilja u korištenom matematičkom modelu). Kao konačan prijedlog lokacije, velicine i tipa kompenzacijskog uređaja, provedene analize nesumljivo ukazuju na sljedeću lokaciju: RHE Obrovac (400 kV) – prigušnica 150 Mvar.

7. UTJECAJ KOMPENZACIJSKOG UREĐAJA NA NAPONSKE PRILIKE I GUBITKE RADNE SNAGE

U ovom poglavlju je detaljno opisan utjecaj ugradnje prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac (kao predloženu lokaciju i izvedbu kompenzacije u EES-u Hrvatske), na naponske prilike i gubitke radne snage u EES-u kod jednog karakterističnog pogonskog stanja.

Kao karakteristično pogonsko stanje odabrana je varijanta "nazivne" 2010. godine za koju je na modelu detektiran najviši napon od 437 kV u TS Konjsko. Promatrano pogonsko stanje karakteristično je po:

- minimalnom opterećenju EES-a,
- normalnoj hidrologiji,
- uvozu 500 MW iz Mađarske i 400 MW iz BiH i Srbije,
- tranzitu 600 MW iz Italije za BiH, Srbiju i Bugarsku.

Važni pogonski detalji za razmatrano stanje još su:

- RHE Obrovac van pogona,
- prigušnice u TS Tumbri i TS Ernestinovo izvan pogona,
- preklopke transf. 400/220, 400/110 kV u optimalnom položaju za razmatrano pogonsko stanje,
- RHE Čapljina u kompenzacijskom režimu rada (180 Mvar), naponi u 400 kV mreži BiH iznad dozvoljenih granica (TS Mostar – 427 Mvar),
- naponi u EES Slovenije, Srbije, Crne Gore i Mađarske unutar dozvoljenih granica.

Utjecaj korištenja nekih postojećih resursa (kompenzacijski režim rada RHE Čapljina do 252 Mvar, kompenzacijski režim rada RHE Obrovac do 160 Mvar, priključenje prigušnice 50 Mvar u TS Tumbri, 100 Mvar u TS Ernestinovo, priključak prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac) prikazan je u tablici 4.

Tablica 4. Naponske prilike i gubici radne snage u razmatranom pogonskom stanju "nazivne" 2010. godine

Varijanta	Naponi u kritičnim čvorovima mreže			
	RHE Obrovac	TS Konjsko	TS Melina	TS Đakovo
Osnovno stanje	434	437	425	246
Blokirane preklopke transf. 400/220 i 400/110 kV u položaju 0*	429	432	422	251
Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 80 Mvar	425	430	421	245
Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 160 Mvar	420	426	418	244
Kompenzacijski rad RHE Čapljina do 252 Mvar	430	431	422	244
Kompenzacijski rad RHE Čapljina do 252 Mvar + Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 80 Mvar	422	426	419	243
Kompenzacijski rad RHE Čapljina do 252 Mvar + Kompenzacijski rad RHE Obrovac do 160 Mvar	418	423	417	242
Priključena prigušnica 50 Mvar u TS Tumbri	433	436	423	246
Priključena prigušnica 100 Mvar u TS Ernestinovo	432	433	423	239
Priključena prigušnica 150 Mvar u RHE Obrovac (400 kV)	416	423	417	243
Priključena prigušnica 100 Mvar u RHE Obrovac (400 kV)	422	428	419	244
Blokirane preklopke transf. 400/220 i 400/110 kV u položaju 0 + Priključena prigušnica 150 Mvar u RHE Obrovac (400 kV)**	413	421	415	250

* previsoki naponi još na:

Bilice 220	251.3 kV	Melina 220	245.8kV
Brinje	249.5 kV	Mraclin 220	246.8kV
HE Senj 220	249.1 kV	Pehlin 220	245.4kV
HE Zakućac 220	250.3 kV	Plat 220	245.5kV
Imotski 220	245.4 kV	TE Plomin 220	245.7kV
Konjsko 220	250.3 kV	TE Sisak 220	245.5kV
Medurić 220	246.1 kV	Vodnjan 220	245.6kV

** previsoki naponi još na:

Bilice 220	246.0kV
Brinje	246.2kV
HE Senj 220	245.7kV
HE Zakućac 220	246.0kV
Konjsko 220	245.0kV

Iz tablice je vidljivo da se najbolje naponske prilike postižu ugradnjom prigušnice snage 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac. Napon je tada neznatno iznad dopuštene gornje granice jedino u TS Konjsko (423 kV), dok se u ostalim čvorovima mreže on nalazi unutar dozvoljenih granica.

Ukoliko bi preklopke transformatora 400/220 kV i 400/110 kV bile postavljene u položaj 0, naponi u 400 kV mreži bi se u odnosu na osnovno stanje (optimalan položaj preklopki tih transformatora s obzirom na očuvanje napona sekundara) nešto popravili (najviši napon u TS Konjsko – 432 kV), ali bi se znatno pokvarili u 220 kV mreži, a 15 čvorova u mreži te naponske razine u EES-u Hrvatske bi imalo napon viši od dopuštenih 245 kV.

U slučaju da pri opisanom pogonskom stanju jedan generator RHE Obrovac radi u kompenzacijskom režimu rada (– 3MW/do – 80 Mvar) naponske prilike u svim kritičnim čvorovima mreže bi ostale nepovoljne, izuzev u TS Đakovo gdje bi napon bio na dozvoljenoj gornjoj granici. Radom dva generatora RHE Obrovac u kompenzacijskom režimu rada napon u TS Konjsko bi i dalje bio iznad dozvoljene gornje granice (426 kV).

Bez nove prigušnice u EES-u RH, kompenzacijski rad RHE Čaplina s maksimalnih 252 Mvar kapacitivno, snizio bi napone u EES-u Hrvatske, ali ne u dovoljnoj mjeri. Kombinacija RHE Čaplina (do 252 Mvar) i jednog generatora RHE Obrovac (do 80 Mvar) i dalje ne bi snizila napone u svim kritičnim čvorovima mreže ispod gornje granice (Obrovac 422 kV, Konjsko 426 kV), a tek bi kombinacija RHE Čaplina i dva generatora RHE Obrovac u maksimalnom kompenzacijskom režimu rada dovela donekle do zadovoljavajućih naponskih prilika (TS Konjsko i dalje iznad gornje granice – 423 kV).

Prigušnica 50 Mvar na tercijaru transformatora u TS Tumbri ne utječe značajno na naponske prilike u kritičnim čvorovima mreže. Utjecaj priključenja prigušnice 100 Mvar na 110 kV sabirnice TS Ernestinovo nešto je izraženiji, a tek priključak prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac dovodi do donekle zadovoljavajućih naponskih prilika u EES-u Hrvatske (napon je i dalje previsok u TS Konjsko – 423 kV).

Iz tablice 4 je vidljivo da se priključkom prigušnice 150 Mvar u RHE Obrovac postižu približno jednake naponske prilike u kritičnim čvorovima mreže, kao i u istodobnom kompenzacijskom radu RHE Čaplina do maksimalno 252 Mvar kapacitivno i dva generatora RHE Obrovac do 160 Mvar ukupno. Očito je da bi u slučaju trajnog kompenzacijskog rada RHE Čaplina i RHE Obrovac pri niskim opterećenjima EES-a kada se naponi podižu iznad dozvoljene gornje granice, snaga ugrađene prigušnice na 400 kV sabirnicama RHE Obrovac mogla biti i manja od predloženih 150 Mvar.

Ugradnjom prigušnice 150 Mvar na 400 kV sabirnice RHE Obrovac ukupni gubici radne snage na modelu za

analizirano pogonsko stanje bi se smanjili za 3.05 MW (35.13 MW – 32.08 MW). To smanjenje se odnosi na čitavu modeliranu mrežu (dakle i susjedne EES). U EES-u Hrvatske smanjenje gubitaka radne snage u analiziranom pogonskom stanju bi iznosilo 2.66 MW (16.79 MW – 14.13 MW).

Naponske prilike u 400 kV mreži Hrvatske značajno ovise o naponima u rubnim čvorovima susjednih sustava (Slo, Mađ, BiH i SRJ). U slučaju kada bi u prethodno analiziranom pogonskom stanju napon na sabirnicama Obrenovac i NE Krško bio 420 kV (ovisno o angažmanu jalove snage generatora TE Nikola Tesla i NE Krško) previsoki naponi bi se pojavili i u TS Ernestinovo i TS Tumbri. Prigušnice 50 Mvar u Tumbri i 100 Mvar u Ernestinovu tada bi pridonijele smanjenju napona u tim TS, a za sniženje napona na južnom kraku bilo bi potrebno priključiti i prigušnicu 150 Mvar u RHE Obrovac.

8. ZAKLJUČAK

Na temelju matematičkog modela prema kojem se traži optimalna lokacija i veličina kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika, minimiziranja gubitaka radne snage i blizine sloma napona, razvijen je programski paket *Optlok*, te su izvršeni proračuni potreba ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a za kratkoročan i srednjoročan razvoj mreže (do "nazivne" 2010. godine). Proračuni su obuhvatili analizu 224 moguća i očekivana pogonska stanja s obzirom na mogućnosti angažmana elektrana u EES-u Hrvatske (hidrologiju), opterećenje EES-a, razmjene i tranzite snage preko prijenosne mreže, te načinu rada RHE Obrovac i RHE Čaplina.

S obzirom na naponske prilike u EES-u Hrvatske (naponske razine 400, 220 i 110 kV), u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju možemo očekivati probleme povišenja napona u mreži iznad maksimalno dozvoljenih vrijednosti. Problem povišenja napona najizraženiji je u 400 kV mreži, a najugroženije transformatorske stanice su RHE Obrovac, Konjsko i Melina. Povišenje napona javlja se pri niskim opterećenjima EES-a bez obzira na razmjene snage sa susjednim EES-ima ili tranzite za potrebe trećih zemalja (u iznosima koji su analizirani). Rad jednog ili dva generatora RHE Obrovac u kompenzacijskom režimu (do 80 Mvar kapacitivno po generatoru) ne može u potpunosti riješiti spomeniti problem pri svim mogućim i očekivanim pogonskim stanjima. Problem bi se značajno ublažio ukoliko bi osim RHE Obrovac u kompenzacijskom režimu za potrebe EES-a Hrvatske radila još i RHE Čaplina.

Ispravnim podešenjem preklopki transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju (400/220 kV i 400/110 kV), te automatskom regulacijom napona transformatora 220/110 kV, problem povišenja napona u 400 kV mreži

moguće je ograničiti samo na tu naponsku razinu (usprkos intenziviranju problema na toj razini), te očuvati napone u 220 kV i 110 kV mrežama unutar dozvoljenih granica.

Radi efikasnog korištenja postojećih resursa u EES-u, a radi ublažavanja problema previsokih napona pri niskim opterećenjima u sustavu, predlaže se poduzimanje sljedećih koraka:

1. Ažuriranje pogonskih karata generatora u EES-u.
2. Provjera podešenja limitera poduzbude generatora, eventualno novo podešenje istih radi "dubljeg" rada generatora u kapacitivnom području, a ovisno o proračunima stabilnosti EES-a.
3. Podešenje preklopki transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju (400/220 kV i po potrebi 400/110 kV) najmanje dvaput godišnje (za zimski i ljetni režim rada).

Nakon obavljanja svih prethodno navedenih aktivnosti, radi održavanja naponskih prilika unutar dozvoljenih granica, nužno bi bilo ugraditi kompenzacijski uređaj kapacitivnog djelovanja (npr. prigušnicu) na 400 kV naponsku razinu. Najpovoljnija lokacija za istu je RHE Obrovac, a najpovoljnija veličina iste je 150 Mvar.

Ukoliko se želi u potpunosti izbjeći problem previsokih napona u mreži, bilo bi potrebno ugraditi dodatnu prigušnicu snage 50 Mvar na 400 kV sabirnice TS 400/220/110 kV Konjsko. Taj zahvat ne ocjenjujemo nužnim imajući u vidu moguća pogonska stanja u kojima se i dalje mogu javljati prekoračenja napona u 400 kV mreži nakon ugradnje prigušnice 150 Mvar u RHE Obrovac na 400 kV sabirnice, te mogućnosti kompenzacijskog režima rada RHE Obrovac i RHE Čapljina.

Ugradnju kompenzacijskog uređaja (jednog ili više njih, snage veće od 50 Mvar) s aspekta smanjenja gubitaka radne snage u prijenosnoj mreži, kao i s aspekta blizine sloma napona, ne smatramo opravdanom, budući da u EES-u realno ne postoji opasnost od sloma napona pri normalnom režimu rada (raspoložive sve grane mreže), te budući da smanjenje gubitaka radne snage nakon ugradnje kompenzacijskog uređaja nije značajno za sve analizirane varijante proračuna. Ovaj zaključak odnosi se na razmatranje potrebne kompenzacije na razini cjelokupnog EES-a, a zanemarujući moguće lokalne probleme (ispadi pojedinih vodova u 110 kV mreži, utjecaj automatske regulacije na transformatorima 110/x kV i sl.) koji eventualno mogu voditi ka razmatranju potreba (statičke i dinamičke analize) ugradnje lokalnih kompenzacijskih uređaja manje jedinične snage na 110 kV ili 35 kV naponskoj razini i s obzirom na ta dva kriterija.

Ekonomska opravdanost ove investicije nije ispitivana ovom prilikom, a što bi svakako trebalo imati veliku važnost pri eventualnom donošenju odluke o investiranju. Da bi se mogla što točnije procijeniti ekonomska dobit od ugradnje kompenzacijskog uređaja bilo bi nužno poznavati okvire tržišta električne energije unu-

tar kojih će funkcionirati hrvatski elektroenergetski sustav, te naknade za pomoćnu uslugu regulacije napona i jalove snage.

LITERATURA:

- [1] M. MAJSTROVIĆ, G. MAJSTROVIĆ, D. BAJŠ: "Metode za izbor najpovoljnije lokacije kompenzacijskih uređaja", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2001.
- [2] D. BAJŠ, G. MAJSTROVIĆ, M. MAJSTROVIĆ: "Analiza potreba ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a za planirani razvoj mreže u kratkoročnom i dugoročnom razdoblju", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2002.
- [3] ENERGIJA br. 5/2001, HEP, Zagreb, listopad 2001.
- [4] SECI PROJECT GROUP ON DEVELOPMENT OF INTERCONNECTION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS OF SECI COUNTRIES – REGIONAL TRANSMISSION NETWORK PLANNING PROJECT: Regional model construction, ESP, CMS,EKC, 2002.
- [5] SUMMARY OF THE CURRENT OPERATING PRINCIPLES OF THE UCPTE, UCPTE, 1999.
- [6] GODIŠNJI IZVJEŠTAJ 2000, Elektroprivreda BiH, Sarajevo, 03. 2001.
- [7] LETNO POROČILO 2000, ELES Ljubljana, 2001.
- [8] OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE SRBIJE ZA 2000. GODINU, Beograd, 2001.
- [9] GODIŠNJI IZVJEŠTAJ 2000., Elektroprivreda Crne Gore, Nikšić, 2001.
- [10] ANNUAL REPORT 2000., MVM, Budapest, 2001.
- [11] LOVRIĆ, GOIĆ: "Gubici električne energije u prijenosnoj mreži HEP-a", Energija, broj 5, Zagreb, 2001.
- [12] RAZVITAK ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE DO 2030. GODINE – MASTER PLAN (novelacija), EIHP, Zagreb, 2001.
- [13] DALJINSKO UPRAVLJANJE REGULACIJOM NAPONA I JALOVE SNAGE – SEKUNDARNA REGULACIJA NAPONA I JALOVE SNAGE, FER, Zagreb, 1991.
- [14] D. BAJŠ, B. RADMILOVIĆ, S. ALERIĆ: "Studija uklapanja nove KTE snage 400 Mw na EES Republike Hrvatske (lokacija TE-TO Zagreb, TE Sisak, TETO i PTE Osijek)", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2000.

OPTIMAL SIZE AND LOCATION OF COMPENSATION EQUIPMENT INSTALLATION IN THE TRANSMISSION NETWORK OF HEP

The paper offers the analysis of optimal size and location of compensation equipment installation in the transmission network of the Croatian Electric Company for planned short and mid-term period network development. The analysis has been conducted based on the mathematical model described in an earlier paper. Based on a huge number of possible and expected operation states the compensation proposal is given, the analysis of different measures as well as of the existing resource usage in order to maintain voltage within limits.

OPTIMALE LEISTUNG UND STANDORT VON KOMPENSATIONSANLAGEN IM ÜBERTRAGUNGSNETZ KROATISCHER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Vorgezeigt wird die Untersuchung optimaler Leistung und Standortauswahl für Kompensationsanlagen im Übertragungsnetz der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft zwecks Planung der kurzfristigen und der mittelfristigen Netzentwicklung. Die Untersuchung ist auf Grund des im früheren Artikel beschriebenen mathematischen Modells durchgeführt worden. Von der grossen Anzahl möglicher und erwarteter Betriebszustände ausgehend, wird ein Vorschlag für die Kompensation gegeben und untersucht wird der Einfluss einiger Massnahmen und der Nutzung bestehender Mittel für die Einhaltung von Spannungsverhältnissen innerhalb zulässiger Grenzen.

Naslov pisaca:

Mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.
prof. dr. sc. Mislav Majstrovic, dipl. ing.
mr. sc. Goran Majstrovic, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar",
Savska 163, 10000 Zagreb
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2002 – 12 – 10.

- [1] ENERGIJA br. 5/2001, HEP, Zagreb, listopad 2001.
- [2] SECI PROJECT GROUP ON DEVELOPMENT OF INTERCONNECTION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS OF SECI COUNTRIES – REGIONAL TRANSMISSION NETWORK PLANNING PROJECT: Regional model construction, ESP, CMS, EKC, 2002.
- [3] SUMMARY OF THE CURRENT OPERATING PRINCIPLES OF THE ECPT, ECPT, 1999.
- [4] GODIŠNI IZVJEŠTAJ 2000, Elektroprivreda BiH, Sarajevo, 12. 2001.
- [5] LETNO FORUMIČO 2000, ELES Ljubljana, 2001.
- [6] OSNOVNI PODACI ELEKTROPRIVREDE SRBIJE ZA 2000. GODINU, Beograd, 2001.
- [7] GODIŠNI IZVJEŠTAJ 2000, Elektroprivreda Crne Gore, Nikšić, 2001.
- [8] ANNUAL REPORT 2000, MVM, Budapest, 2001.
- [9] LOVRIĆ, GOIĆ: "Gubitak električne energije u prijenosu mreži HEP-a", Energija, broj 2, Zagreb, 2001.
- [10] RAZVITAK ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE DO 2030. GODINE – MASTER PLAN (novelacija), EIH, Zagreb, 2001.
- [11] DALINSKO UPRAVLJANJE REGULACIJOM NAPONA I JALOVE SNAGE – SEKUNDARNA REGULACIJA NAPONA I JALOVE SNAGE, FER, Zagreb, 1991.
- [12] D. BAJŠ, B. RADMILOVIĆ, S. ALIĆ: "Studija uklopavanja nove KTE snage 400 Mw na EES Republike Hrvatske (lokacija TE-TO Zagreb, TE Sisač, TE TO PTE Osijek)", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, 2000.

OPTIMAL SIZE AND LOCATION OF COMPENSATION EQUIPMENT INSTALLATION IN THE TRANSMISSION NETWORK OF HEP

The paper offers the analysis of optimal size and location of compensation equipment installation in the transmission network of the Croatian Electric Company for planned short and mid-term period network development. The analysis has been conducted based on the mathematical model described in an earlier paper. Based on a huge number of possible and expected operation states the compensation proposal is given, the analysis of different measures as well as of the existing resources usage in order to maintain voltage within limits.

može je ostvariti samo na na naponsku razinu (usprikoš intenziviranja problema na toj razini), te oduvati napone u 220 kV i 110 kV mrežama unutar dozvoljenih granica.

Radi efikasnog korištenja postojećih resursa u EES-u, a radi ublažavanja problema s naponom pri naponskim opterećenjima, potrebno je se poduzeti.

U ovom radu analizirano je stanje u EES-u, a posebno je istaknuta potreba za ugradnjom kompenzacijskih uređaja u mreži.

Uredništvo primilo rukopis:
 2002 – 12 – 10.

Uredništvo primilo rukopis:
 2002 – 12 – 10.

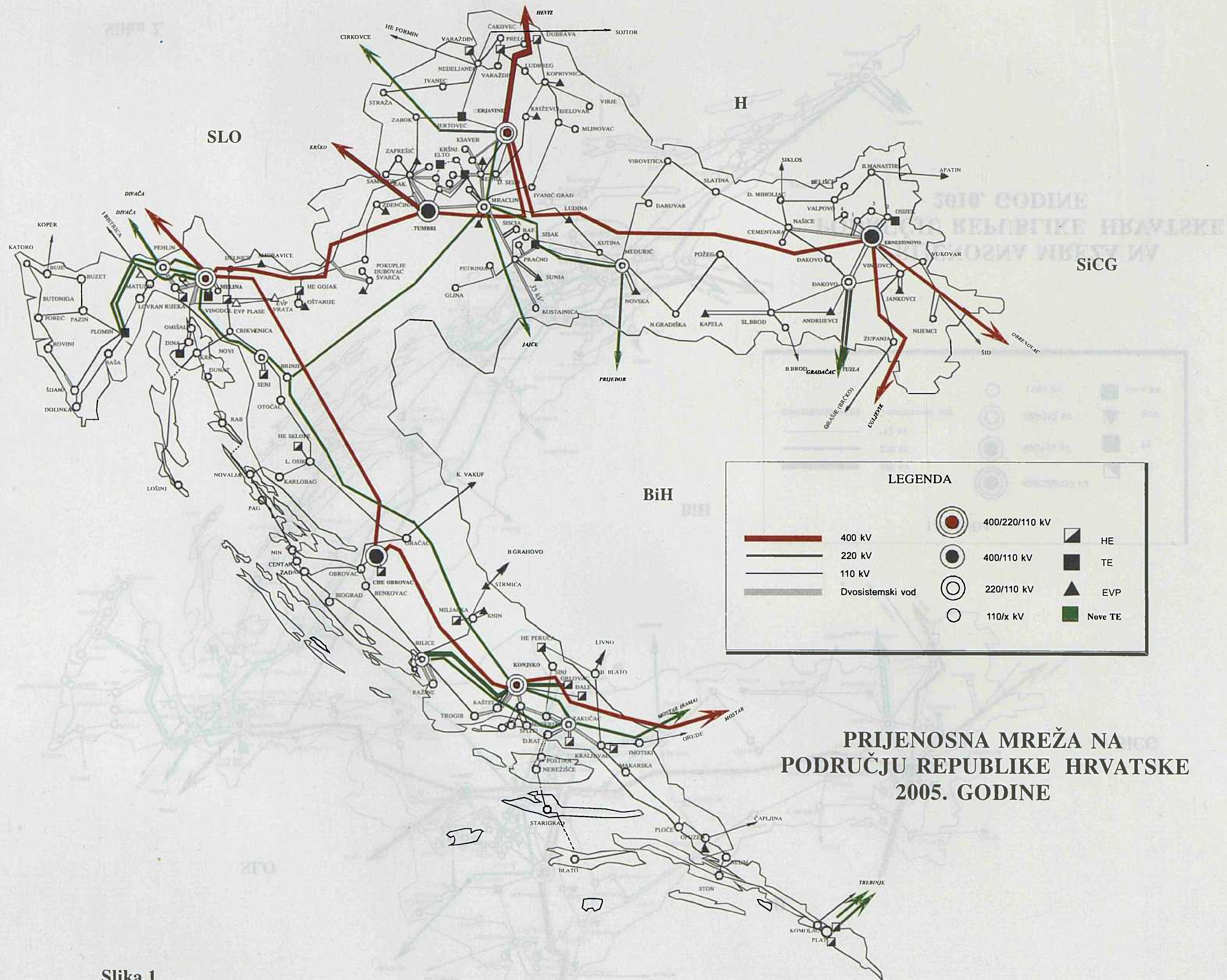
Nakon obavljanja svih prethodno navedenih aktivnosti, radi ublažavanja naponskih prilika unutar dozvoljenih granica, nužno je bilo ugraditi kompenzacijski uređaj kapacitivnog djelovanja (npr. prijenosni) na 400 kV naponsku razinu. Najpovoljnija lokacija za istu je RHE Opatovac, a najpovoljnija veličina iste je 150 Mvar.

Ukoliko se želi u potpunosti riješiti problem prevelikih napona u mreži, bilo bi potrebno ugraditi dodatnu prijenosnu snagu 50 Mvar na 400 kV razini. Tada bi 400/220/110 kV Kanijsko. Taj zahvat ne odgovara ni po važnosti, ni po mogućnosti, niti po troškovima. U ovom radu analizirano je stanje u EES-u, a posebno je istaknuta potreba za ugradnjom kompenzacijskih uređaja u mreži. Najpovoljnija lokacija za istu je RHE Opatovac, a najpovoljnija veličina iste je 150 Mvar.

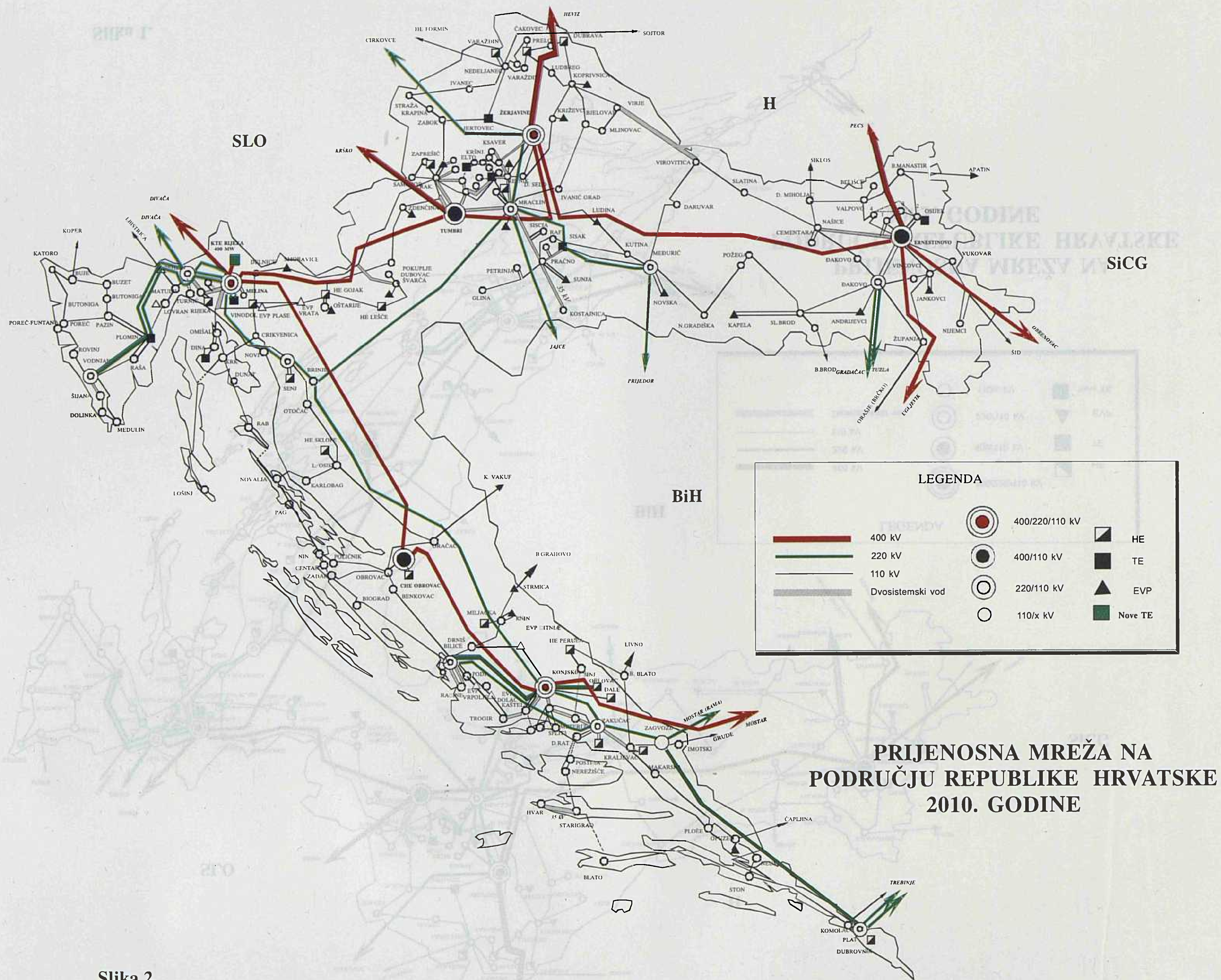
Urednju kompenzacijskog uređaja (jednog ili više) snage veće od 50 Mvar) s aspekta smanjenja gubitaka, snage u prijenosnoj mreži, kao i s aspekta blizine slova napona, ne smatramo opravdanim, budući da u EES-u realno ne postoji opasnost od slova napona pri normalnom režimu rada (raspoložive sve snage mreže), te budući da smanjenje gubitaka snage nakon ugradnje kompenzacijskog uređaja nije značajno za sve analizirane varijante protoka. Ova analiza odnosi se na razmatranje potrebe kompenzacijske snage na razini cjelokupnog EES-a, a razmatranje potrebe lokalne kompenzacije (ispadi pojedinih vodova u 110 kV mreži, utjecaj automatske regulacije na transformatorima 110x kV i sl.) koji eventualno mogu voditi ka razmatranju potreba (statike i dinamičke analize) ugradnje lokalnih kompenzacijskih uređaja manje jedinice snage na 110 kV ili 35 kV naponskoj razini i obratno na ta dva kriterija.

Ekonomika opstojanosti ove investicije nije ispitivana ovom prilikom, a što bi svakako trebalo imati veliku važnost pri eventualnom donošenju odluke o investiranju. Da bi se mogla što točnije procijeniti ekonomska dobrot od ugradnje kompenzacijskog uređaja bilo bi nužno poznavati okvirne tržišne električne energije un-

PRILOG: ANALIZIRANE KONFIGURACIJE EES-a HRVATSKE



Slika 1.



Slika 2.

POTISKIVANJA VIBRACIJA VRATILA AGREGATA A HE DUBRAVA ZASNOVANO NA DETALJNOJ DIJAGNOSTICI ROTORA

Đuro Dvekar, Goričan – Branko Bajić, Zagreb/Luksemburg – Ivan Bacić, Pušćine
– Damir Magić, Čakovec – Josip Sabolek, Čakovec – Muharem Demirović, Zagreb

UDK 621.311.21.005
PREGLEDNI ČLANAK

Opisuje se način smanjenja razine vibracija vratila cijevnog agregata A HE Dubrava uzrokovanih labavljenjem zaklinjenog spoja polnog kotača i vratila. Provedeno je precizno namještanje polnog kotača na vratilo zasnovano na opsežnim dijagnostičkim ispitivanjima i detaljnoj analizi kinematike i dinamike rotora agregata. Položaj je fiksiran elementima koji su imuni na postojeći tip trošenja.

Ključne riječi: vratilo, polni kotač, rotor, vibracije, dijagnostika.

1. UVOD

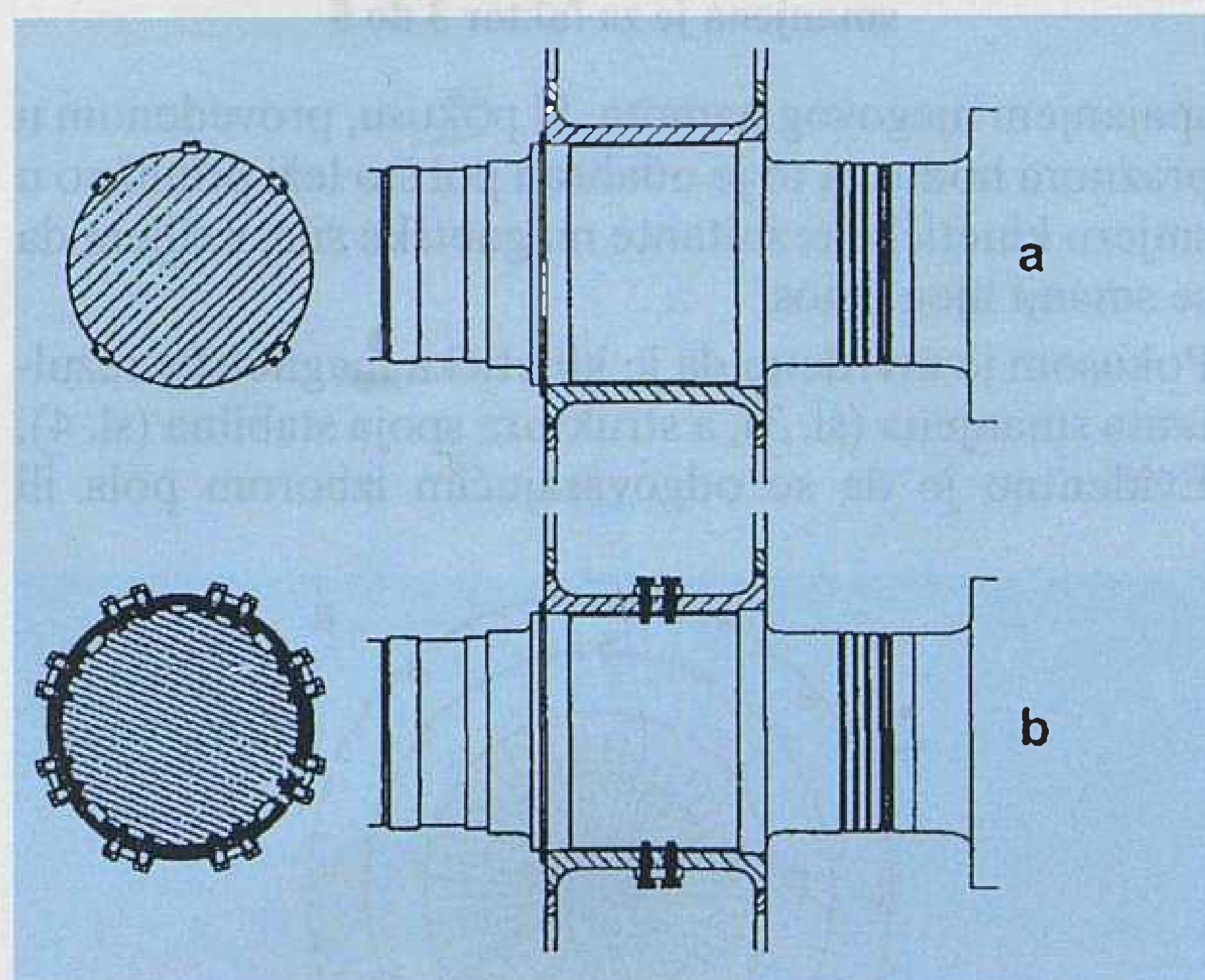
Vratila oba cijevna agregata HE Dubrava snage po 40 MW uležištena su pomoću dva radijalna ležaja na krajevima i jednog aksijalnog između njih, a polni kotač generatora je spojen na vratilo zaklinjenjem (sl. 1). Ovaj spoj ima nekoliko mana [1]: tanka i elastična glavina, premalen preklop između glavine polnog kotača i vratila, te neodgovarajuće izvedeni utori za klinove. Sve ovo je uzrok dugogodišnjeg trošenja i labavljenja spoja na agregatu A, što je rezultiralo visokim vibracijama vratila (sl. 2) i skakanjem polnog kotača po vratilu [2]. Konačno, povećanje amplituda vibracija vratila na 0,5 mm pod teretom i 0,8 mm u praznom hodu onemogućilo je daljnju eksploataciju.

Stroj je osposobljen za daljnji rad kroz dvije sanacije, koje se opisuju u nastavku.

2. PRVA SANACIJA

Središnji dio glavine polnog kotača fiksiran je na vratilo pomoću 32 zatika koji su radijalno stegnuti vijcima, a postojeći klinovi su doklinjeni (sl. 1). Ideja ovakve sanacije bila je da se polni kotač osloni na središnji dio glavine, koji se ne deformira zbog radijalnih sila. Isto tako, kako je novo oslanjanje smješteno u uskom pojasu na sredini glavine, izostaje klizanje između dosjednih ramena glavine i vratila, uzrokovano savijanjem vratila.

Nakon zahvata obavljena su detaljna dijagnostička ispitivanja [2]. Provedena su mjerenja zračnog raspora, magnetskog toka i relativnih vibracija vratila da bi se otkrio uzrok visokih vibracija i ocijenio uspjeh sanacije. Utvrđeno je da je uzrok vibracija ekscentričnost pol-



Slika 1. Spoj vratilo – polni kotač:

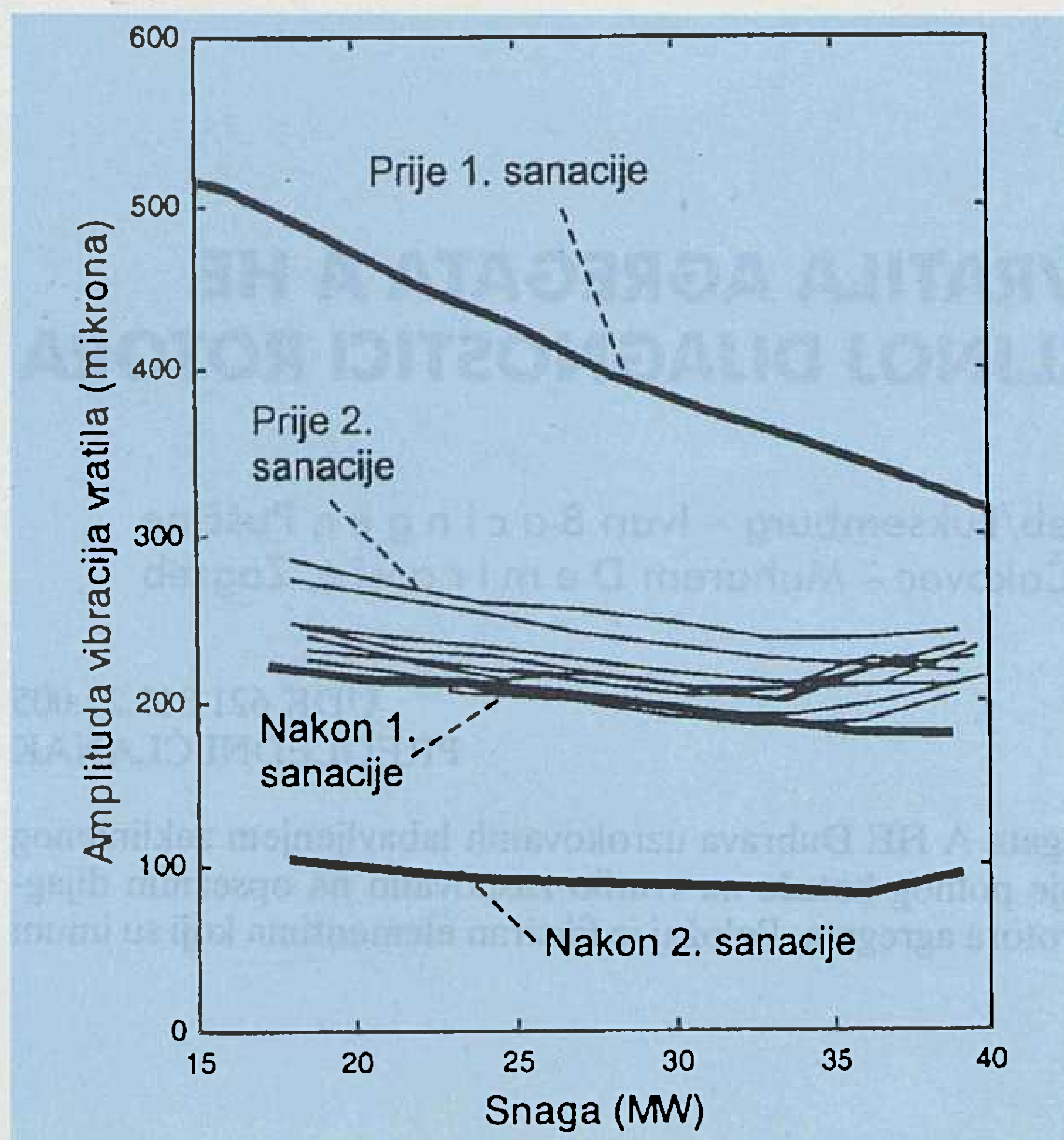
(a) prije i

(b) poslije 1. sanacije radijalnim prizonima

nog kotača u odnosu na os vrtnje. Magnetske sile između rotora i statora slijede promjenu zračnog raspora, a kinetička komponenta njihove rezultante ima smjer minimuma zračnog raspora. Ova sila uzrokuje prisilne vibracije vratila na frekvenciji vrtnje.

Sanacijom je ekscentričnost u mehaničkoj vrtnji smanjena i fiksirana na 0,35 mm s nizvodne strane, te 0,15 mm s uzvodne strane generatora, uz kut između smjerova ekscentričnosti od 90°. Amplituda vibracija vratila smanjena je za faktor reda 2 u odnosu na stanje prije remonta (sl. 2).

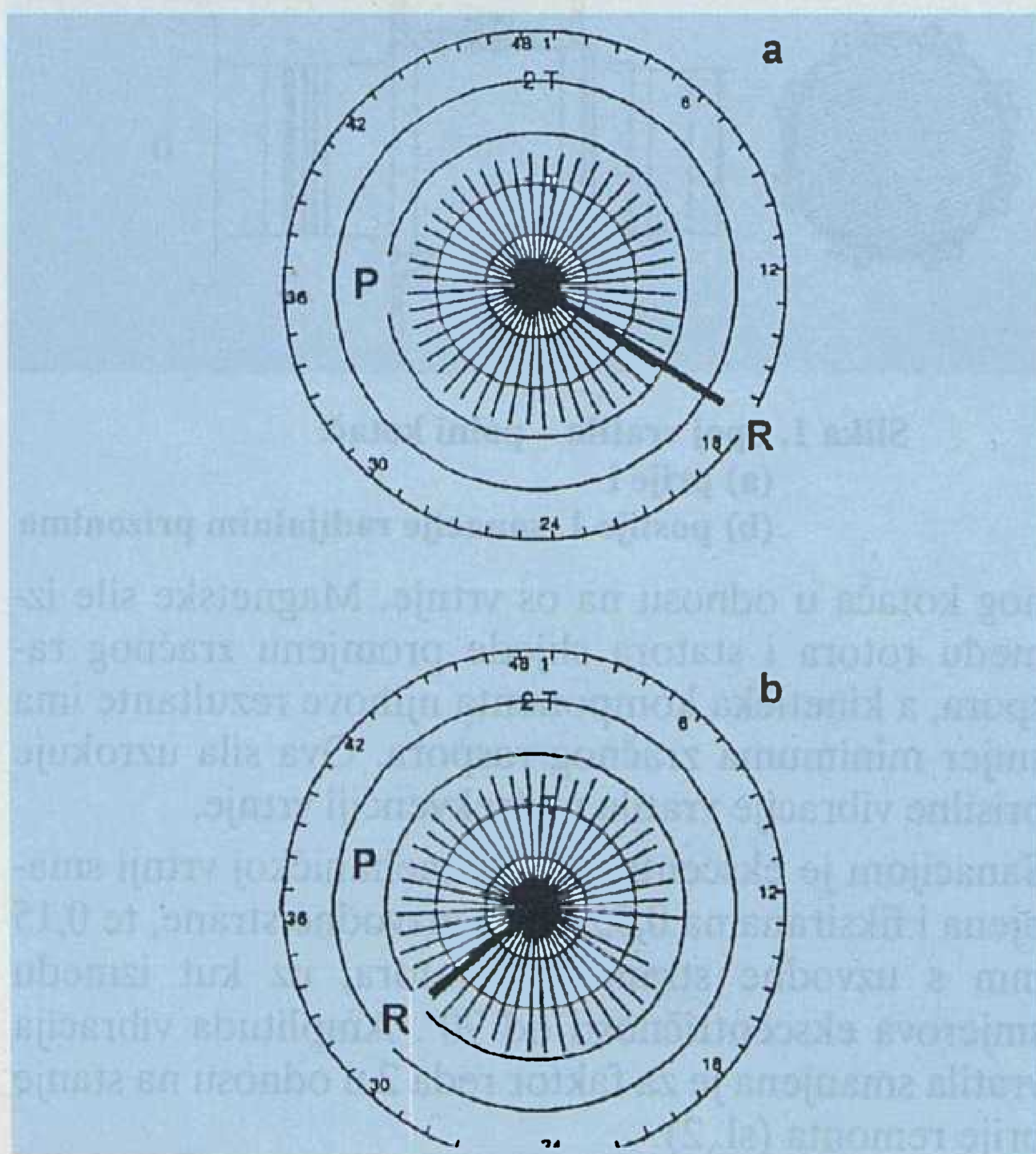
Da bi se ocijenila stabilnost strukture spoja postignuta sanacijom i eventualno našao još jedan način smanjenje razine vibracija vratila, proveden je pokus s isključivanjem djelovanja odabranog pola kratkim



Slika 2. Sanacijskim zahvatima amplituda vibracija vratila smanjena je za faktor 3 do 5

spajanjem njegovog namota. U pokusu, provedenom u praznom hodu, za to je odabran pol što leži približno u smjeru kinetičke rezultante magnetske sile, s ciljem da se smanji njen iznos.

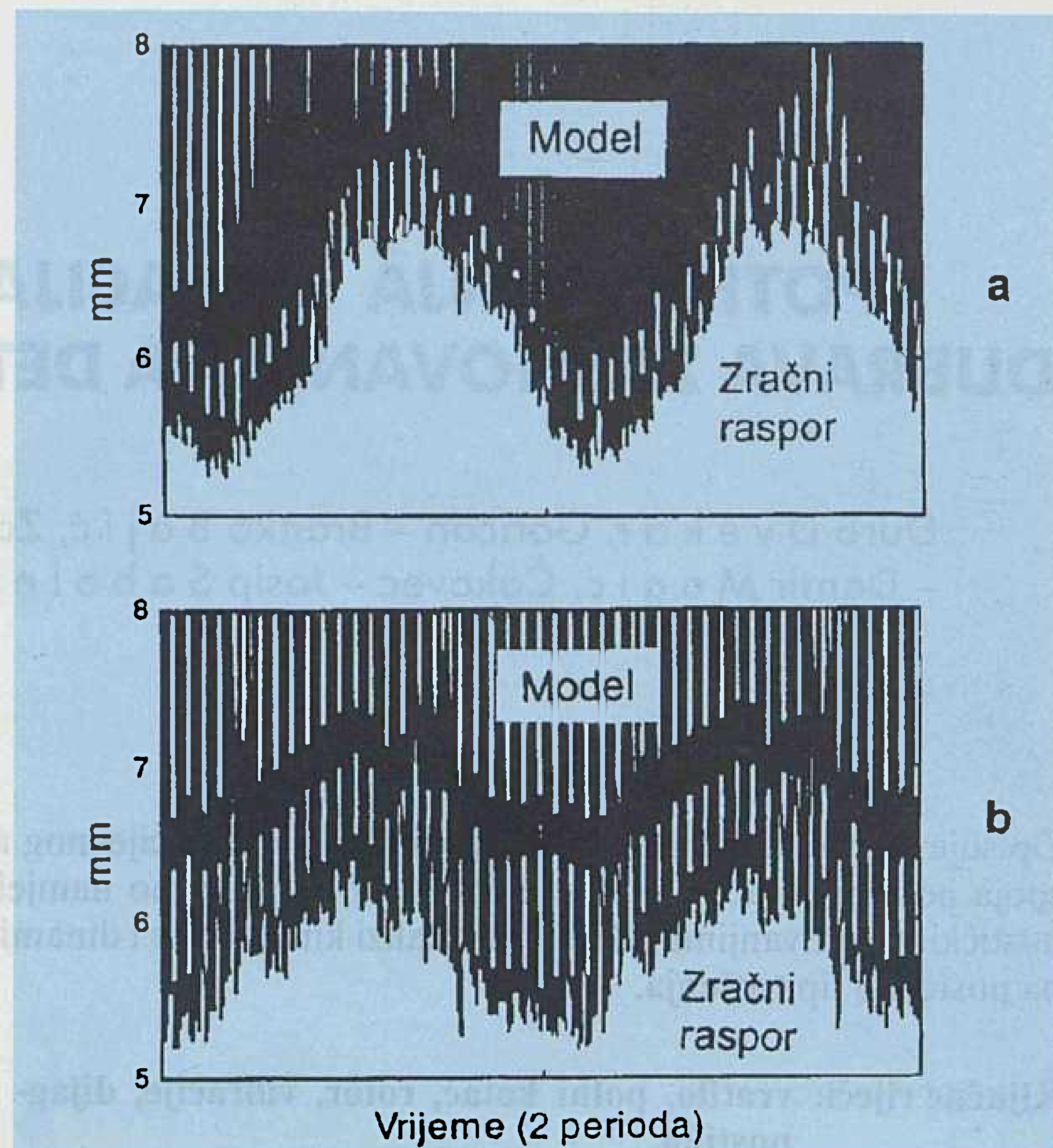
Pokusom je utvrđeno da je kinetička magnetska rezultanta smanjena (sl. 3), a struktura spoja stabilna (sl. 4). Evidentno je da se odgovarajućim izborom pola ili



Slika 3. Rezultanta (R) dinamičke komponente magnetskog toka polova (P):

(a) bez kratkog spoja

(b) s kratkim spojem na jednom polu



Slika 4. Model za provjeru stabilnosti strukture spoja vratilo – polni kotač:

Ako je spoj stabilan vrijedi:

1. Zračni raspor u mehaničkoj vrtnji je obodno stalan.
2. Zračni raspor = Model – Obodno stalna deformacija zračnog raspora uzrokovana magnetskim silama, gdje je

$$\text{Model} = \text{Zračni raspor u mehaničkoj vrtnji} + \text{Dinamička komponenta pomaka vratila u ravnini i smjeru zračnog raspora.}$$

Pokus pokazuje da su oba uvjeta zadovoljena, što znači da je prvom sanacijom postignuta stabilnost strukture. Porast vibracija tijekom naredne godine, između 1. i 2. remonta (sl. 2), pokazuje pak da se nestabilnost spoja ponovno razvijala.

polova i stupnjem smanjenja njihova djelovanja promjenjiva magnetska sila može praktično potpuno eliminirati i time stroj dodatno umiriti.

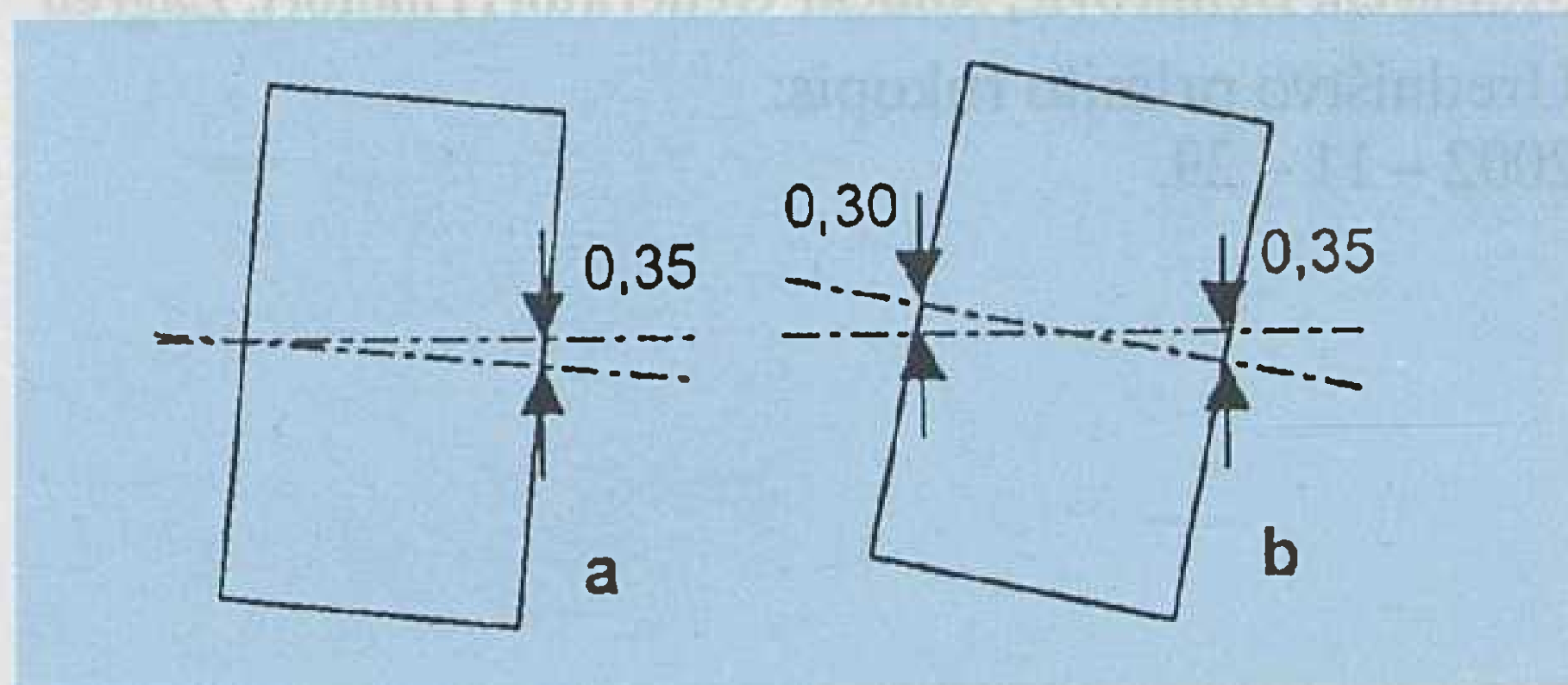
3. DRUGA SANACIJA

Neidealno učvršćenje polnog kotača na vratilo dozvolilo je porast ekscentričnosti u eksploataciji. U jednogodišnjem periodu ova je porasla na 0,4 mm s nizvodne i 0,17 s uzvodne strane generatora, dok su smjerovi ekscentričnosti ostali nepromijenjeni. Amplituda vibracija vratila porasla je za cca 30% (sl. 2).

Ovakvo pogoršavanje zahtijevalo je ponovnu sanaciju. Svi zatici zamijenjeni su novima, a na nizvodnoj strani glavine montirano je 8 vijaka za centriranje s pripadnim osloncem.

Polni kotač namješten je temeljem opsežnih dijagnostičkih ispitivanja i detaljne analize kinematike i dinamike rotora agregata. Ekscentričnost s nizvodne strane postavljena je na iznos iz prethodnog remonta, dok je ona s uzvodne strane generatora namjerno povećana na 0,3 mm, ali u suprotnom smjeru u odnosu

na ekscentričnost s nizvodne strane (sl. 5). Ovakvo "ekscentriranje" provedeno je jer fizički nije bilo moguće potpuno centriranje na nizvodnoj strani, a na temelju proračuna koji je pokazao da će nakon ovakvog zahvata razina relativnih vibracija vratila biti manja. Mjerenja su ovo potvrdila: ovim je zahvatom razina vibracija vratila smanjena za daljnjih 2 puta (sl. 2). Time su značajno smanjena dinamička opterećenja spoja, te je labavljenje spoja u idućem dvogodišnjem periodu bilo jedva primjetno.



Slika 5. Položaj polnog kotača u odnosu na os vrtnje (mjere u mm)

(a) nakon 1. sanacije – centriranje

(b) nakon 2. sanacije – ekscentriranje

4. DISKUSIJA

Ekscentričnosti polnoga kotača u odnosu na os vrtnje, koje se gore spominju, izmjerene su u mehaničkoj vrtnji, dakle bez magnetskih sila. Kad je uključena uzbuda, one se promijene za iznos amplitude vibracija vratila, kojoj su pak same i uzrok. Kinetička magnetska rezultanta može izazvati relativno velike amplitude vibracija vratila zbog izvedbe uležištenja rotora; težište polnog kotača udaljeno je od najbližeg vodećeg ležaja (generatorskog) više od 2 m.

Balansiranjem koje je provedeno nakon svake sanacije rotor je uravnotežen prema masenom debalansu. Utjecaj ovoga na vibracije vratila kad je uključena uzbuda nije značajan.

Prije dvije opisane sanacije pokušano je učvršćenje spoja ugradnjom aksijalnih zatika između vratila i glavine na nizvodnoj strani. Zbog karaktera trošenja, zahvat se nije pokazao učinkovitim.

Sanacija radijalnim prizonima ipak je privremena zbog nemogućnosti agresivnijeg zahvata na spoju bez demontaže generatora. Ograničenja tehnoloških postupaka provedivih na licu mjesta ne dozvoljavaju dovoljne dimenzije nosivih elemenata potrebne za trajnu pouzdanost ovakvog rješenja.

5. PREGLED I ZAKLJUČCI

Nakon što je stroj morao biti zaustavljen zbog labavosti spoja polnog kotača i vratila, sanacijama radijalnim zaticima osposobljen je za privremeni rad.

Prvom sanacijom otklonjena je akutna nestabilnost strukture spoja i obavljeno centriranje polnog kotača

na vratilo uz primjenu klasičnih mjernih metoda. Time su vibracije vratila, ranije ekstremno visoke zbog labavosti spoja, smanjene za faktor reda 2.

Daljnji korak donio je daljnje smanjenje razine vibracija za faktor reda 2. Ovo je izvedeno uz primjenu modernih metoda dijagnostike kinematike i dinamike rotora, koje osim mjerenja vibracija uključuju i mjerenje zračnog raspora i magnetskog toka, te odgovarajuća modeliranja i interpretacije rezultata ispitivanja. Drugom sanacijom prošireno je dozvoljeno radno područje agregata sa 28-33 MW na 18-38 MW.

Nije moguća konačna stabilizacija zaklinjenog spoja vratilo – polni kotač. Sanacije s radijalnim zaticima omogućile su rad agregata do konačnog rješenja – zamjene rotora generatora novim rotorom sa zavarenim spojem vratila i polnog kotača.

Dani slučaj razvoja grešaka u vremenu ukazuje na značaj trajnog nadzora putem automatskog sustava za monitoring ili dovoljno čestih dijagnostičkih ispitivanja. Provedena ispitivanja pokazala su da je moguće značajno povećati pouzdanost nadzora ako se algoritmi tog nadzora urede po mjeri stroja i ako se nadzor vodi preko odgovarajućih izvedenih veličina.

LITERATURA

- [1] I. BACINGER, Đ. DVEKAR: "Pogonska iskustva na hidrogeneratorima sa zaklinjenim spojem glavine polnog kotača rotora na vratilo", V. Savjetovanje Hrvatskog komiteta CIGRE, Cavtat, listopad 2001.
- [2] B. BAJIĆ, J. SABOLEK, Đ. DVEKAR, D. MAGIĆ: "Ispitivanje vibracija, zračnog raspora i magnetskog toka na cijevnom agregatu 1 HE Dubrava", 1. Međunarodni simpozij Hidroelektrane HEPP 2001, Elektrotehničko društvo Zagreb, Šibenik, lipanj 2001.

VIBRATION DECREASE OF HPP DUBRAVA AGGREGATE A AXLE BASED ON DETAILED ROTOR DIAGNOSTICS

The paper describes possible vibration decrease of tube aggregate A axle in HPP Dubrava caused by looseness of wedge-shaped connection between pole wheel and axle. A precise set of pole wheel on axle has been realized based on extensive diagnostic tests and detailed cinematic and dynamic analysis of rotor aggregate. The position has been fixed using elements immune to existing damage type.

HERUNTERDRÜCKEN VON WELLENSCHWINGUNGEN DES TURBOSATZES DES WASSERKRAFTWERKES "DUBRAVA" AUF GRUND DETAILLIERTER ROTORUNTERSUCHUNG

Beschrieben wurde das Herunterdrücken von Wellenschwingungen des Turbosatzes A des Wasserkraftwerkes "Dubrava", verursacht durch die Lockerung der Keilverbindung des Polrades mit der Welle. Präzise Aufstellung des Polrades an die Welle ist auf Grund sehr umfangreicher Untersuchungen und detaillierter Erörterung der Kinematik und der Dynamik des Rotors durchgeführt worden.

Die Lage ist durch verschleisefeste Elemente befestigt worden.

Naslovi pisaca:

Đuro Dvekar, HE Dubrava, Sveta Marija¹

Branko Bajić, Korto Cavitation Services, Luksemburg²

Ivan Bacinger, PP HE Sjever, Varaždin³

Damir Magić, HE Dubrava, Sveta Marija¹

Josip Sabolek, HE Dubrava, Sveta Marija¹

Muharem Demirović, Končar Generatori i motori, Zagreb⁴

Uredništvo primilo rukopis:

2002 – 11 – 29.



Slika 2. Položaj polnog kotla u odnosu na os vrtnje (mjeru u mm)
(a) nakon 1. sanacije – centriranje
(b) nakon 2. sanacije – ekscentriranje

1. DISKUSIJA

Ekscentričnost polnog kotla u odnosu na os vrtnje, koje se gube sponornij, izmjerene su u mehaničkoj vrtnji, dakle bez magnetskih sila. Kad je uključena uzbuđa, ona se promijenila za iznos amplitude vibracija vratila, koji su pak same i uzrok. Kinetička magnetska rezonanca može izazvati relativno veliku amplitudu vibracija vratila zbog izvedbe električnog rotora, težište polnog kotla udaljeno je od najbližeg vodećeg težišta (generatorskog) više od 2 m.

Balansiranjem koji je provedeno nakon svake sanacije rotor je uravnotežen prema masenom dobrotelju. U slučaju ovog na vibracije vratila kad je uključena uzbuđa nije značajan.

Prije dvije opisane sanacije pokušano je udvostručiti spoja uzdužnom aksijalnih zateza između vratila i glave na nizvodnoj strani. Zbog karakterističnog trošenja, zatez se nije pokazao učinkovitim.

Sanacija radijalnih priručnika ipak je privremena zbog nemogućnosti agresivnijeg zahvata na spoju bez demontaže generatora. Ograničenja tehnoloških postupaka provedivih na licu mjesta ne dopuštavaju dovoljne dimenzije nosivih elemenata potrebne za trajnu pouzdanost ovakvog rješenja.

2. PREGLJED I ZAKLJUČCI

Nakon što je stroj morao biti zaustavljen zbog labavosti spoja polnog kotla i vratila, sanacijama radijalnim zatezima i uzdužnom aksijalnih zateza između vratila i glave na nizvodnoj strani.

³ p.p. 74, 42001 Varaždin; tel.: 042 408001; fax: 042 408088; e-mail: ivan.bacinger@hep.hr

⁴ Falerovo šetalište 22, 10000 Zagreb; tel.: 01 3655126; fax: 01 3667475; e-mail: design.gim@koncar1.tel.hr

LITERATURA

- [1] I. BACINGER, Đ. DVEKAR: "Pogonska isključiva na hidrogeneratorima sa kalibriranim spojem glavine polnog kotla rotora na vratilo", V. Savjetovanje Hrvatskog komiteta CIGRE, Cavtat, listopad 2001.
- [2] B. BAJIĆ, I. SABOLEK, Đ. DVEKAR, D. MAGIĆ: "Ispitivanje vibracija, zračnog rasporeda i magnetskog toka na cilindričnim agregatima HE Dubrava", J. Međunarodni simpozij Hidroelektrane HEPP 2001, Elektrotehničko društvo Zagreb, Šibenik, lipanj 2001.

¹ 40326 Sveta Marija, tel.: 042 408300; fax: 042 408308; e-mail: djuro.dvekar@hep.hr; damir.magic@hep.hr; josip.sabolek@hep.hr

² 12, rue Ste Zithe; L-2763 Luxembourg; Luksemburg; tel.: 01 2452900; mob. 091 5806433; fax: 01 2452901 (sve u Hrvatskoj); e-mail: korto@cavitation.de; web: www.cavitation.de

PRIMJERI MANJIH ZAHVATA U TEHNIČKO-IZVEDBENOM DIJELU DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA HEP-a KOJI REZULTIRAJU ZNAČAJNIM MATERIJALNIM UŠTEDAMA

Ivo S a n t i c a, Split

UDK 621.316.1.005
STRUČNI ČLANAK

Distribucijski sustav obuhvaća 45-50% materijalnih sredstava Hrvatske elektroprivrede (također se kaže da je u njemu sadržano i 90% problema HEP-a).

Svako pa i malo racionalnije tehničko rješenje u ovako složenom i velikom sustavu u konačnici rezultira znatnim materijalnim uštedama.

U članku će biti prikazana samo dva primjera racionalnijih rješenja s pokazateljima materijalnih ušteda. Kao prvo, prikazat će se mogućnost korištenja temelja betonskog stupa kao uzemljivača u mrežama niskog napona, a kao drugo predložit će se nešto racionalniji profil kablenskog kanala.

Ključne riječi: uzemljivač, betonski temelj, kablenski kanal, korekcijski faktor.

1. UVOD

Tehnički dio distribucijskog sustava sastavljen od električnih postrojenja i električnih mreža, te pratećih objekata i elemenata, veoma je opsežan i zahtjevan u pogledu izgradnje, nadzora i održavanja. Kao pokazatelje veličine sustava navodimo sljedeće podatke (podaci iz god. 2000.):

- Dužina zračne mreže 35 kV iznosi cca 3600 km.
- Dužina kablenske mreže 35 kV iznosi cca 1200 km.
- Dužina zračne mreže 10 i 20 kV iznosi cca 23000 km.
- Dužina kablenske mreže 10 i 20 kV iznosi cca 7500 km.
- Broj TS 110/10, 20 kV iznosi 26 kom.
- Broj TS 35/10, 20 kV iznosi 347 kom.
- Broj TS 10, 20/0,4 kV iznosi 22500 kom.
- Dužina zračne mreže 0,4 kV (goli i izolirani vodič) iznosi cca 47500 km.
- Dužina kablenske mreže 0,4 kV iznosi cca 14000 km.

Zahtjevi jednostavnosti izgradnje i održavanja stalno nameću potrebu tipizacije pojedinačnih rješenja i elemenata sustava.

Tipizacija je prezentirana nizom granskih normi Direkcije za distribuciju. Ideju, trud, rad i rezultate treba posebno uvažiti.

Međutim, cijeli sustav još nije obuhvaćen tipizacijom, a već bi dio prezentirane tipizacije trebalo korigirati povoljnijim i racionalnijim rješenjima.

Svako racionalnije rješenje za tisuće kilometara zračnih i kablenskih mreža i za tisuće pratećih objekata znači uvijek milijunske materijalne uštede.

2. BETONSKI STUP KAO UZEMLJIVAČ U MREŽI 0,4 kV

2.1. Uvodne napomene

U sljedećem tekstu opisane su uglavnom prilike u južnom dijelu Hrvatske, što ne isključuje moguću sličnost i na drugim prostorima.

Rekonstrukcija i izgradnja zračnih mreža 0,4 kV u zadnjih desetak godina na prostoru južne Hrvatske i na ratom razrušenim prostorima značila je s gledišta uporišnih mjesta ugradnju znatnog broja betonskih stupova. U početku primjene o ugradnji betonskih stupova nije se dovoljno znalo.

Betonski stupovi ugrađivani su na rasteretnim, kutnim i nosnim mjestima.

Neka ratom razrušena područja i naselja obnavljana su s potpuno novim mrežama 0,4 kV na betonskim stupovima, a neka pak s rekonstrukcijama pojedinačnih izvoda.

Za ugradnju stupova u postojeće mreže nije postojalo određeno pravilo. Mreže su se uglavnom "ojačavale" ugradnjom kutnih i rasteretnih stupova. Mogući pristup mehanizacije često je bio presudan kriterij za ugradnju, tako se ugradio i veliki broj nosnih stupova.

Budući da za izgradnju i rekonstrukciju nije trebala građevinska dozvola, dosta radova izvodilo se bez odgovarajuće projektantske dokumentacije. Tek jedan dio izvodio se temeljem idejnih rješenja. Stručan i sveobuhvatan projekt mreže niskog napona, jedan je od najintrigantnijih i najzahtjevnijih inženjerskih poslova u distribuciji. Od izbora presjeka samonosivog

kabelskog snopa do izbora mjesta ugradnje stupa, kao i izbora vršnih sila, a time i tipa stupa, bilo je prepušteno subjektivnom osjećaju i iskustvu pojedinca.

Izračuni vezani za padove napona, izgradnje osigurača, zaštitne mjere i dr., nisu rađeni sustavno. Danas, gledamo profesionalnim okom, dio tih mreža nažalost ima niz nedostataka. Nelogičnosti se uočavaju na svakom koraku. Veliki broj stupova ugrađen je s neodgovarajućom silom u vrhu stupa; uglavnom prevelikom, a i ugrađeni betonski temelji su prerobusni.

Betonski stup inače karakterizira dosta velika neadaptibilnost okolnom prostoru, za razliku od drvenog stupa. I iz tog razloga posebnu je pozornost trebalo posvetiti izboru što "elegantnijeg" stupa, odnosno stupa s optimalnom silom.

Ne samo što je takav stup znatno jeftiniji, nego kao tako izabran ne vrši "vizualni atak na okoliš" u takovoj mjeri kao deblji robusniji stup. Svakom esteti, a pogotovo stručnom oku, neće promaknuti izneseni dojmovi. Posebno loš dojam ovako predimenzionirani stupovi ostavljaju u ruralnom, inače nedernutom dijelu Dalmacije, u unutrašnjosti otoka i Zagori.

Kada je dosta toga ovako nespretno izvedeno onda ne čudi što se tako ugrađeni stupovi i betonski temelji ne koriste kao uzemljivači u sustavu uzemljenja.

U mrežama niskog napona u kraškim terenima veoma složen problem, a i izuzetan materijalni trošak, predstavlja potreban robustan sustav uzemljenja. Razlog je veliki specifični otpor kraškog terena. Ovaj sustav ostvaruje se nizom pojedinačnih uzemljivača povezanih preko nul vodiča. Preko ovakvog sustava ispunjavaju se zahtjevi bezopasnosti od opasnih napona, dodira i koraka u mrežama i kod potrošača.

Inače, uobičajeno je da se kao zaštitna mjera prakticira zaštitno uzemljenje (združeni uzemljivač) i strujna zaštitna sklopka kod potrošača.

Dobar dio tih mreža radi s privremenom uporabnom dozvolom ili u tzv. probnom pogonu jer nisu ispunjeni zahtjevi bezopasnosti.

Prema grubim pokazateljima službi nabave broj ugrađenih betonskih stupova u južnom dijelu Hrvatske je:

- DP Elektrodalmacija, Split 10000 kom.
- DP Elektrojug, Dubrovnik 2000 kom.
- DP Elektra, Zadar 2000 kom.
- DP Elektra, Šibenik 2000 kom.

Teško je reći koji je broj stupova od gornjeg iznosa "nespretno" ugrađen, ali je sigurno da veliki dio nije korišten kao uzemljivač.

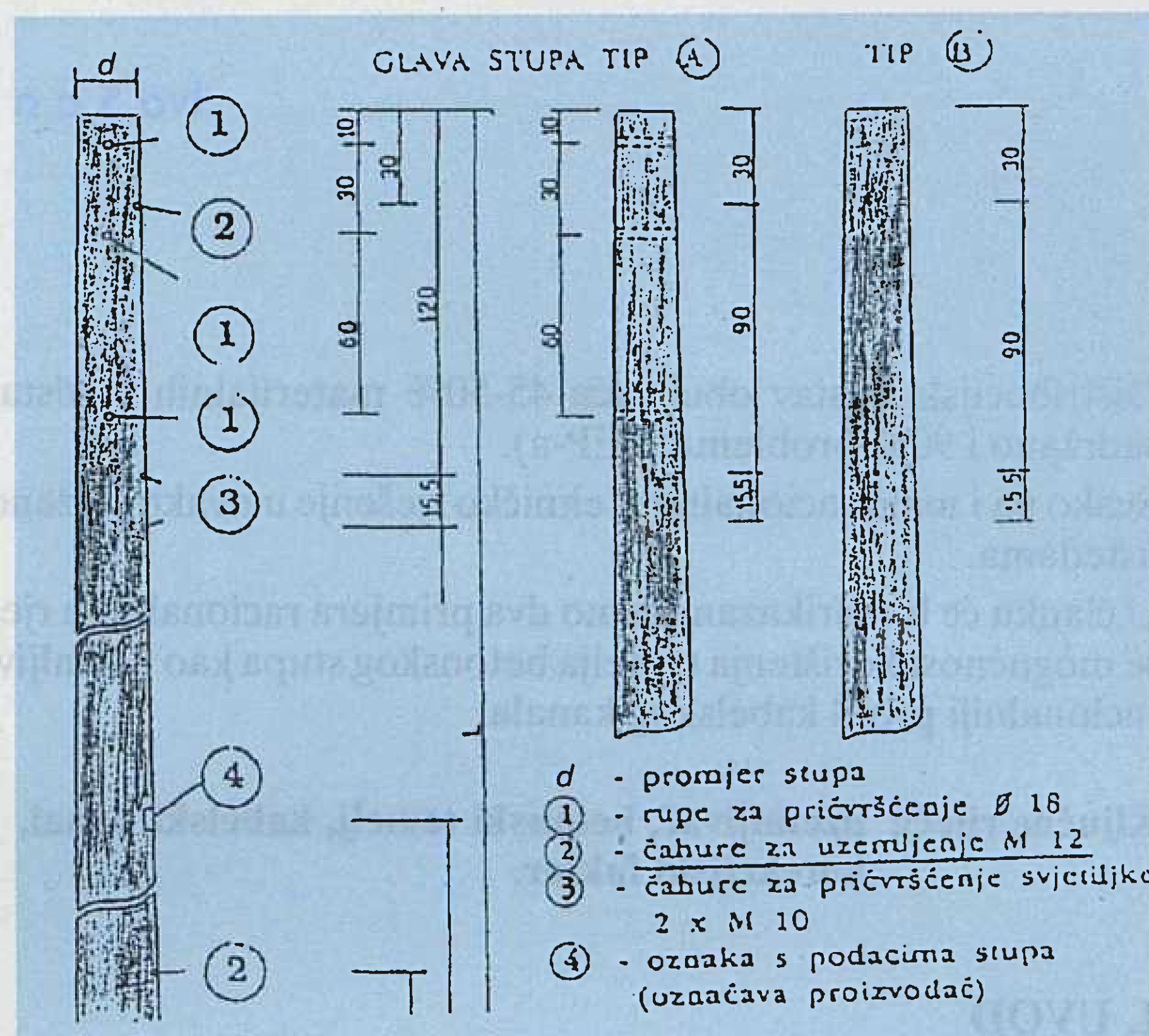
Betonski stup ugrađen u betonski temelj ima osobinu uzemljivačke sonde. Prijelazni otpor ugrađenog betonskog stupa bez ikakvih posebnih uzemljivača određuje se preko jednadžbe:

$$R_b = 0,255 \times p + 12,58 \dots\dots\dots (\Omega)$$

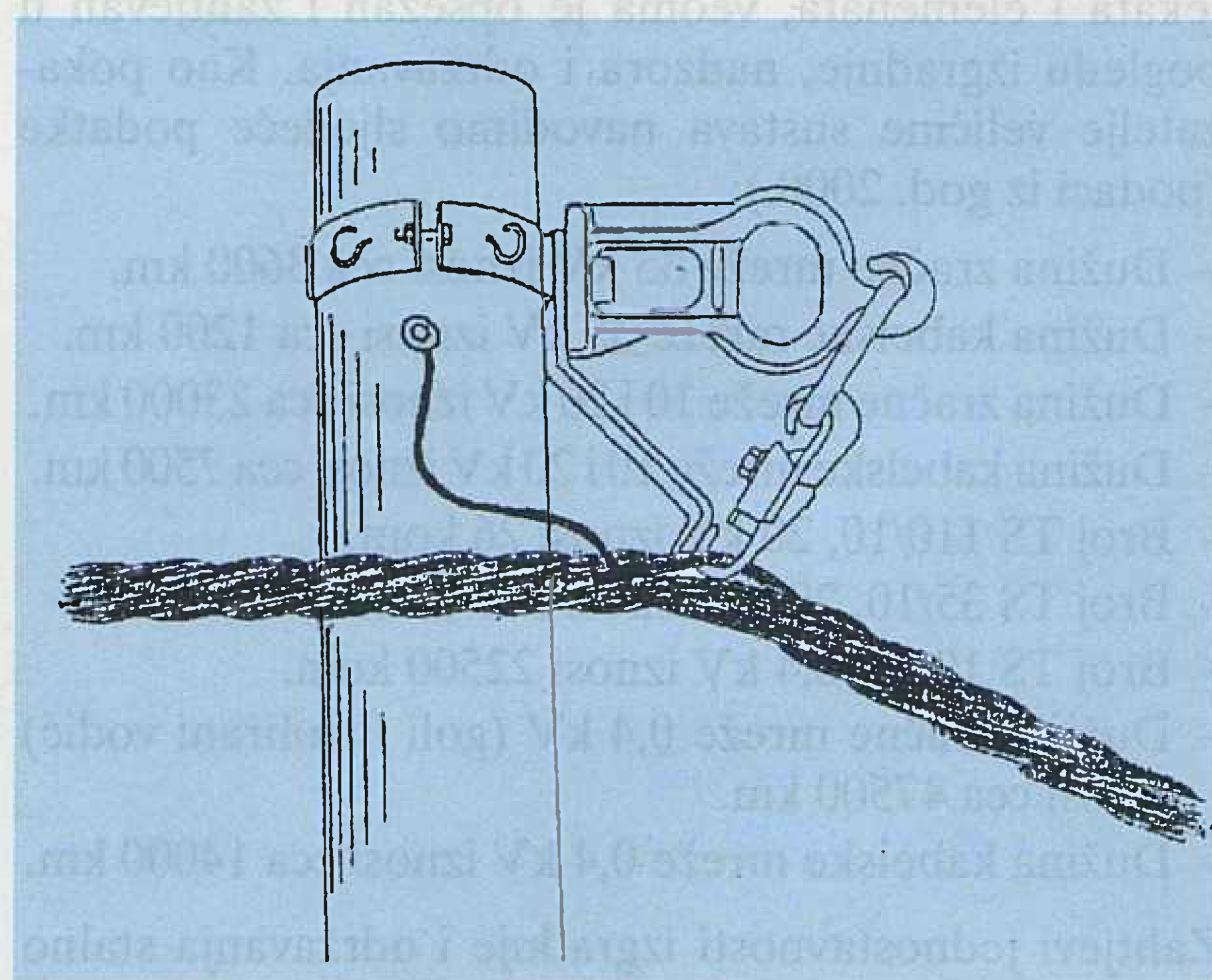
p – specifični otpor tla (Ω m)

Jednadžba se inače nalazi u uputama za projektiranje distribucijskih niskonaponskih mreža; dio: Zaštitne mjere, Zagreb, travanj 1988, Institut za elektroprivredu – Zagreb [1].

Da bi betonski stup u mreži niskog napona djelovao kao dodatni uzemljivač potrebno je njegovu armaturu vezati na nul vodič pripadajuće mreže. Povezivanje se izvodi pri vrhu stupa, na, za ovu svrhu, predviđenom vijku za uzemljenje.



Slika 1. Detalj glave betonskog stupa s vijkom za uzemljenje



Slika 2. Detalj povezivanja betonskog stupa s nul vodičem SKS-a niskonaponske mreže

2.2. Otpor kratkog trakastog uzemljivača

U sljedećem tekstu prikazat će se neke karakteristike trakastog uzemljivača, a s namjerom da se naprave određene usporedbe.

Prijelazni otpor uzemljenja kratkog trakastog uzemljivača (Fe-Zn traka 30x4 mm) ukopanog na dubinu od oko 0,5 m izračunat je pomoću programa UZI.

Konstante otpora c_R za razne dužine trake dane su u tablici 6.22 uputa naznačenih u prethodnoj točki [1]. Otpor uzemljenja kratkog trakastog uzemljivača izračunava se preko formule:

$$R_U = c_R \times \rho \dots\dots\dots (\Omega)$$

Prikaz tablice 6.22 [1] za konstantu c_R trakastog uzemljivača ukopanog na dubinu 0,5 m je:

Dužina trake (m)	c_R (1/m) - 1 × traka	c_R (1/m) - 2 × traka
5	0,236	0,133
10	0,138	0,077
15	0,101	0,056
20	0,080	0,044
25	0,067	0,036
30	0,057	0,031

Preko prikazanih formula izračunat će se koliko temelj betonskog stupa u funkciji uzemljivača zamjenjuje metara uzemljivača trake:

$$1/x(0,255 \times \rho + 12,58) = c_R \times \rho$$

$$\rho = 250 \Omega m$$
$$l = 10 m$$
$$x = 2,2$$

$$\rho = 1000 \Omega m$$
$$l = 10 m$$
$$x = 1,93$$

što znači da cca dva temelja betonska stupa povezana preko armature na nul vodič niskonaponske mreže zamjenjuju 10 m uzemljivačke trake. Što je veći specifični otpor terena to smo bliži ovom iznosu. Može se slobodno reći da u terenima sa specifičnim otporom iznad 1000 Ω m temelj betonskog stupa u funkciji uzemljivača zamjenjuje 5 m uzemljivačke trake.

2.3. Primjeri izvedenih mjerenja na ugrađenim betonskim stupovima

Izračun specifičnog otpora rađen je prema Wennerovoj metodi preko formule:

$$\rho = 2 \times \pi \times a \times R \dots\dots\dots (\Omega m)$$
$$a - \text{razmak sonde} \dots\dots\dots (m)$$
$$R - \text{izmjerena vrijednost otpora} \dots\dots\dots (W)$$

gdje je ρ specifični otpor tla, a po definiciji, otpor mjeren između dvije suprotne površine kocke od homogenog tvoriva, duljine stranice 1 m. Mjerna jedinica je metar. Otpor tla je geološka i fizikalna veličina, koja nam omogućuje izračunavanje i dizajniranje sustava uzemljenja, a ovisi o vrsti tvoriva i o sezonskim promjenama.

2.3.1. Mjerenja izvedena u Splitu (područje Žnjan) 12. ožujka 2001. godine

$$- \text{izmjerena vrijednost} \dots\dots R_{\text{stupa}} = 20,9 \Omega$$
$$- \text{izračunate vrijednosti:}$$
$$\rho = 2 \times \pi \times 7 \times 0,35 = 15,38 \Omega m$$
$$a = 7 m$$
$$R_E = 0,35 \Omega$$
$$R_{\text{stupa}} = 0,255 \times \rho + 12,58 = 16,50 \Omega$$

Mjereni i izračunati rezultati pokazuju razliku od cca 25%. Zapravo realna usporedba bila bi između obje izmjerene vrijednosti, što znači da bi i uzemljivačku traku trebalo imati ukopan u blizini temelja na kojem je izvedeno mjerenje.

2.3.2. Mjerenje izvedeno u Dubrovniku (mjesto Topolo) 15. ožujka 2001. godine

$$- \text{izmjerena vrijednost} \dots\dots R_{\text{stupa}} = 278 \Omega$$
$$- \text{izračunate vrijednosti:}$$
$$\rho = 2 \times \pi \times 5 \times 39,2 = 1230,9 \Omega m$$
$$a = 5 m$$
$$R_E = 39,2 \Omega$$
$$R_{\text{stupa}} = 0,255 \times \rho + 12,58 = 326,5 \Omega$$

Manja odstupanja između izmjerenih i izračunatih vrijednosti otpora imamo kod tla s većim specifičnim otporom, što je vidljivo iz predhodnih računa.

2.4. Moguće uštede u jednom distribucijskom području (tamo gdje ovaj zahvat nije rađen)

Iskop, dovoz bolje vodljive zemlje, polaganje pocinčane trake, zatrpavanje kanala uz eventualni odvoz viška materijala u terenu IV. – V. kategorije iznosi otprilike 100 kuna/m. Jedan temelj betonskog stupa zamjenjuje otprilike 5 m uzemljivačke trake.

$$5 m \times 100 kn = 500 \text{ kuna} \dots \text{ ušteda kod korištenja jednog temelja kao uzemljivača}$$
$$10.000 \text{ stupova} \times 500 kn = 5.000.000 \text{ kuna}$$

Osim direktne materijalne uštede izbjegavaju se i imovinsko pravni sporovi i troškovi koji prate trase uzemljivačkih traka.

3. RACIONALIZACIJA KABELSKIH KANALA

3.1. Uvodne napomene

Granskom normom Direkcije za distribuciju N.033.01, klasifikacijski broj 4.10/92 naziva Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV, definiran je presjek kanala.

Dubina kablenskog kanala ovisna je o naponskom nivou predviđenog kabela, pa za 35 kV kabele iznosi 1,0 m, a za 10(20) kV kabele 0,8 m.

Širina kablenskog kanala definirana je brojem paralelno položenih kabela i njihovim nazivnim naponima. Najmanja širina iznosi 0,4 m za 10(20) i 0,4 kV kabele i 0,50 m za 35 kV kabele.

Minimalne širine kablenskog kanala definirane su praktičkim mogućnostima iskopa kanala i tehničkim mogućnostima polaganja kabela. Specifične izuzetke neće se razmatrati.

Stvarne širine kablenskog kanala određuju se na način da se osnovnoj širini dodaju proširenja prema skicama u normi.

3.2. Širina kablenskog kanala prema normi N.033.01

Točka 3.2. Tehničkih uvjeta za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV stavak 3.2.5. glasi: "**Za smanjenje međusobnog utjecaja** paralelno položenih kabela, potrebno je pridržavati se najmanje dopuštene međusobne udaljenosti kabela prema tablici XX".

Tablica broj XX. iz [3]

Vrsta kabela	Prema pravilu međusobna udaljenost (cm)
Telefonski pokraj telefonskog	0
Signalni pokraj signalnog	0
Signalni pokraj telefonskog	5
Energetski n. n. kabele međusobno	10
Energetski kabele 10 kV pokraj drugih energestkih kabela	15
Energetski kabele 20 kV i 35 kV 20 pokraj drugih energetskih kabela	20

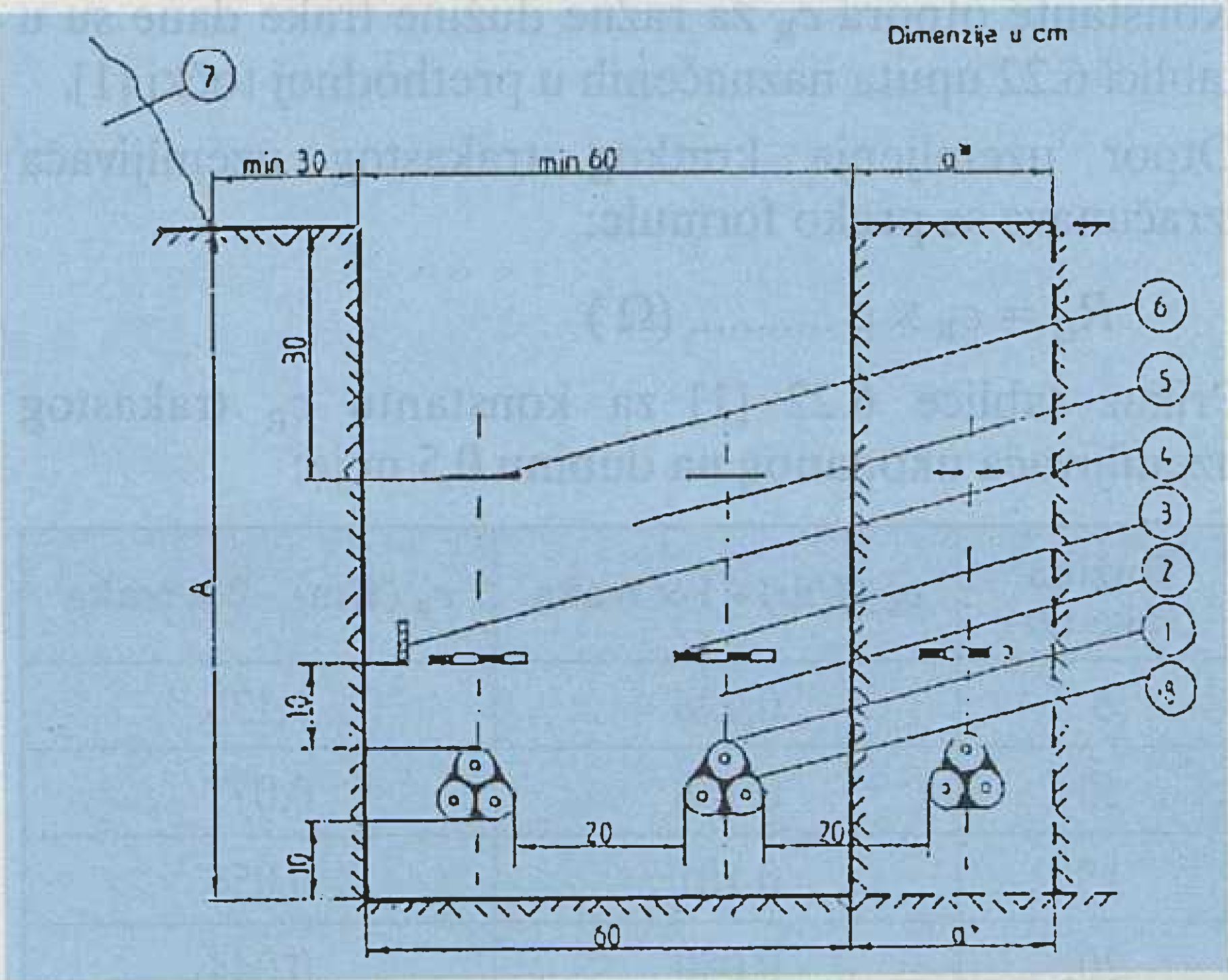
Mogući su i manji razmaci, s tim da se uzmu u obzir korekcijski faktori. Gore podcrtano sastavni je dio norme N.033.01, a značajno je zbog stavova i prijedloga koji će slijediti u daljnjem tekstu.

3.3. Faktor međusobnog utjecaja kabela ovisno o razmacima prema podacima proizvođača kabela

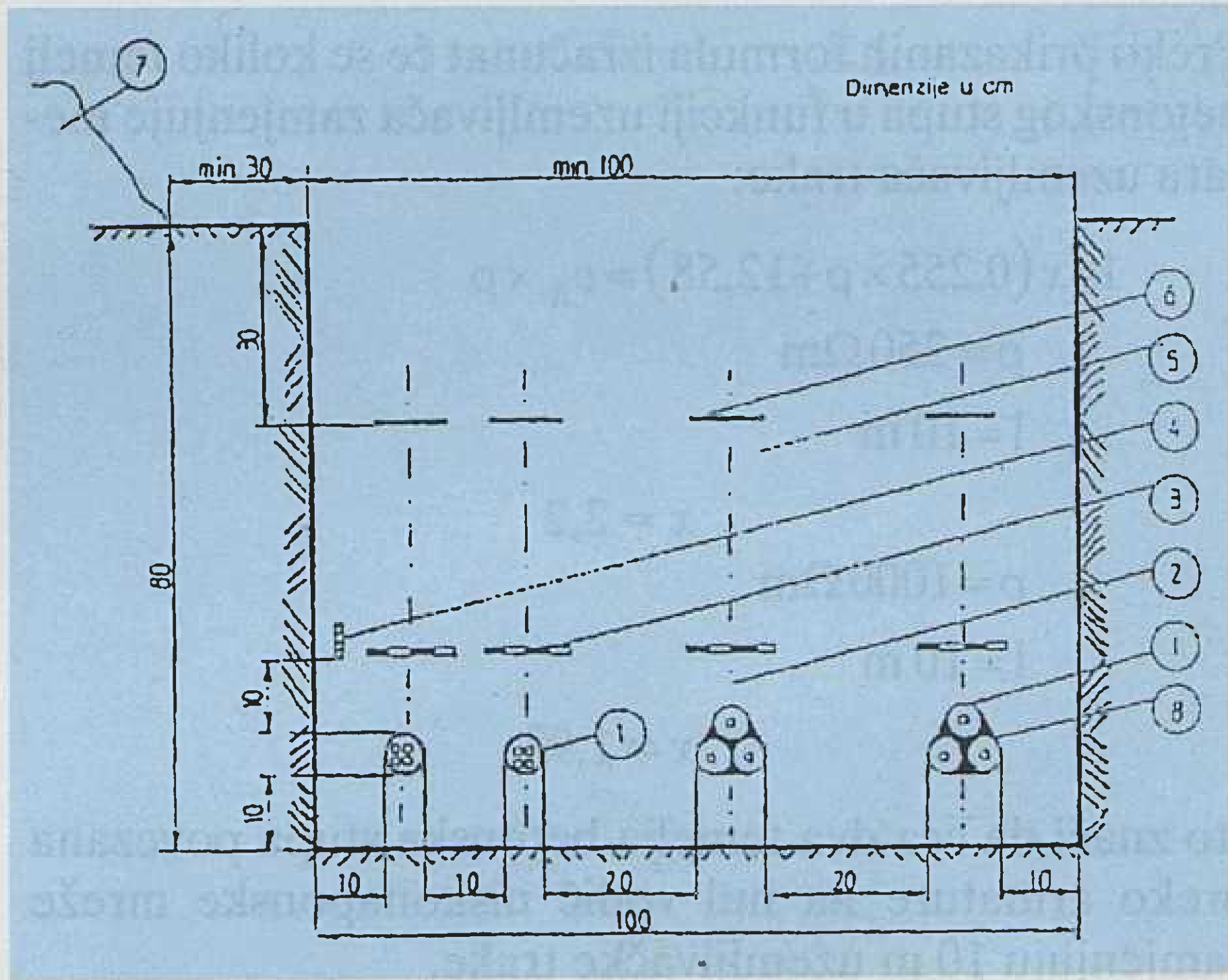
Sljedećim tekstom prezentiraju se podaci proizvođača kabela.

Proizvođač kabela je tvrtka ELKA – Zagreb, a podaci su sastavni dio kataloga Energetski srednjenaponski kabele s XLPE izolacijom za napone do 35 kV [5].

Točkom 6.2 kataloga definiraju se korekcijski faktori.



Slika 3. Presjek kablenskog rova za polaganje dva ili više kablenskih vodova nazivnog napona $U_0/U = 12/20$ ili $20/35$ kV



Slika 4. Presjek kablenskog rova za polaganje kabela nazivnog napona $U_0/U = 0,6/1$ kV i $U_0/U = 12/20$ kV u zajedničkom rovu

Tumač pozicija i oznaka na slikama 3. i 4.:

- 1 – kabel $U_0/U = 0,6/1, 12/20$ ili $20/35$ kV
- 2 – fino usitnjena zemlja ili pijesak
- 3 – dodatna mehaničko-upozoravajuća zaštita
- 4 – uzemljivač (ako postoji)
- 5 – nabijena zemlja
- 6 – upozoravajuća traka
- 7 – iskopana zemlja
- 8 – držač kabela

a = za svaki novi kabel proširenje rova za 25 cm
A = 80 cm za kabel $U_0/U = 12/20$ kV
A = 100 cm za kabel $U_0/U = 20/35$ kV

Strujno opterećenje kabela u normalnom radu kroz duže vremensko razdoblje dano je u tablicama 6.1.1 – 6.1.3. Radi li kabel u uvjetima koji se razlikuju od uvjeta danih u tablici 6.1 iz [5] nazivno strujno opterećenje kabela množi se korekcijskim faktorima

prema tablicama 6.2.1 – 6.2.2 iz [5]. Interesantna je kao pokazatelj tablica 6.2.4 – Korekcijski faktor za različiti broj kabela ili sustava u istom rovu.

Tablica 6.2.4. iz [5]

Broj kabela (sustava)		2	3	4	5	6	8	10
Razmak između kabela (sustava)	dodir	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
	7 cm	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
	15 cm	0,86	0,77	0,72	0,68	0,64	0,61	0,58
	25 cm	0,87	0,78	0,74	0,71	0,67	0,64	0,62

Iz gornje tablice vidljivo je da međusobna udaljenost od 10 do 20 cm utječe samo nekoliko postotaka na prijenosnu moć paralelno položenih kabela.

3.4. Zaključna razmatranja

Normom N.033.01 zadane međusobne udaljenosti paralelno položenih kabela (slika 2. i 3.) slijed su tradicionalnih "uzanci" polaganja. Međutim, za projektante ovako zadani razmaci su obvezujući za primjenu. Rezultat toga su skuplji građevinski radovi na iskopu i zatrpavanju kabelskog kanala.

Razmak između kabela za verziranog polagača ne predstavlja nikakvu prepreku za polaganje niti za formiranje kabelskih trojki.

Kod održavanja, odnosno popravaka kabela, međusobna udaljenost 10, 15 ili 20 cm također nije relevantna.

Osnovnu širinu kabelskog kanala od 40 odnosno 50 cm za sada ne bi trebalo mijenjati. Ona je ovisna o tehnici iskopa, a odgovara sadašnjoj tehnici razvlačenja kabela. Sve veće širine uvjetovane većim brojem paralelno položenih kabela mogu se korigirati.

Ako smanjimo međusobne razmake kabela, odnosno kabelskih trojki, sa sadašnjih 15 ili 20 cm na 10 cm tada kabelski kanali s više kabela postaju uži za 10, 20 ili više centimetara.

Detaljnim jednostavnim izračunom (nije prikazan), uvažavajući jedinične cijene pojedinih faza iskopa i zatrpavanja, kao i jedinične cijene zasipnih materijala, dolazimo do rezultata da smanjenje širine kabelskog kanala za 10, 20 ili više cm, u ukupnoj cijeni znači uštedu do 15%.

3.5. Uštede na konkretnim kabelskim trasama

Prikaz mogućih ušteda računski ćemo prezentirati na novije realiziranim kabelskim trasama u DP Elektrodalmaciji Split.

3.5.1. KB 10(20) i 0,4 kV TS 10/0,4 kV "Vinjani 1" – TS 10/0,4 kV "Vinjani 4"

- Dužina kabelske trase cca 3300 m
- Širina kabelskog kanala 60 i 120 cm
- Dubina kabelskog kanala 80 cm
- Kategorije terena cca IV - V.

Ugovorena jedinična i ukupna cijena iskopa i zatrpavanja uključivši sve propisane slojeve, nabijanje slojeva, odvoz materijala iznosi:

- 1 m dužine kanala profila 60 × 80 cm = cca 220 kuna
- Ukupna cijena cijele trase - 3300 m × 220 kn = 726.000 kuna
- Cijena proširenja dijela KB trase i cijena specifičnih prijelaza = cca 174.000 kuna
- Ukupna cijena građevinskih radova = cca 900.000 kuna.

Ušteda na građevinskim radovima na kabelskoj trasi kod primjene reduciranih razmaka, tj. umjesto predviđenih 20 cm kabeli se polažu na razmak 10 cm iznosi:

- 15% od 900.000 kn = 135.000 kuna

3.5.2. KB 35, 10(20) i 0,4 kV između TS 110/35 kV "Kaštela" – TS 35/10 kV "Divulje"

- Dužina kabelske trase cca 12000 m
- Širina kabelskog kanala 60 i više cm
- Dubina kabelskog kanala 100 cm
- Kategorija terena II - III
- Cijena građevinskih radova (objekt izgrađen) 3.100.000 kuna

Moguća ušteda:

- 15% od 3.100.000 kn = 465.000 kuna.

To su značajne uštede, pogotovo ako se imaju u vidu godišnje dužine realiziranih kabelskih trasa u distribucijskom području, odnosno distribucijskom sustavu.

4. NAZNAKE OSTALIH TEHNIČKIH ELEMENATA NA KOJIMA SU MOGUĆE ZNAČAJNE UŠTEDE

Već smo naznačili da je distribucijski sustav HEP-a veoma opsežan. Navest ćemo samo dio elemenata sustava na kojima su moguće značajnije uštede:

- Prigradske TS 35/10(20) kV moguće je s obzirom na dispoziciju (površinu) projektirati i graditi tako da se ostvare znatne uštede u odnosu na uobičajenu praksu (ušteda je površina manjeg stana).
- Temelje betonskih stupova u kraškim terenima sigurno treba racionalizirati.
- Niskonaponske betonske stupove treba ugrađivati s optimalnom silom u vrhu stupa. Djelomično se ovo odnosi i na betonske stupove u srednjenaponskim mrežama.
- Uvažavati dosadašnja iskustva i primjenjivati nove preporuke za odabir i izgradnju priobalnih zaštita podmorskih energetske kabela.
- i. t. d.

5. ZAKLJUČAK

Racionalizacija i štednja civilizacijske su obveze. Postojeće granske norme treba hitno revidirati uvažavajući nova iskustva i nove tehnologije. Još nenormirani dio sustava treba obuhvatiti novim normama.

Prikazi u revidiranim i novim normama trebaju biti jasni, nedvojbni i obvezujući. Također treba razraditi metodologiju i sustav stručnog praćenja i periodične revizije.

(Rad u distribucijskom sustavu možemo usporediti s radom u vinogradu, gdje se mora raditi i ljeti i zimi i u svako doba dana s izuzetnom ljubavi i marom).

LITERATURA

- [1] Upute za projektiranje distribucijskih niskonaponskih mreža. Dio: Zaštitne mjere, Institut za elektroprivredu, Zagreb, travanj 1988.
- [2] Bilten br. 46, Tipizacija betonskih stupova niskonaponske mreže, HEP, travanj 1995 god.
- [3] Bilten br. 22, Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV, HEP, ožujak 1993 god.
- [4] Željko NOVINC, dipl. ing., "Teorija i praksa odmjerenja otpora uzemljenja", Belmet "T" Ljubljana
- [5] Energetski srednjenaponski kabeli s XLPE izolacijom za napone do 35 kV, ELKA Zagreb
- [6] Glavni projekt kabelskih trasa, Odjel Projektiranje, HEP DP Elektrodalmacija Split

EXAMPLES OF SMALL INTERVENTIONS IN TECHNICAL AND OPERATIONAL PART OF HEP DISTRIBUTION NETWORK THAT RESULT IN SIGNIFICANT COST REDUCTIONS

The distribution system contains 45-50 percent of material means of the Croatian Electric Power Company (some say 90 percent of problems, too).

Each, even a small rational technical solution in such a complicated and huge system eventually brings significant cost reductions.

In the paper only two examples of rational solutions are shown together with cost reduction. In the first, the possibility of a concrete tower used as a grounding system of low voltage system is shown, and in the second a more rational profile of cable channel is proposed.

BEISPIELE KLEINERER EINGRIFFE IN DIE AUSFÜHRUNGSTECHNIK DES VERTEILUNGSNETZES KROATISCHER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT MIT BEDEUTENDEN EINSPARUNGEN

Das Verteilungssystem der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft umfasst 45-50 % von ihrem Eigentum (man sagt auch, es beinhaltet auch 90 % deren Probleme).

Jede etwas vernünftigeren technische Lösung in einem so grossen und verwickelten System, resultiert im allerletzten mit wesentlichen Einsparungen.

Im Artikel werden nur zwei Beispiele rationeller Lösungen mit deutlichen Einsparungen dargestellt. Als erstes wird an die Möglichkeit der Nutzung des Betonfundamentes eines Mastes als Erder in den Niederspannungsnetzen, und als zweites wird ein etwas rationeller Querschnitt des Kabelgrabens.

Naslov pisca:

Ivo Santica, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda d.d.
DP Elektrodalmacija, Split
Gundulićeva 42, 21000 Split,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 07 – 23.

PREGLED KARAKTERISTIKA ŠUMA NA PLC MEDIJU

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 621.0.310:621.391.22
PREGLEDNI ČLANAK

U ovome članku daje se pregled dosadašnjih spoznaja o šumu prisutnom na PLC mediju, bilo na vanjskoj ili unutarnjoj mreži, baziran na literaturi [1 – 12]. Poznavanje svojstava šuma na prijenosnom mediju omogućuje teoretsku evaluaciju, simulaciju i eksperimentalno utvrđivanje otpornosti pojedinog komunikacijskog sustava na ukupni šum prisutan na mediju, a posjedovanje odgovarajućeg modela šuma omogućuje optimizaciju komunikacijskog sustava tijekom njegovog razvoja.

Ključne riječi: šum, PLC, distribucijska mreža.

1. UVOD – KLASIFIKACIJA ŠUMA NA DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Za razliku od mnogih drugih, ali opet ne svih, prijenosnih medija, PLC (engl. Power Line Carrier) niti približno ne odgovara predodžbi AWGN kanala (engl. Additive White Gaussian Noise). Šum u PLC mrežu stiže s tri moguće strane: iz transformatorske stanice, s trošila priključenih na distribucijsku mrežu, te prijamom elektromagnetskih polja prisutnih u prostoru. Termički šum u nama interesantnom frekvencijskom opsegu, od 3 kHz do 30-ak MHz, zanemariv je u odnosu na ostale vrste šuma proizvedene ljudskom aktivnošću, ili ponekad prirodnim procesima (npr. udari groma). Sveukupno, šum PLC medija može se klasificirati u šest glavnih vrsta:

- Pozadinski (engl. background) šum, koji nije bijeli, već je naglašeniji na nižim frekvencijama, a dolazi iz različitih izvora koje je teško identificirati, i na mreži je prisutan uvijek. Spektralna gustoća je relativno niska u odnosu na ostale vrste šuma, dok su njene promjene u vremenu polagane, i u značajnoj mjeri se događaju unutar intervala dugačkih više minuta ili sati. Do sada u literaturi nije precizno zabilježena eventualna korelacija spektralne gustoće, odnosno ukupne snage, pozadinskog šuma i dnevnog dijagrama opterećenja energetskeg sustava, premda je logično očekivati da bi takva veza mogla postojati, s obzirom da pozadinski šum nastaje zajedničkim djelovanjem mnogo malih pojedinačnih izvora šuma, tj. trošila priključenih na mrežu, čija prisutnost je u razmjeri s opterećenjem mreže. Isto tako, dio pozadinskog šuma nastaje i prijamom elektromagnetskih signala prisutnih u okolini, čija ukupna gustoća snage na nekom mjestu također može biti u korelaciji s opterećenjem mreže, premda vjerojatno u manjoj. Obojeni pozadinski šum lako se modelira odgovarajućim filtriranjem izvora bijelog šuma, u

skladu s eksperimentalnim saznanjima, što nije problem učiniti niti doslovce, a niti kao računalnu simulaciju.

- Uskopojasni šum [10, 11] najznačajniji je na frekvencijama u području nekoliko MHz, a nastaje gotovo isključivo prijamom elektromagnetskih polja AM radijskih odašiljača, pa je prema tomu njegov spektralni sastav jednostavan. Riječ je, naime, o moduliranom sinusnom signalu, tipične spektralne širine od nekoliko kHz. Snaga šuma mijenja se tijekom dana u skladu s promjenama propagacijskih uvjeta za AM signale, i obično je veća tijekom noći. Uskopojasni šum lako se modelira sinusnim izvorom. Preliminarni statistički model u skladu s kojim se može izvršiti odabir takvih izvora dan je u [10, 11].
- Šum koji se proizvodi u sinkronizmu s frekvencijom napona elektroenergetske mreže, ili češće njenom dvostrukom vrijednošću, duguje se različitim napajalčkim i prekidačkim sklopovima koji koriste tiristorsku tehnologiju. Česti i jaki izvori smetnji su npr. tiristorski regulatori osvjetljenja. Impuls kojega generira svaki od prisutnih tiristora nastaje uvijek u istoj fazi periode ili poluperiode mrežnog napona. Stoga je spektar takvog šuma sastavljen od harmonika osnovne frekvencije, bilo to 50 ili 100 Hz, a snaga harmonika vrlo visokog reda (nekoliko stotina) još uvijek može višestruko nadvisivati pozadinski šum.
- Asinkroni periodički šum potječe od svih uređaja koji imaju tzv. switch-mode napajanje, a to je danas većina elektroničkih uređaja koji se spajaju na niskonaponsku mrežu. Razlog povećanju količine ovakvih trošila je u nižoj cijeni, manjoj disipaciji snage i manjim dimenzijama ovakvih napajalča u odnosu na klasične s transformatorom i diodnim mostovima, tako da se oni danas gotovo isključivo upotrebljavaju. Pošto switch-mode napajalči rade na frekvencijama između 20 i 200 kHz, čiji izvori

nemaju nikakve veze s frekvencijom napona mreže, impulsi koje oni proizvode su periodični, ali nisu u korelaciji s frekvencijom mreže. Spektr šuma sadrži harmonike osnovne radne frekvencije. Oscilatori ovakvih sklopova često nisu osobito stabilni niti u vremenu, niti temperaturno, niti po opterećenju. Tipični uređaji sa switch-mode napajajima su televizori i računala. Pored frekvencije napajaja, ova trošila još mogu emitirati spektralne linije harmonika frekvencije horizontalnog stupnja televizora, odnosno monitora.

- Šum s kontinuiranim spektrom, odnosno bez posebno istaknutih stacionarnih spektralnih linija, potječe od vrlo čestih trošila s univerzalnim elektromotorima i s četkicama. Tipični primjeri su bušilice, ventilatori, fenovi, i sl. Brzina njihova rada ne ovisi o mrežnoj frekvenciji, već o mehaničkom opterećenju, pa se spektralna gustoća šuma mijenja s time u skladu. Bez obzira na općenito glatki tijek spektralne gustoće ovakvih izvora smetnji, mogu postojati malo izdignute spektralne linije na harmonicima trenutne frekvencije preklapanja četkica, koja je u razmjeri s brzinom vrtnje stroja, a ta je vrlo promjenjiva u vremenu. Za komunikacijske sustave uske širine pojasa ova vrsta šuma može se aproksimirati bijelim Gausovim šumom.
- Pojedinačni impulsi nastaju npr. zbog udara groma, uključivanja i isključivanja kondenzatorskih baterija u trafostanicama, preklapanja termostata, različitih prekidača, itd, i posve su slučajnog karaktera, bilo po trenutku nastajanja, trajanju, valnom obliku i amplitudi. Trajanja impulsa kreću se od nekoliko mikrosekundi do više milisekundi, a spektralna gustoća može se popeti i do 50 dB iznad pozadinskog šuma u nekim frekvencijskim opsezima. PLC medij u usporedbi s drugima obiluje impulsnim smetnjama. Podrobnija analiza impulsnog šuma može se naći u [7, 8, 9], a u ovome članku neće biti riječi o njemu, jer po svome značenju on prelazi okvire preglednog članka, i traži podrobniju obradu.

Zanimljivo je da su istraživači kroz protekle godine znatno više pažnje posvetili definiranju modela kanala PLC medija, nego li određivanju modela šuma, premda je analiza komunikacijskog sustava nemoguća bez bilo koje od ovih komponenti. Naime, prijamni signal jednak je sumi odaslanog signala izobličenog djelovanjem kanala i šuma, pa je svakako potrebno definirati vjerodostojan model šuma. Posebno, vrlo rijetko se susreće analiza impulsnog šuma, bez čijeg modela se ne mogu proučavati komunikacijski sustavi s PLC-om kao prijenosnim medijem. Chan i Donaldson u [4] daju rezultate mjerenja statistike impulsnog šuma samo u frekvencijskom području do 200 kHz. Tek Zimmerman i Dostert u [7], 2000. godine, iznose jedan dobar model impulsnog šuma s Markovljevim lancima, baziran na stvarnim mjerenjima impulsnih pojava, primjenjiv u analizi komunikacijskih sustava velike širine pojasa.

2. PREGLED KARAKTERISTIKA POZADINSKOG ŠUMA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU DO 1 MHz

Podaci o izmjerenim karakteristikama šuma u frekvencijskom području do 1 MHz dostupni su iz više izvora. U [12] su prezentirani, među ostalim, rezultati mjerenja šuma prisutnog na vanjskoj PLC mreži, na frekvencijama od 20 do 450 kHz. U [3] je dana podrobna analiza šuma na unutarnjoj mreži u području od 0 do 100 kHz, s posebnim osvrtom na tipične uređaje široke potrošnje koji se vrlo često susreću u uporabi, a generiraju značajne razine šuma. U [5] se nalaze podaci o mjerenjima šuma vanjske mreže do 100 kHz. U [1] se nalazi prikaz tipičnih vrijednosti spektralne gustoće šuma unutarnjeg PLC medija u području nekih 15 kHz do preko 200 MHz u različitim uvjetima (ruralna, industrijska i uredska zgrada). U tome članku vidi se opći trend ovisnosti intenziteta šuma o frekvenciji, gdje se uočava da u području do 1 MHz logaritam spektralne gustoće šuma pada otprilike linearno s logaritmom frekvencije, s nagibom od približno 25 dB po dekadi, te da se tipična razina šuma u tome području, između poslovnih zgrada u urbanim zonama i stambenih objekata u ruralnim sredinama, može razlikovati i za približno 25 dB. Prema tome, pozadinski šum PLC medija na niskim frekvencijama ima odlike obojenog šuma. Autori u [1] navode opisno i rezultate nekih svojih opažanja. Primjerice, srednje razine šuma u promatranoj stambenoj zgradi varirale su tijekom dana za oko 6 dB, pri čemu se maksimum događa oko 11 sati prije podne, a minimum u rano jutro. Sasvim je moguće da to ima neke veze s dnevnim dijagramom opterećenja elektroenergetskog sustava, a i maksimalna varijacija snage u rasponu od 6 dB odgovara tipičnom rasponu opterećenja sustava, od približno dva puta. Autori iznose i zapažanje da uključivanje pojedinih trošila malo doprinosi povećanju opće razine šuma, ali ne navode mjerne uvjete pod kojima su to opazili. Ovo je vjerojatno posljedica činjenice da šum na PLC mediju nastaje zajedničkim djelovanjem mnogih trošila, bilo vođenjem šuma preko mreže, bilo elektromagnetskim zračenjem, a opažena dnevna varijacija svakako govori tome u prilog.

Selander u [12] analizira šum u opsegu od 20 kHz do 450 kHz na vanjskoj podzemnoj mreži u jednom naselju. Analizirana mreža napaja 70 kućanstava, i predstavlja tipičnu europsku distribucijsku mrežu jedne niskonaponske trafostanice. Rezultati ukazuju na sljedeće:

- Spektralna gustoća šuma ima u osnovi isti frekvencijski tijek na različitim lokacijama i u različita vremena. Šum je najjači u području do 100 kHz. Na više lokacija spektralna gustoća u području od 20 do 100 kHz pada za približno 40 dB. Najveća je gustoća snage u najnižem dijelu spektra, gdje u pravilu iznosi oko – 100 dB (W/Hz). Čitavo područje od 20 do 450 kHz karakterizirano je izvanredno velikim brojem is-

taknutih uskih spektralnih linija, od kojih poneke nadvisuju pozadinski šum i za 25 dB.

- U području od 100 do 450 kHz pozadinski šum ima relativno ravnu frekvencijsku karakteristiku, negdje oko -150 dB (W/Hz), ali zbog prisutnosti brojnih uskopojasnih komponenti stvarne prilike su dosta lošije. Autor je opazio da one polako u vremenu mijenjaju položaj na frekvencijskoj osi i snagu. Zamjetan broj ovih smetnji premašuje -130 dB (W/Hz).
- Zanimljivo je da mjerenja praktički na svim lokacijama pokazuju veću razinu šuma tijekom vikenda, nego li tijekom radnog dana, a to se posebno odnosi na najniži frekvencijski opseg, do 100 kHz. S obzirom da je riječ o distribucijskoj mreži koja napaja stambeno naselje, to se ne čini nelogičnim. Vjerojatno je da stanovništvo tijekom tjednog odmora više koristi različite električne aparate nego li za vrijeme radnog tjedna.

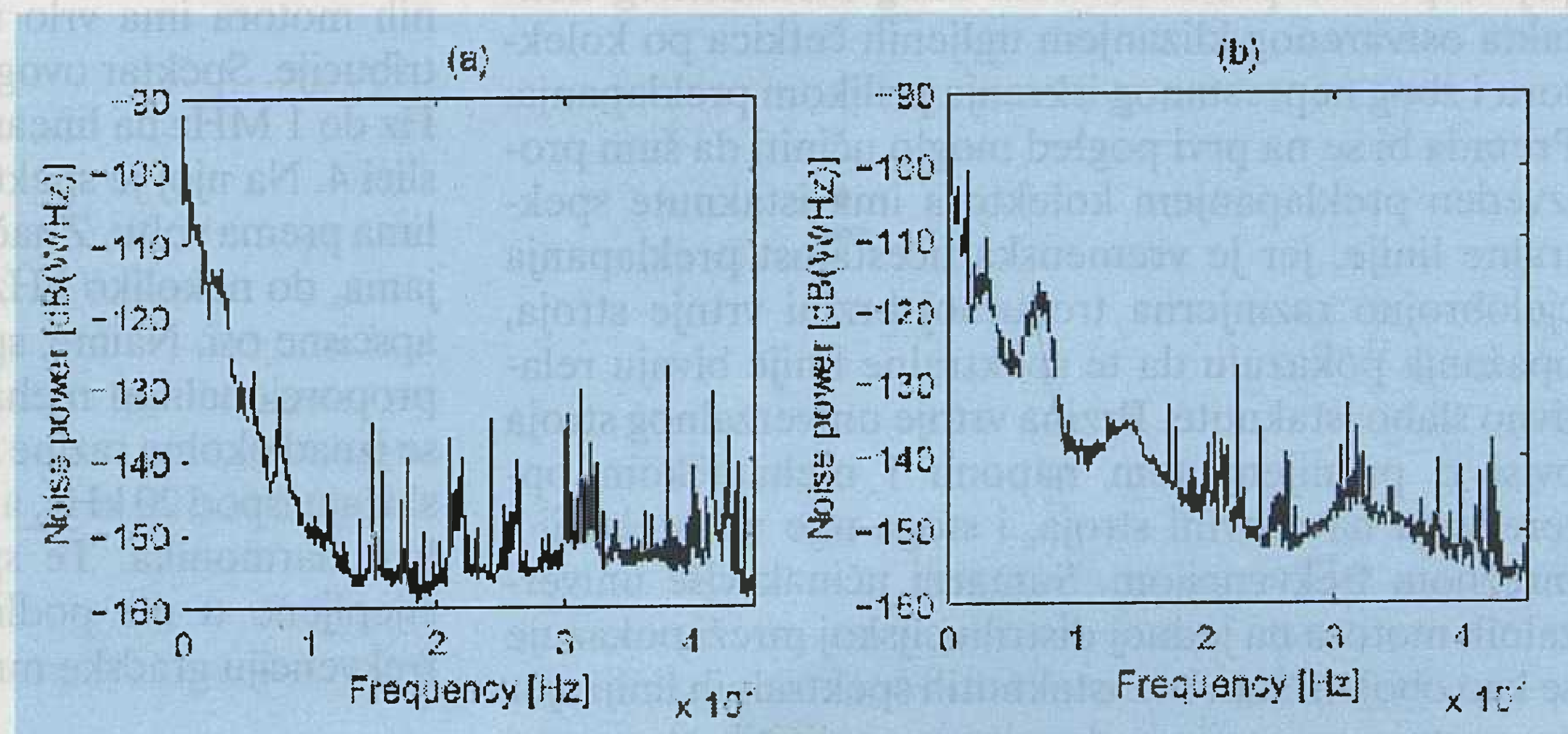
Samo ilustracije radi, na slici 1 dajemo usporedni prikaz karakteristike šuma snimljene na jednoj od razvodnih kutija promatranih u [12] tijekom radnog tjedna (a), odnosno tijekom vikenda (b). Slika 2, također prema [12], prikazuje jakost prijemnog signala u istoj ovoj kutiji, kada je odašiljač bio smješten u trafostanici, i kada je odašiljač signal linearno promjenjive frekvencije od 20 kHz do 450 kHz, amplitude 2.5 V, uz izlaznu impedanciju generatora od 50. Na žalost, autor ne daje podatak o amplitudi ovoga signala na samom ulazu u PLC mrežu, kao ni o međusobnoj udaljenosti trafostanice i razvodne kutije. U ovom primjeru se vidi tipična ovisnost odnosa signala i šuma o frekvenciji u promatranom opsegu frekvencija, od 20 do 450 kHz: on je najlošiji na najnižim frekvencijama, a u području iznad nekih 200 kHz može dostići i 70 dB.

Hooijen u [5] također vrši mjerenja na vanjskoj distribucijskoj elektroenergetskoj mreži i dolazi do vrlo sličnih prosječnih vrijednosti razina šuma, premda se njegov rad odnosi samo na područje frekvencija do 95 kHz. On zatim na bazi 700 izmjerenih spektralnih gustoća šuma, sakupljenih na četiri lokacije u istoj distribucijskoj mreži, kroz mjesec dana, definira parametre modela pozadinskog šuma za frekvencije između 9 kHz i 95 kHz, koji ne uključuje uskopojasne spektralne linije. U tom pojasu razinu šuma izraženu u dB (W/Hz) opisujemo formulom:

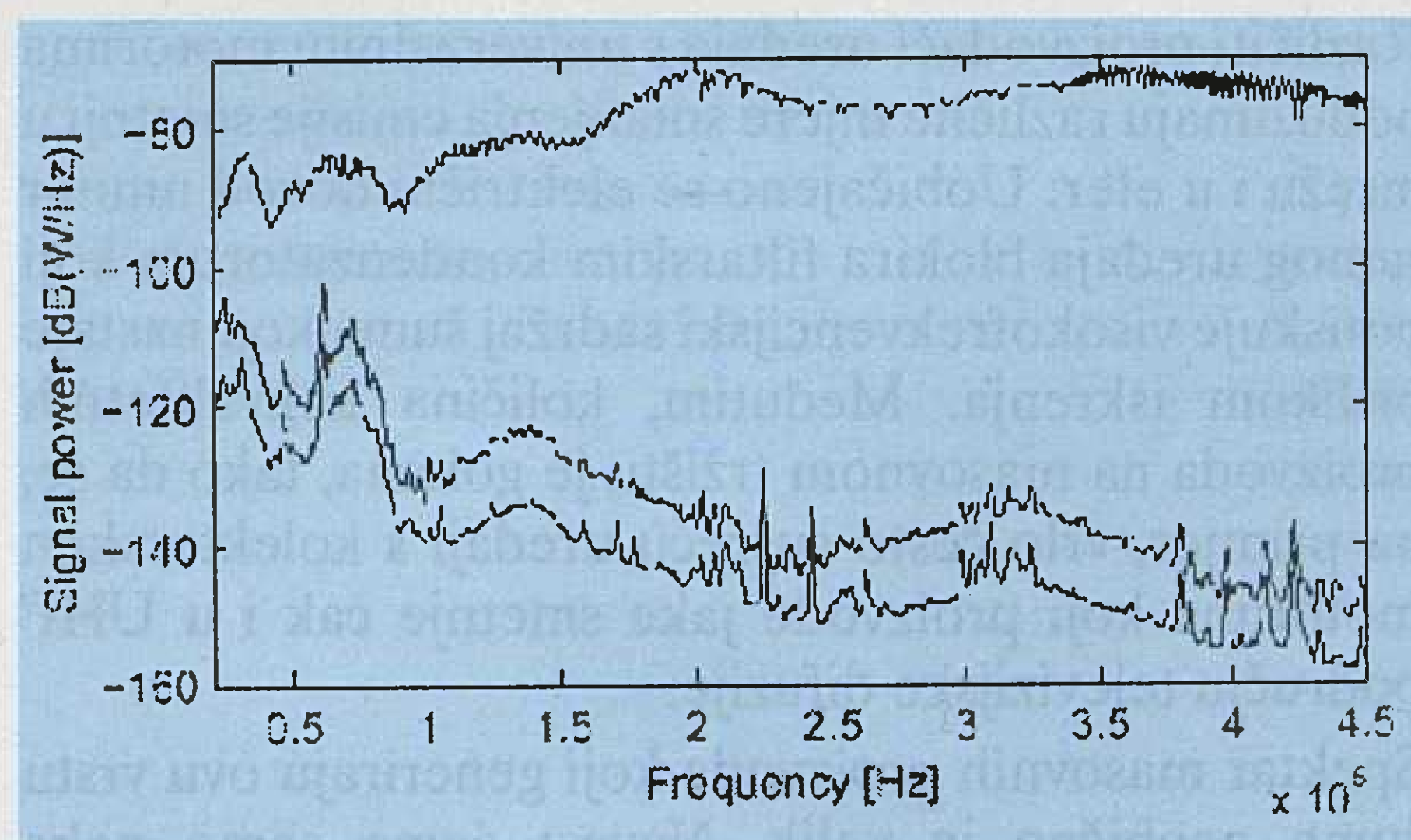
$$N(f) = -30 + 10(K - 3.95 \times 10^{-5} f / \text{Hz}) \quad [\text{dB}/(\text{W}/\text{Hz})] \quad (1)$$

Broj K ovisi o lokaciji opažanja, i može se modelirati gaussovski distribuiranom varijablom sa srednjom vrijednošću karakterističnom za Hooijenov skup mjerenja K_0 od -5.64 dB i standardnom devijacijom σ od 0.5 dB. Iz toga slijedi porodica padajućih pravaca koje karakterizira postotak vjerodostojnosti prema lokacijama promatranja. Kada se npr. u gornju formulu uvrsti upravo srednja vrijednost K_0 , vjerojatnost da na drugim lokacijama prosječne razine šuma neće prekoračivati predviđene iznosi 50%. Uvrsti li se $K_0 + \sigma$, ta vjerojatnost iznosi oko 84%, a za $K_0 - \sigma$ ona je približno 16%, itd... K ovisi i o vremenu, ali u pravilu dosta ili vrlo sporo. Kao što smo već spomenuli, pozadinski šum mijenja se znatno tek kroz minute i sate.

Prema podacima dostupnim u [3], [5], [12] i drugdje, čini se da se ovakav model srednje vrijednosti pozadinskog šuma može primijeniti na frekvencijama do malo iznad 100 kHz. Na višim frekvencijama spektralna gustoća snage pozadinskog šuma pokazuje značajno blaži pad. Što se tiče područja do 450 kHz, obrađenog u [12], može se računati s konstantnom razinom pozadinskog šuma od oko -140 do -150 dB (W/Hz), kada je riječ o frekvencijama između 100 i 450 kHz.



Slika 1. Ilustracija spektra šuma na jednom razvodnom ormaru vanjske PLC mreže iz [12]. Slika (a) snimljena je tijekom radnog tjedna, a slika (b) tijekom vikenda.



Slika 2. Ilustracija za krivulje prijemnog signala (gore), maksimalne razine šuma (sredina) i prosječne razine šuma (dolje) za istu razvodnu kutiju kao na prethodnoj slici, također iz [12]

3. PREGLED OSOBINA ŠUMA U PODRUČJU DO 1 MHz KOJEGA PROIZVODE RAZLIČITA TIPIČNA TROŠILA

Trošila priključena na niskonaponsku elektroenergetsku mrežu sudjeluju u stvaranju pozadinskog šuma, koji nastaje dijelom i kao suma mnogih malih doprinosa svih pojedinačnih uključenih potrošača, od kojih neki po tipičnoj snazi daleko nadmašuju ostale. Nadalje, neke vrste trošila proizvode šum sa istaknutim spektralnim linijama, ili pak šum impulsnog tipa, koji se i u našoj uvodnoj klasifikaciji, i, što je važnije, u pogledu prirode utjecaja na komunikacijski proces, bitno razlikuje od pozadinskog šuma. Stoga ćemo u ovom odjeljku sumirati podatke dostupne u literaturi o karakteristikama šuma kojega proizvode takva posebno šumna trošila.

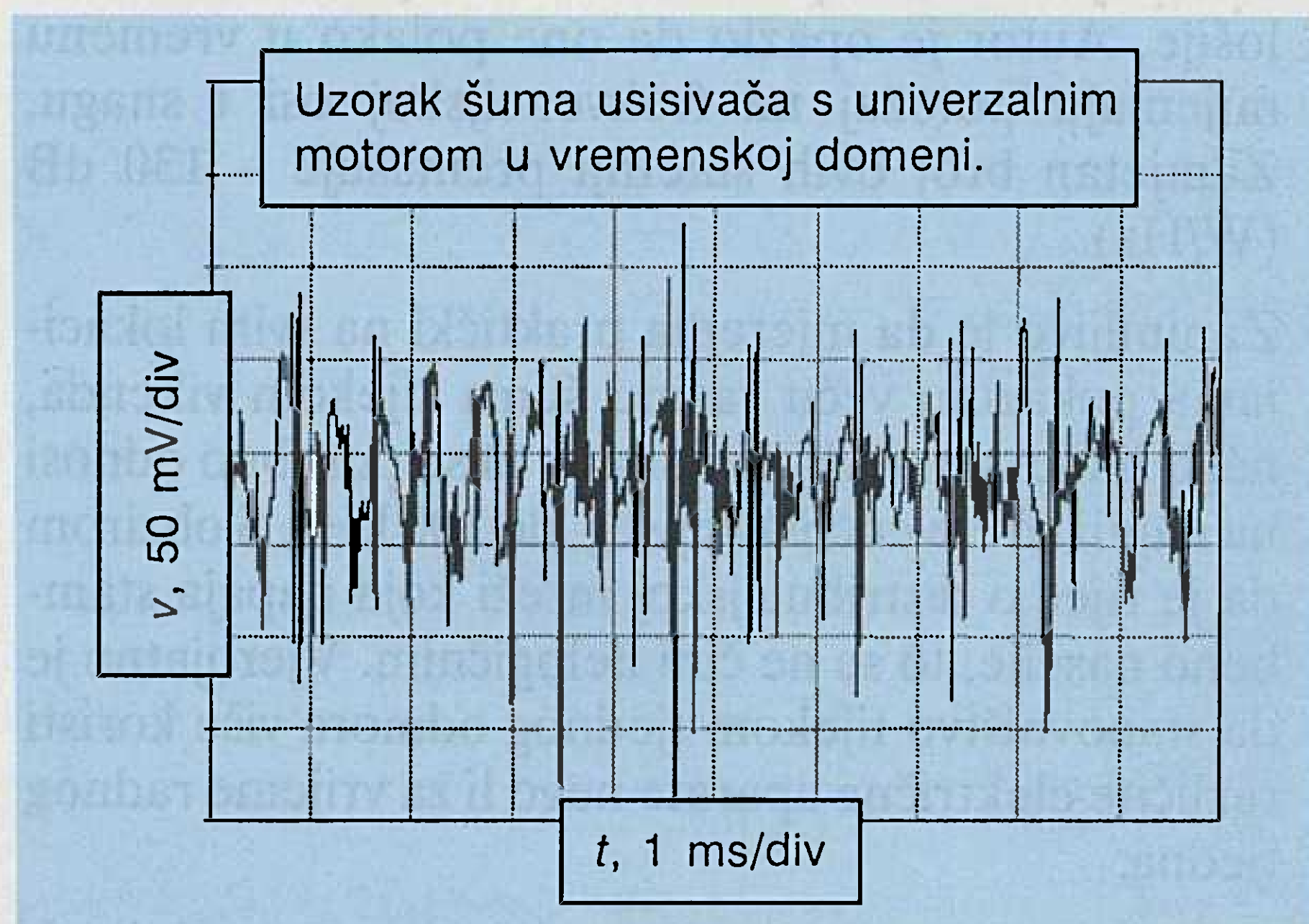
3.1. Univerzalni motori

Univerzalni električni motor koristi se zbog svoje jeftine i jednostavne izvedbe u mnogim aparatima pogonjenim istosmjernim ili izmjeničnim naponom. U smislu elektromagnetske kompatibilnosti njegove osobine u glavnome određuje kolektor s četkicama, koji u pravilu proizvodi šum zbog mehaničkog kontakta ostvarenog klizanjem ugljenih četkica po kolektoru i zbog neprestanog iskrenja prilikom preklapanja. Premda bi se na prvi pogled moglo učiniti da šum proizveden preklapanjem kolektora ima istaknute spektralne linije, jer je vremenska učestalost preklapanja cjelobrojno razmjerna trenutnoj brzini vrtnje stroja, opažanja pokazuju da te spektralne linije bivaju relativno slabo istaknute. Brzina vrtnje univerzalnog stroja ovisi o primijenjenom naponu i mehaničkom opterećenju na osovini stroja, i stoga nije u korelaciji s mrežnom frekvencijom. Sumarni učinak više univerzalnih motora na jednoj distribucijskoj mreži pokazuje se kao obojeni šum bez istaknutih spektralnih linija, jer on nastaje sumacijom doprinosa različitih strojeva s različitim snagama, momentalnim mehaničkim opterećenjima, itd. Zbog toga šum univerzalnih motora ima karakteristike tzv. šuma s glatkim spektrom.

Različiti proizvođači uređaja s univerzalnim motorima poduzimaju različite mjere smanjenja emisije smetnji u mrežu i u eter. Uobičajeno se električni dovod unutar samog uređaja blokira filtarskim kondenzatorom koji potiskuje visokofrekvencijski sadržaj šuma koji nastaje prilikom iskrenja. Međutim, količina nekvalitetnih proizvoda na masovnom tržištu je golema, tako da se, na primjer, vrlo često susreću uređaji s kolektorskim motorima koji proizvode jake smetnje čak i u UHF području televizijske difuzije.

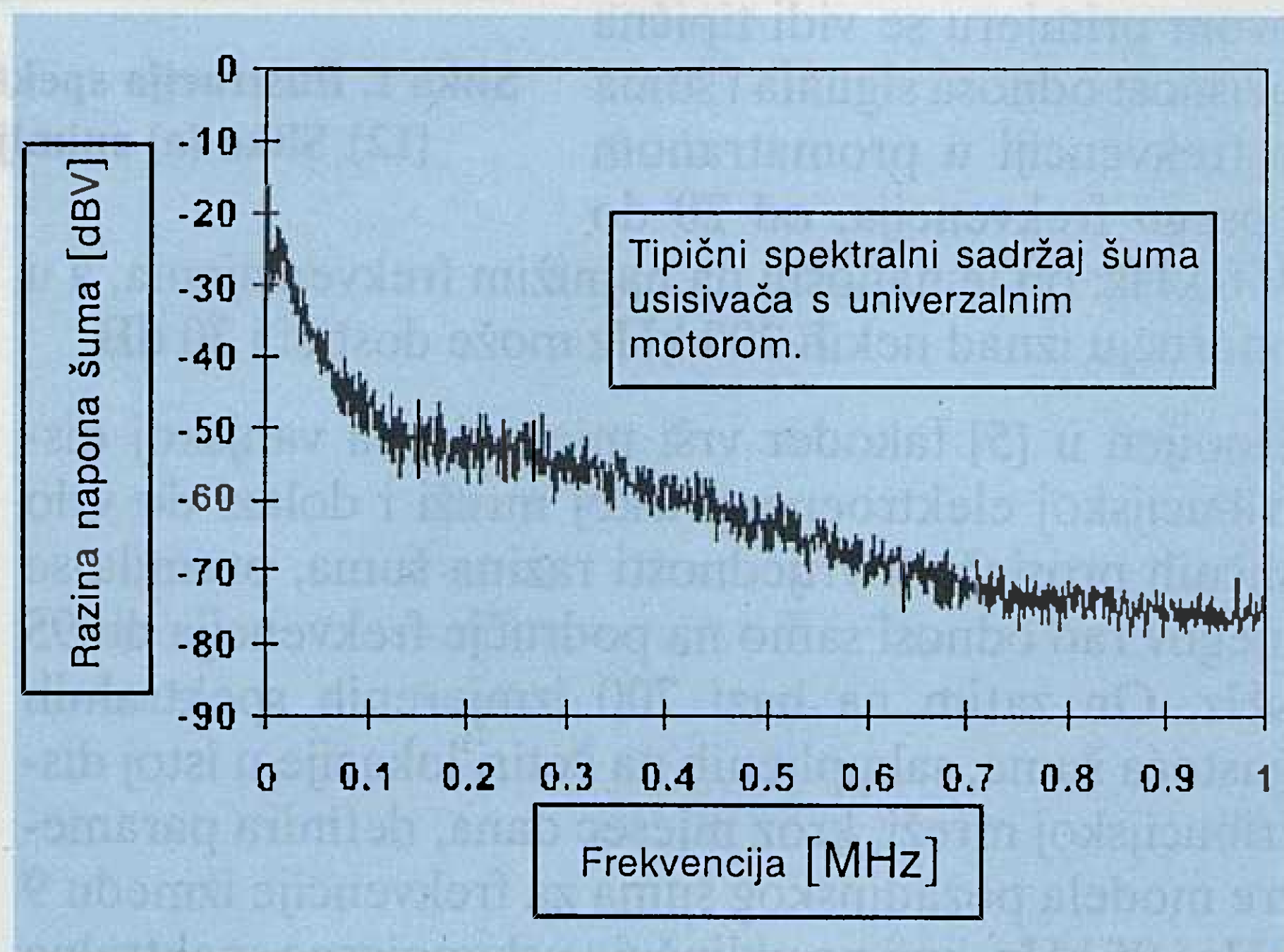
Spektar masovnih proizvoda koji generiraju ovu vrstu šuma neobično je velik. Navest ćemo samo neke najčešće, koji se susreću u svakom kućanstvu: usisivači, fenovi, mikseri, sokovnici, rezači i električni noževi, bušilice, brusilice, blanjalice i slični alati, šivaći strojevi, briaći aparati, sobni ventilatori, rashladni ventilatori u

računalima, hi-fi uređaji, video rekorderi, pumpe u hladionicima, klima uređaji, dječje igračke, itd ... Na slici 3 dajemo primjera radi jedan tipičan uzorak napona na priključnicama kućnog usisivača u trajanju od jedne poluperiode mrežnog napona, s tim da je mrežni napon frekvencije 50 Hz uklonjen filtriranjem.



Slika 3. Uzorak napona šuma na priključnici usisivača u trajanju od 10 ms

Zanimljivo je da statistika prvoga reda šuma univerzalnih motora ima vrlo izražena obilježja Gaussove distribucije. Spektar ovoga šuma, prikazan u rasponu od 0 Hz do 1 MHz na linearnoj skali, dajemo kao primjer na slici 4. Na njoj je spektralna gustoća izražena u decibelima prema voltu. Značajke šuma na najnižim frekvencijama, do nekoliko kHz, na slici se ne vide zbog mjerila apscise osi. Naime, spektralne linije na frekvencijama proporcionalnim mehaničkoj brzini vrtnje stroja ističu se iznad okolne razine šuma na frekvencijama u svakom slučaju ispod 20 kHz, a značajno se ističe tek prvih nekoliko harmonika. Te spektralne linije u stvari su rascijepljene u niz podlinija razmaknutih za dvostruku frekvenciju gradske mreže [3].



Slika 4. Spektar šuma sa slike 3 prikazan u području od 0 Hz do 1 MHz na linearnoj skali. Zbog mjerila apscise ne vide se spektralne linije na frekvencijama razmjernim mehaničkoj brzini vrtnje, koje su vidljive na frekvencijama do nekoliko kHz, a zatim nestaju u glatkom dijelu spektra.

U [3] je također pokazano da različiti kućni uređaji s univerzalnim motorima proizvode šum u osnovi s istim frekvencijskim tijekom, a stvarne amplitude napona šuma razmjerne su nazivnoj snazi uređaja. Zbog toga među kućnim uređajima ovakvog tipa najveće smetnje na PLC mreži pričinjavaju upravo usisivači.

Zaključno, karakteristike šuma kojega proizvode univerzalni elektromotori na PLC mreži su prema [3] sljedeće:

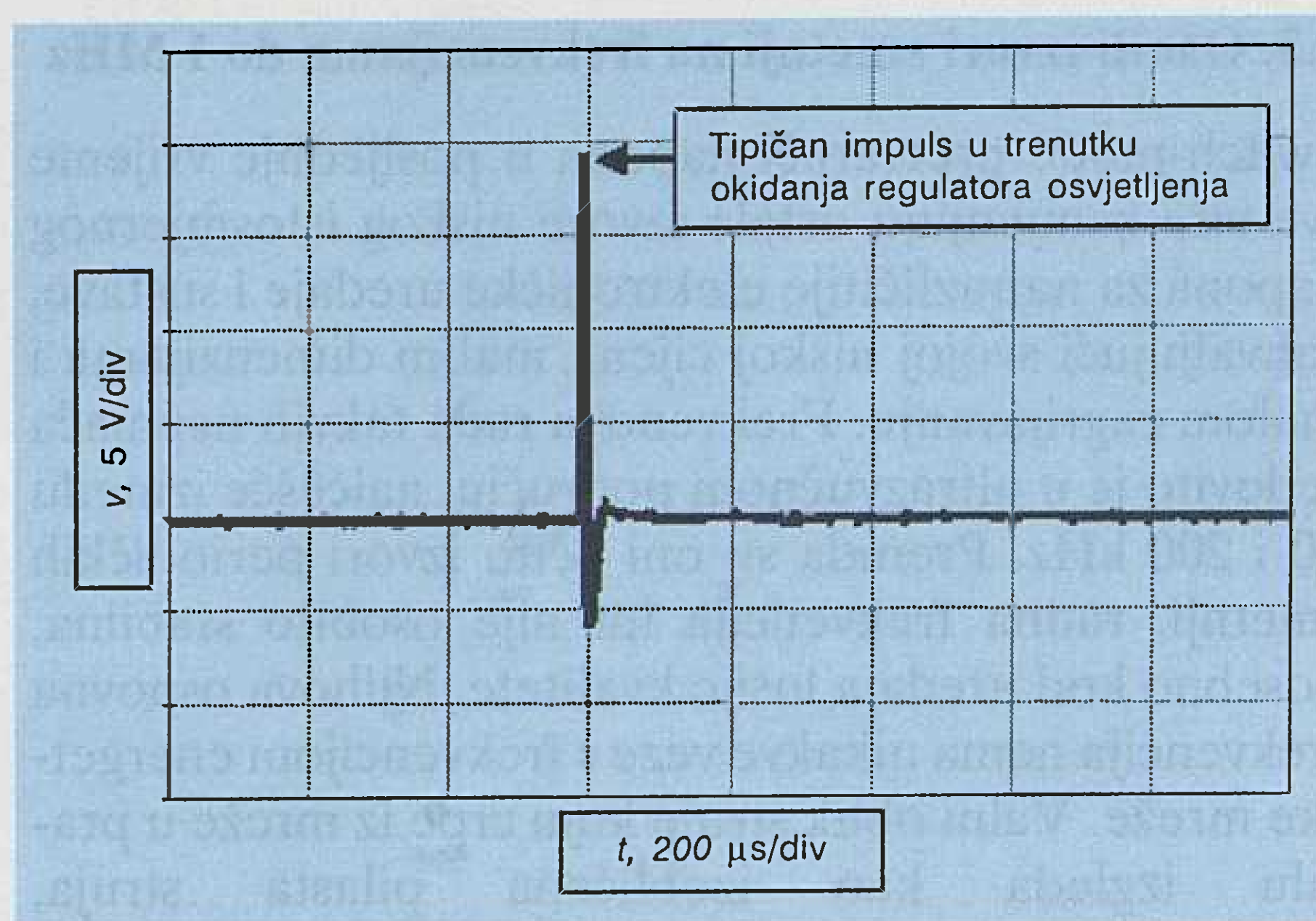
- Šum ima glatki spektar, a intenzitet mu opada s frekvencijom. Jedino u području najnižih frekvencija, ispod 20 kHz, postoje istaknute spektralne linije promjenjive frekvencije, razmjerne trenutnoj mehaničkoj brzini rada stroja, koje se izdižu iznad okolne razine šuma za tipično najviše 15 do 20 dBV.
- Tipične razine šuma univerzalnih motora najjačih kućanskih trošila na frekvencijama ispod 100 kHz, mjereno na priključnicama uređaja, kreću se oko -30 do -40 dBV, ne računajući eventualno istaknute spektralne linije na frekvencijama do 20 kHz.
- U području do 20 kHz, gdje su smetnje kolektorskih motora najjače, one se izdižu iznad pozadinskog šuma za prosječno 15-ak dBV, mjereno na priključnicama. U području od 20 do 100 kHz ta razlika iznosi 30 do 40 dB.
- Na frekvencijama od 100 kHz do 1 MHz šum kolektorskih strojeva opada s približno 30 dBV po dekadi.
- Statistika prvoga reda ove vrste šuma ima obilježja Gaussove razdiobe, a unutar uskih frekvencijskih područja on se može modelirati kao bijeli šum. Na frekvencijama do 100 kHz odgovarajući model dobiva se superpozicijom bijelog šuma i nekoliko istaknutih spektralnih linija, s osnovnom frekvencijom proporcionalnom trenutnoj brzini vrtnje i njenim višim harmonicima.

3.2. Tiristorski sklopovi

Ova grupa uređaja također je dosta prisutna u kućanstvu i u industriji. Dok u širokoj uporabi uglavnom susrećemo različite regulatore osvjjetljenja, grijanja, ili eventualno brzine vrtnje uređaja s univerzalnim motorima, te izvore napajanja unutar nekih elektroničkih uređaja, u industriji se pomoću tiristorskih sklopova i postrojenja upravlja ponekad i vrlo velikim tokovima energije. S obzirom na prirodu rada ovih uređaja, šum koji oni proizvode manifestira se kao niz impulsa sinkroniziranih s frekvencijom energetske mreže, ili češće s njenom dvostrukom vrijednošću.

Načelo rada jednostavnih prigušivača svjetla je jednostavno. Kontrolni element, obično triac, okida se uvijek u istoj fazi svake poluperiode sinusnog napona energetske mreže. To osigurava okidni sklop, čije vremensko kašnjenje u odnosu na početak poluperiode namješta korisnik. U fiksnom položaju regulatora trenutak okidanja točno je sinkroniziran na frekvenciju poluperiode, dakle na 100 Hz. Kada dobije okidni sig-

nal, triac odjednom omogući porast trenutne vrijednosti struje s nule na vrijednost određenu naponom mreže i otporom trošila. Istodobno, napon na triacu naglo pada s trenutne vrijednosti mrežnog napona na neku malu vrijednost, tipično do 2 V. Zbog toga nastaje kratkotrajan naponski impuls na mreži. Zbog ublažavanja impulsa u prigušivače se ugrađuje niskopropusni LC filter, koji usporava porast struje pri uključanju. Međutim, niskopropusni filter kao rezonantna struktura, zajedno s impedancijom distribucijske mreže i samim upravljanim trošilom, određuje slobodni odziv mreže na nagli naponski propad, odnosno na porast struje, a taj odziv obično sadrži prigušeno istitivanje na prirodnoj frekvenciji sustava. Na slici 5 vidi se primjer jednog impulsa koji nastaje svakih 10 ms u mreži u kojoj radi prigušivač rasvjete.



Slika 5. Ilustracija tipičnog impulsa tiristorskog regulatora osvjjetljenja. Obratiti pažnju na relativno kratko trajanje i visoku amplitudu. U ovome slučaju istitivanje je dobro prigušeno.

Spektralni sadržaj impulsne smetnje prigušivača rasvjete vrlo je bogat. U niskofrekventnom području, do 100 kHz, postoji veliki broj jakih spektralnih linija, gotovo jednake razine, razmaknutih za po 50 Hz. Harmonici reda većeg od 200 u imaju razine tipično 40 dBV više od pozadinskog šuma [3]. Amplituda pojedinačnih impulsa, a time i amplituda harmoničkih komponenti, u proporciji je s upravljanom snagom, premda faktor razmjernosti ovisi o konkretnom tiristorskom sklopu i impedantnim prilikama u mreži. Nije nikakva rijetkost da vršne vrijednosti impulsa prijeđu i nekoliko desetaka volti, a u većini slučajeva radi se o najmanje nekoliko volti.

Ipak, zbog prirode nastanka smetnji tiristorskih sklopova može se ustvrditi da za primjene u PLC komunikacijama spektralni sadržaj te pojave nije od primarnog značenja, s obzirom na njenu inherentnu predvidivost, kako po trenutku nastajanja, tako i po trajanju i intenzitetu. Međutim, osim ako je izvor smetnje u neposrednoj blizini PLC prijarnika, atenuacijom i izobličenjem kroz mrežu ova se vrsta impulsne smetnje utapa u šumi impulsa drugih izvora, odnosno drugačijeg podrijetla, a najvažnije mjere za ocjenu

impulsnog šuma i uspješno modeliranje kanala onečišćenog njime su statističke razdiobe trajanja, amplitude i trajanja intervala bez impulsa smetnji.

Ključna svojstva smetnji koje proizvode tiristorski regulatori su:

- Kratkotrajni i vrlo intenzivni periodički impulsi sinkronizirani s frekvencijom poluperiode mreže, trajanja nekoliko mikrosekundi, i amplituda od nekoliko volti naviše.
- Energija impulsa raspršena je na dosta veliku širinu spektra, u jasno definiranim spektralnim linijama razmaka jednakog mrežnoj frekvenciji.
- Visok stupanj predvidivosti pojave, zbog kojega ju je zapravo neispravno zvati šumom. Vrlo mali dio trajanja poluperiode zagađen je ovom vrstom smetnje.

3.3. Ostali izvori smetnji na frekvencijama do 1 MHz

Switch-mode pretvarači napona u posljednje vrijeme sve više zamjenjuju ostale izvore niskog istosmjernog napona za najrazličitije elektroničke uređaje i sustave, zahvaljujući svojoj niskoj cijeni, malim dimenzijama i malom zagrijavanju. Frekvencija rada takvih napajaača redovito je u ultrazvučnom području, najčešće između 20 i 200 kHz. Premda su oni očito izvori periodičkih smetnji, radna frekvencija im nije osobito stabilna, posebno kod uređaja lošije kvalitete. Njihova osnovna frekvencija nema nikakve veze s frekvencijom energetske mreže. Valni oblik struje koju crpe iz mreže u pravilu izgleda kao izobličena pilasta struja, karakterizirana bogatim sadržajem spektralnih linija na frekvencijama harmonika osnovne frekvencije. U literaturi nema detaljnije analize intenziteta smetnji od ovih uređaja. U svakom slučaju, s obzirom na relativno visoke osnovne frekvencije, smetnje switch mode napajaača tonu u pozadinski šum tek na frekvencijama iznad nekih 700 kHz.

Vrlo jaki izvori harmoničkih smetnji mogu biti najrazličitiji nelicencirani uređaji za komuniciranje PLC medijem, od kojih su najčešći dječji alarmi. Kao i kod sve robe široke potrošnje, kvaliteta ovih uređaja, a posebno briga većine proizvođača za elektromagnetsku kompatibilnost, u najmanju ruku je upitna. Premda bi se ti uređaji dali pažljivo izvesti tako da zaposjedaju pojas od samo nekoliko kHz, s frekvencijom nosioca u ultrazvučnom području, oni obično u mrežu emitiraju niz vrlo jakih i dosta širokih spektralnih linija. Do sada objavljena literatura ne omogućuje kvantitativnu evaluaciju doprinosa tih uređaja ukupnom šumu, što je i razumljivo s obzirom na nestandardiziranost i veliku raznolikost proizvoda.

Televizijski prijamnici generiraju spektralne linije smetnji zamjetne jakosti na harmonicima frekvencije horizontalnog oscilatora. Po svojoj pojavnosti one nalikuju smetnjama od switch mode ispravljača, s tom razlikom što su iznosi frekvencija vrlo stabilni, jer su sinkronizirani horizontalnom frekvencijom televizijskih odašiljača. Unatoč ugrađenom kondenzatoru

paralelno spojenom kabelu mrežnog napajanja, televizijski prijamnik na mjestu gdje je priključen podiže anvelopu spektra šuma za oko 20 dBV u odnosu na pozadinski šum, i pritom ima vrlo istaknute spektralne linije harmonika horizontalne frekvencije (tipično 50 dB iznad pozadinskog šuma). Osim ovih glavnih spektralnih linija, njihovi bočni pojasevi sadrže mnoštvo diskretnih spektralnih linija razmaknutih za iznos vertikalne frekvencije, odnosno frekvencije mreže, dakle za 50 Hz [3].

Selander u [12] konstatira postojanje uskopojasnih komponenti šuma, kao i da njihov intenzitet i, zanimljivo je, položaj na frekvencijskoj osi, ovisi o lokaciji promatranja, što se uostalom vidi i na slikama 1 i 2. On daje objašnjenje da je najvjerojatnije riječ o radiodifuziji, ali to ne mora biti u cijelosti istinito. Naime, ovisnost frekvencija istaknutih linija o mjestu promatranja ne govori tomu u prilog.

Ostali izvori šuma i smetnji na frekvencijama do 1 MHz imaju u osnovi zanemarivo djelovanje u usporedbi s do sada navedenima.

4. PREGLED KARAKTERISTIKA POZADINSKOG ŠUMA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU OD 1 DO 60 MHz

Eksperimentalni rezultati mjerenja pozadinskog šuma i šuma kojega proizvode različita trošila objavljeni su samo u nekoliko članaka i drugih publikacija. Općenito se može reći da su podaci o osobinama šuma PLC mreže na višim frekvencijama oskudni. Van der Gracht i Donaldson u [1] daju graf ovisnosti očekivane vrijednosti spektralne gustoće šuma u širokom rasponu frekvencija. Na tom se prikazu vidi da u najproblematičnijoj sredini, a to je, što se unutarne mreže tiče, uredska zgrada u visokourbaniziranoj zoni, očekivana razina gustoće šuma uranja u razinu termičkog šuma na otporu od 50 Ω na frekvencijama oko 70 MHz. Prije toga ona opada (s) približno 40 dB po dekadi. U ruralnim sredinama tipične vrijednosti šuma su za oko 25 dB niže. Te su zakonitosti približno zadovoljene na frekvencijama od 5 do 70 MHz, i one mogu biti upotrijebljene kao prva aproksimacija za iznos pozadinskog šuma. Iznos gustoće šuma na 5 MHz je oko -160 dB(W/MHz). Termički šum na radnom otporu od 50 Ω ima jednoliku spektralnu gustoću od -204 dB(W/Hz).

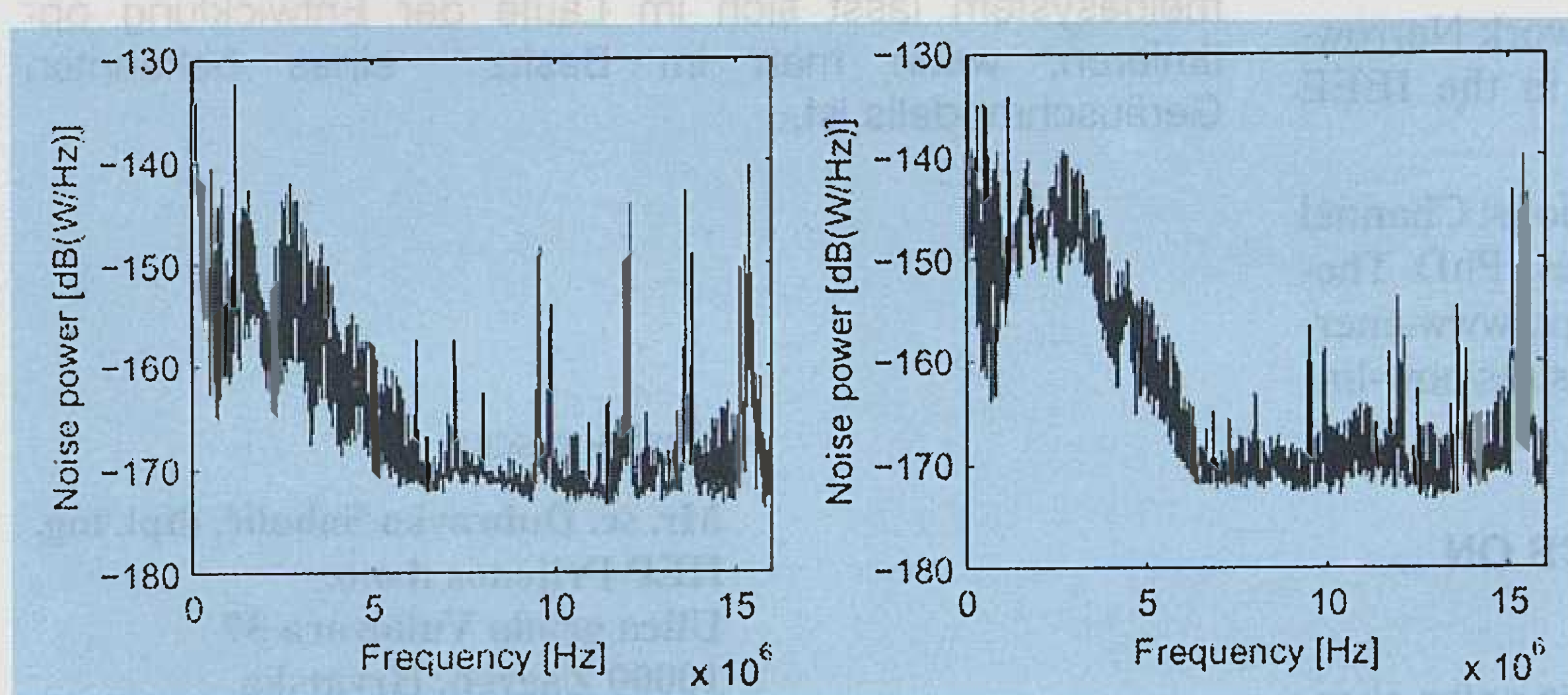
Kao i u području niskih frekvencija, osim pozadinskog šuma ukupnoj snazi šuma doprinose i drugi izvori. Najčešće su to trošila priključena na mrežu negdje u blizini komunikacijskog kanala. U tom slučaju pozadinskoj razini šuma treba dodati spektralnu gustoću šuma proizvedenog od strane predmetnog trošila u decibelima, te oduzeti odgovarajući broj decibela gušenja između izvora šuma i komunikacijskog prijamnika. Nadalje, potrebno je uračunati spektralne linije uskopojasnih izvora šuma (AM radiodifuzije, radio-

navigacije, fiksnih mobilnih servisa i sl., a na frekvencijama od 50-ak MHz nadalje, televizijske difuzije).

Selander u [12] daje rezultate mjerenja šuma na vanjskoj distribucijskoj mreži u pojasu od 1 do 16 MHz, gdje konstatira sljedeće:

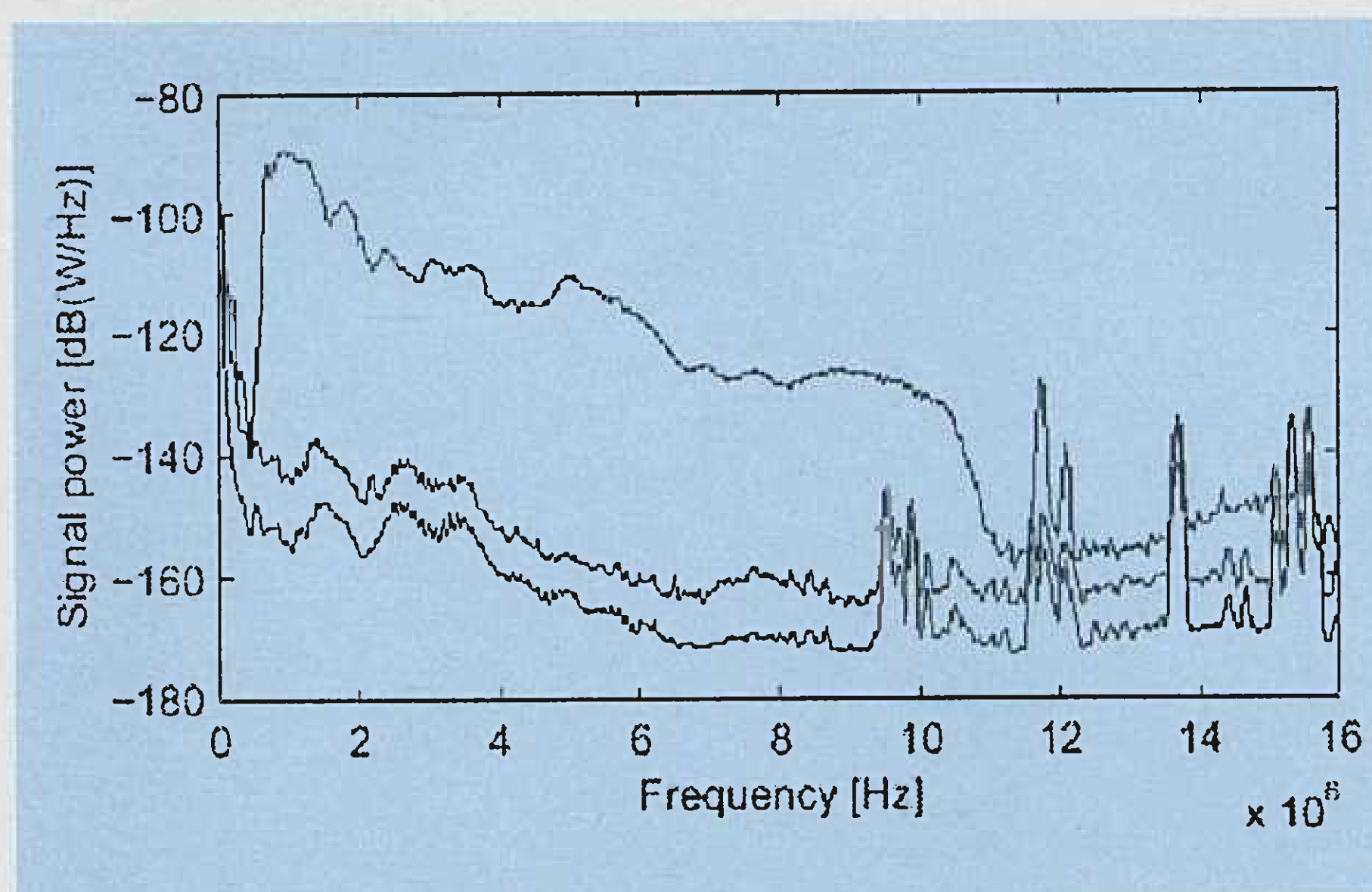
- Na frekvencijama između 1 i 7 MHz pozadinski šum se smanjuje s nekih -140 na -170 dB(W/Hz).
- Pozadinski šum na frekvencijama od 7 do 16 MHz ima spektralnu gustoću od približno -170 dB(W/Hz).
- Postoji veći broj istaknutih spektralnih linija uskopo-jasnih smetnji, koje se, posebno u višem frekven-cijskom području, mogu izdizati i do 30 dB iznad pozadinskog šuma.

Na slici 6 kao ilustraciju iz [12] prenosimo usporedne dijagrame šuma snimljene na dvije različite faze vanjske mreže.



Slika 6. Primjer snimljene ovisnosti šuma o frekvenciji na vanjskoj mreži iz [12], na dvije različite faze u istom razvodnom ormaru

Nadalje, autor u [12] analizira i odnos signala i šuma u ovisnosti o frekvenciji za promatranu vanjsku mrežu. Uz amplitudu signala u trafostanici od 2.5 V i impedanciju generatora signala od 50 Ω , odnosno uz jednoliku spektralnu gustoću izvora signala od -62 dB(W/Hz), snimljena je razina prijemnog signala i stavljena na isti graf s maksimalnim i očekivanim vrijednostima razine šuma. Ilustrativno ćemo to prikazati na slici 7 [12],



Slika 7. Ilustracija frekvencijske ovisnosti odnosa signala i šuma na mjestu u vanjskoj mreži udaljenom oko 100 m od odašiljača, uz amplitudu signala odašiljača od 2.5 V na 50 Ω [12]

snimljenoj u razvodnom ormaru stotinjak metara udaljenom od trafostanice.

Na slici se vidi da je odnos signala i šuma povoljan, naime veći od 20 dB, u pojasu do oko 10 MHz. Nakon toga se prijamni signal gubi u šumu. To znači da je promatrana vanjska mreža pogodna za komuniciranje u frekvencijskom području do 10 MHz. Postoje i druga opažanja koja daju slične rezultate, ili pak nešto povoljnije [2], ali čini se da područje povoljnog odnosa signala i šuma na vanjskoj mreži završava negdje između 10 i 15 MHz. Dostert u [2] iznosi da se očekuje primjena PLC komunikacija u distribucijskoj mreži do 10 MHz, a na instalacijskoj između 10 i 30 MHz.

Liu i drugi u [6] vrše parcijalna istraživanja šuma na instalaciji stambene kuće. Važno je uočiti da se razina pozadinskog šuma od oko -170 dB(W/Hz), zamijećena

kod Selandera na vanjskoj mreži, nastavlja i na frekvencijama do 60 MHz. Autori analiziraju ponašanje šuma kada se na prostorno bliske utičnice spoje neki tipični električki uređaji u kućanstvu. Tako npr. uključivanje usisivača podiže razinu šuma za prosječno 40 dB kroz čitav promatrani opseg, do 60 MHz. Pritom spektar ostaje gladak. Električna grijalica podiže razinu šuma na svim promatranim frekvencijama za približno 40 dB, također s glatkim spektrom. Električni mikser u neposrednoj blizini povećava razinu šuma za oko 60 dB. Televizijski prijamnik ne podiže znatno razinu

šuma na svim frekvencijama (srednja razina šuma diže se za samo oko 5 dB u području između 20 i 60 MHz), ali generira mnoštvo uskih spektralnih linija koje mogu nadvisivati okolnu razinu šuma i za 40 dB.

LITERATURA

- [1] P. K. VAN DER GRACHT, R. W. DONALDSON: "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-33, No. 9, Sept. 1985.
- [2] K. DOSTERT: "High Speed Data Transmission over Power Lines Using Multi-Carrier (OFDM) Techniques", Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.
- [3] R. M. VINES et al: "Noise on Residential Power Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-26, No. 4, Nov. 1984.
- [4] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON: "Amplitude, Width, and Interarrival Distribution for Noise Impulses on Intrabuilding Power Line Communication Networks", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 31, No. 3, Aug. 1989.
- [5] O. G. HOOIJEN: "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, Nov. 1998.

- [6] D. LIU et al: "Wide Band AC Power Line Characterization", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 45, No. 4, Nov. 1999.
- [7] M. ZIMMERMAN, K. DOSTERT: "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks", Proceedings of the 4th International Symposium on Powerline Communications and its Applications, Limerick, Ireland, April 5th-7th, 2000, <http://www-iiit.etec.uni-karlsruhe.de/~plc/>
- [8] M. ZIMMERMANN, K. DOSTERT: "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 44, No. 1, February 2002.
- [9] K. DOSTERT: "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001.
- [10] D. SABOLIĆ: "O statističkim osobinama uskopojasnog šuma na niskonaponskim električnim instalacijama", Energija, Vol. 51, br. 3, Zagreb, lipanj 2002.
- [11] D. SABOLIĆ: "On The Distribution Network Narrow-band Noise Statistics", to be published in the IEEE Transactions on Power Delivery in 2002.
- [12] L. SELANDER: "Powerline Communications: Channel Properties and Communication Strategies, PhD Thesis", Lund University, Sweden, 1999, <http://www.enersearch.se/knowledgebase/publications/theses/pow-line.html>

INSPECTION OF NOISE CHARACTERISTICS ON PLC MEDIA

A review of current developments on PLC media noise characteristics, both on the outside and the inside network is given, based on references 1-12. Knowledge of noise char-

acteristics on transmission media enables theoretical evaluation, simulation and experimental determination of resistance of each communication system on the total noise found on the media, and the corresponding noise model enables communication system's optimization during its development.

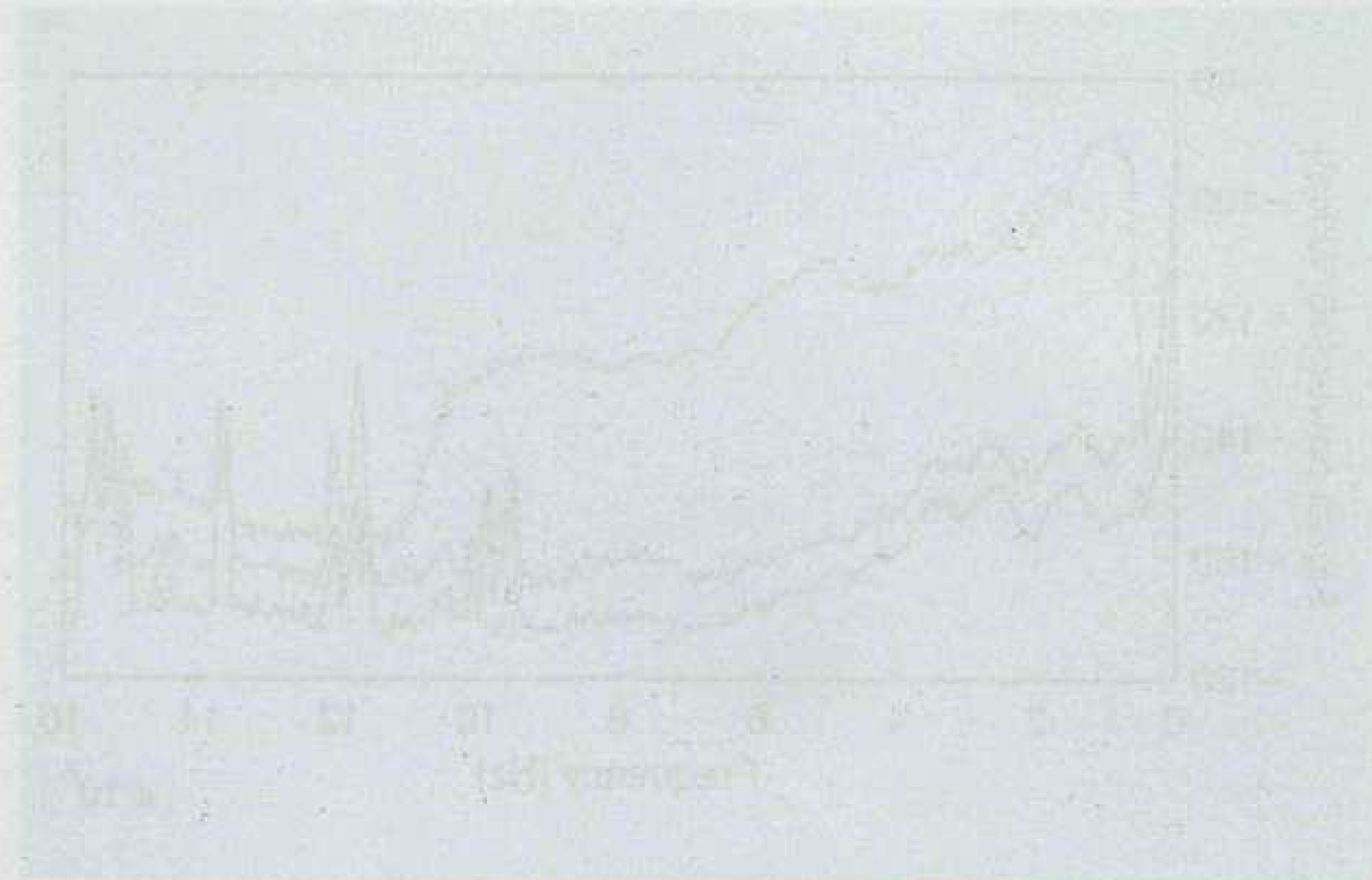
ÜBERSICHT DER GERÄUSCHEIGENSCHAFTEN AN ENERGIELEITUNGEN

Auf Grund des Schrifttums [1-12] wird eine Übersicht bisheriger Erkenntnisse über das Geräusch an Energieleitungen, sowohl an Aussen- als auch an Innenleitungen, dargestellt. Das Wissen über Geräuscheigenschaften am Übertragungssystem macht eine theoretische Bewertung, eine Simulation und eine experimentelle Überprüfung der Widerstandsfähigkeit einzelner Fernmeldesysteme auf den Gesamtgeräusch in den Leitungen möglich. Ein Fernmeldesystem lässt sich im Laufe der Entwicklung optimieren, wenn man im Besitz eines bekannten Geräuschmodells ist.

Naslov pisca:

Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
HEP Prijenos d.o.o.
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 07 – 23.



Šlika 7. Ilustracija frekvencijske ovisnosti odnosa signala i šuma na mjestu u vanjskoj mreži udaljenom oko 100 m od odašiljača, uz amplitudu signala odašiljača od 2.5 V na 50 Ω [12]

STATISTIČKI STANDARDI ZA USKLAĐIVANJE SLUŽBENE STATISTIKE RH SA STATISTIKOM EUROPSKE UNIJE

Novi Statistički standardi za usklađivanje službene statistike RH sa statistikom Europske unije objavljeni su u Narodnim novinama broj 8 od 16. siječnja 2003. godine. U ovim standardima utvrđena je terminologija i obrasci na kojima se prikupljaju podaci, odnosno koncepti i definicije PRODCOM istraživanja (statističke jedinice, izvještajne jedinice, gotov i nedovršeni proizvod, intermedijarni proizvod, prodani proizvod, ukupna proizvodnja, organizacija provedbe statističkog istraživanja i dr.). Osim toga dane su i upute za ispunjavanje obrasca IND-21/PRODCOM. Ovim Statističkim standardima za PRODCOM istraživanje o industrijskoj proizvodnji (IND-21/PRODCOM) prestaju vrijediti Statistički standardi za godišnje izvješće industrije, objavljeni u Narodnim novinama, broj 60 od 13. kolovoza 1999. godine.

Potpisavši Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju (SSP) s Europskom unijom, Vlada Republike Hrvatske preuzela je određene obveze. Temeljem toga donijela je mjere u okviru Plana provedbe potpisamog sporazuma za razdoblje od 2001. do 2006. godine. Između ostaloga, iz tog dokumenta proizlazi i obveza usklađivanja službene statistike RH sa statistikom EU, odnosno i usklađivanje statistika industrije RH s EU. Da bi se usklađivanje provelo, potrebno je bilo zakonom propisati odgovarajuće norme, odnosno preuzeti norme EU iz tog područja.

EU polazi od činjenice, da je statistika temelj svakog demokratskog tržišnog društva, jer:

- potrebna je za donošenje odluka na svim razinama – za politiku planiranja, implementiranja i monitoringa
- daje ključne informacije, nužne za poslovanje gospodarskih subjekata, vlada, edukacijskih ustanova, ali isto tako
- daje javnosti objektivni pregled stanja društva.

S obzirom na važnost statistike, tim poslovima je u EU dano pripadajuće mjesto u organizacijskoj strukturi. Statističke poslove za EU obavlja njezin statistički ured imenom Eurostat. Osnovni zadatak Eurostata je opskrba EU visoko kvalitetnim informacijama na europskoj razini koje će omogućiti usporedbe između zemalja i regija. Eurostat je osnovan 1953. godine. On ne prikuplja podatke sam, već to čine državna tijela članica. Ona analiziraju nacionalne podatke te ih dostavljaju Eurostatu.

U našoj zemlji statističke poslove obavlja Državni zavod za statistiku i njegovi područni uredi po županijama. Istraživanja se obavljaju kroz godišnje i višegodišnje Nacionalne programe statističkih istraživanja te imaju zakonsku težinu. Nacionalnom klasifikacijom djelatnosti te Nomenklaturom industrijskih proizvoda utvrđeni su poslovni subjekti koji su obvezni obavljati prikupljanje podataka i činiti odgovarajuće obrade za potrebe statističkih istraživanja. Neispunjavanje ovih obveza povlači za sobom zakonsku odgovornost.

Prema Pravilniku o Organizaciji i sistematizaciji HEP d.d. u članku 57. (Bilten HEP-a broj 101 od 29. lipnja 2002. godine), Odjelu za statistiku i dokumentaciju u Sektoru za poslovnu informatiku dodijeljeni su poslovi organiziranja sustava statističkog praćenja poslovanja HEP Grupe te

provedbe praćenja u Društvu. Time su institucionalno ispunjeni preduvjeti za efikasno provođenje statističkih istraživanja u grupi Hrvatska elektroprivreda kao dijela istraživanja u RH.

Radi približavanja EU nastavlja se rad na daljnjem usklađivanju statističkog praćenja industrijske proizvodnje tijekom 2002. prema zahtjevima EU-a. U skladu s time razdvaja se Godišnje izvješće industrije (IND-21) na dva samostalna istraživanja:

- PRODCOM istraživanje o industrijskoj proizvodnji i
- Poslovno-strukturno istraživanje industrije (PSI), za koje EU koristi posebne koncepte, definicije i klasifikacije.

Daljnji razvoj i cjelovita harmonizacija statistike industrije s istim statistikama EU-a predviđena je okvirno do kraja 2006. što je i bio pretpostavljeni cilj i pri izradi ovih statističkih standarda. Nacionalna klasifikacija djelatnosti (NKD) strukturom i opisima djelatnosti izvedena je iz NACE Rev. 1 – Uredbe Vijeća europske ekonomske komisije (EEC) br. 3037/90 o statističkoj klasifikaciji gospodarskih djelatnosti Europske zajednice. Zakon o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti RH objavljen je u Narodnim novinama br. 98/94, a Odluka o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti u Narodnim novinama broj 6/95, 3/97 i 7/97.

PRODCOM je naziv za proizvodne statistike EU. Od 1993. godine PRODCOM istraživanjem prikupljaju se podaci o industrijskoj proizvodnji država-članica EU-a.

U ovom istraživanju pod pojmom industrija PRODCOM podrazumijeva NACE Rev. 1 područja djelatnosti:

- C – Rudarstvo i vađenje
- D – Prerađivačka industrija
- E – Opskrba električnom energijom, plinom i vodom.

PRODCOM uredbom EU-a utvrđen je obvezatni sadržaj, definicije, klasifikacije i druge norme na temelju kojih se provodi PRODCOM istraživanje u državama - članicama EU. PRODCOM uredbom EU-a (Uredba Vijeća EEC br. 3924/91) utvrđena je i obveza godišnjeg ažuriranja PRODCOM Liste industrijskih proizvoda na temelju koje se prikuplja i objavljuje industrijska proizvodnja država - članica EU-a.

U razdoblju od 1995. do 2002. godine, IND-21 na temelju kojeg su se redovito prikupljaju podaci o godišnjoj industrijskoj proizvodnji RH, već je tri puta revidiran, svaki put s ciljem daljnjeg usklađivanja praćenja industrijske proizvodnje s konceptom, definicijama i klasifikacijama koji su propisani za PRODCOM istraživanje EU, a za čiju je kompilaciju nadležan Eurostat.

SBK

VISINA I NAČIN PLAĆANJA NAKNADA ZA POKRIĆE TROŠKOVA OBVEZNOG CERTIFICIRANJA ELEKTROENERGETSKIH IZOLIRANIH VODIČA I KABELA

Naredba o visini i načinu plaćanja naknada za pokriće troškova obveznog ispitivanja i potvrđivanja/certifikacije elektroenergetskih izoliranih vodiča i kabela objavljena je u Narodnim novinama broj 148 od 11. prosinca 2002. godine.

Tablica 1. Elektroenergetski izolirani vodiči i kabeli

Red. br.	Naziv proizvoda koji se potvrđuje / certificira	Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi potvrđivanja / certifikaciju proizvoda (kn)	Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti s potvrđenim / certificiranim tipom (kn)
1.	Nazivni napon do1000V		
	– po tipu kabela	1.350,00	950,00
	– po presjeku istog kabela	135,00	95,00
2.	Nazivni napon do 750V		
	– po tipu vodiča	950,00	650,00
	– po presjeku istog tipa vodiča	95,00	65,00

Za pokriće troškova obveznog ispitivanja, potvrđivanja, odnosno certifikaciju i provjeru sukladnosti elektroenergetskih izoliranih vodiča i kabela podnositelji zahtjeva za provedbu postupaka ispitivanja i potvrđivanja/certifikaciju plaćaju naknade.

Prema ovoj Naredbi naknada za pokriće troškova potvrđivanja, odnosno certifikaciju i izdavanja potvrde o sukladnosti (certifikata) iznosi 1.400,00 kuna neovisno o vrsti ispitivanja. Za izdavanje prijepisa potvrde o sukladnosti, odnosno certifikata za potvrđeni tip proizvoda plaća se naknada u iznosu od 250,00 kuna. Naknade za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim (certificiranim) tipom prikazane su u tablici 1.

Naknade za pokriće troškova ispitivanja proizvoda koji nisu sadržani u ovoj naredbi obračunavaju se prema cijeni radnog sata ovlaštene pravne osobe, ovisno o složenosti poslova i to: poslovi (VSS) 195,00 kuna, poslovi (VŠS) 156,00 kuna i poslovi (SSS) 117,00 kuna.

Naknada za pokriće izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata iznosi 850,00 kuna.

SBK

VISINA I NAČIN PLAĆANJA NAKNADA ZA POKRIĆE TROŠKOVA CERTIFIKACIJE TRANSFORMATORA ZA RAZDVAJANJE

Naredba o visini i načinu plaćanja naknada za pokriće troškova obveznog ispitivanja i potvrđivanja/certifikacije transformatora za razdvajanje i sigurnosnih transformatora za razdvajanje objavljena je u Narodnim novinama broj 148 od 11. prosinca 2002. godine.

U Naredbi je zakonodavac odredio tko može obavljati te poslove te komu se u određenoj situaciji isplaćuje naknada.

Naknada za pokriće troškova potvrđivanja/certifikacije proizvoda i izdavanja potvrde o sukladnosti/certifikata iznosi 1.400,00 kuna neovisno o vrsti ispitivanja, dok se za izdavanje prijepisa potvrde o sukladnosti plaća naknada u iznosu od 250,00 kuna.

Naknade za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim/certificiranim tipom utvrđene su u tablici 2. koja je kao prilog 1 sastavni dio ove Naredbe.

U Naredbi su utvrđene naknade za pokriće troškova:

- za ispitivanja proizvoda koji nisu sadržani u ovoj naredbi, koje se obračunavaju prema cijeni radnog sata ovlaštene pravne osobe ovisno o složenosti poslova i to: poslovi (VSS) 195,00 kuna, poslovi (VŠS) 156,00 kuna i poslovi (SSS) 117,00 kuna
- za ispitivanja proizvoda u slučaju izmjene konstrukcije, materijala i slično koje se obračunavaju prema stvarno utrošenom vremenu
- za pokriće izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata koje iznose 850,00 kn

Troškove koji nisu obuhvaćeni ovom Naredbom i utvrđenim naknadama snosi podnositelj zahtjeva: troškova dnevnica, putovanja i sl. vezani uz postupak potvrđivanja/certifikacije, izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata i provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim/certificiranim tipom nakon isteka valjanosti potvrde o sukladnosti/certifikata.

Podnositelj zahtjeva obavezan je prije početka ispitivanja uplatiti na račun ovlaštene pravne osobe beskamatni predujam u visini od 75% iznosa naknada za pokriće troškova ispitivanja proizvoda. Naknade u ovoj naredbi izražene su u hrvatskim kunama bez obračunatog poreza na dodatnu vrijednost.

SBK

Tablica 2. Transformatori za razdvajanje i sigurnosni transformatori za razdvajanje

Red. br.	Naziv proizvoda koji se potvrđuje / certificira	Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi potvrđivanja / certifikacije Proizvoda (kn)	Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti s potvrđenim / certificiranim tipom (kn)
1.	Transformatori za razdvajanje i	7.200,00	3.600,00
2.	Sigurnosni transformatori za razdvajanje	7.200,00	3.600,00

**VISINA I NAČIN PLAĆANJA NAKNADA
ZA POKRIĆE TROŠKOVA OBVEZNOG
ISPITIVANJA I POTVRĐIVANJA/CERTIFIKACIJE
SKLOPKI ZA NAPRAVE**

Naredba o visini i načinu plaćanja naknada za pokriće troškova obveznog ispitivanja i potvrđivanja/certifikacije sklopki za naprave objavljena je u Narodnim novinama broj 148 od 11. prosinca 2002. godine.

Prema toj naredbi utvrđene su naknade za pokriće troškova koje podnositelji zahtjeva plaćaju nadležnim institucijama za:

- obvezno ispitivanje
- potvrđivanje/certifikaciju
- provjeru sukladnosti sklopki za naprave.

Iznos naknada prikazan je u tablici 3.

Naredbom je također utvrđena naknada za pokriće troškova:

- potvrđivanja/certifikaciju proizvoda i izdavanja potvrde o sukladnosti/certifikata u iznosu od 1.400,00 kuna neovisno o vrsti ispitivanja
- za izdavanje prijepisa potvrde o sukladnosti/certifikata za potvrđeni tip proizvoda u iznosu 250,00 kuna
- ispitivanja proizvoda koji nisu sadržani u ovoj naredbi te za pokriće troškova ispitivanja proizvoda u slučaju izmjene konstrukcije, materijala i slično prema cijeni radnog sata ovlaštene pravne osobe ovisno o složenosti poslova i to: poslovi (VSS) 195,00 kuna, poslovi (VŠS) 156,00 kuna i poslovi (SSS) 117,00 kuna
- naknada za pokriće izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata u iznosu 850,00 kn.

Naredbom je utvrđeno da sljedeće troškove snosi sam podnositelj zahtjeva:

- troškovi dnevnica
- putovanja i sl. vezani uz postupak potvrđivanja/certifikaciju, izdavanja dopune potvrde o sukladnosti/certifikata i provjere sukladnosti proizvoda s potvrđenim/certificiranim tipom nakon isteka valjanosti potvrde o sukladnosti/certifikata.

Prema Naredbi podnositelj zahtjeva obavezan je prije početka ispitivanja uplatiti na račun ovlaštene pravne osobe beska-matni predujam u visini od 75% iznosa naknada za pokriće troškova ispitivanja proizvoda .

SBK

Tablica 3. Sklopke za naprave

Red. br.	Naziv proizvoda koji se potvrđuje / certificira	Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi potvrđivanja / certificacije proizvoda (kn)	Visina naknada za pokriće troškova ispitivanja radi provjere sukladnosti s potvrđenim / certificiranim tipom (kn)
1.	Sklopke za naprave nazivnog izmjeničnog napona od 50 do 600V i nazivne struje do 63A	6.900,00	3.500,00
2.	Doplata za drugi nazivni napon i drugu nazivnu struju za isti tip	900,00	900,00

**PRAVILNIK O UVJETIMA ZA OBAVLJANJE
ENERGETSKE DJELATNOSTI**

Ovim Pravilnikom propisuju se uvjeti tehničke i financijske kvalificiranosti i stručne osposobljenosti koje mora ispu-njavati pravna osoba da bi od Vijeća za regulaciju energet-skih djelatnosti mogla ishoditi rješenje, odnosno dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti. Također se propisuje oblik, sadržaj i način vođenja registra izdanih i oduzetih dozvola za obavljanje energetske djelatnosti. Pravilnik je objavljen u Narodnim novinama broj 6 od 10. siječnja 2003. godine.

Odredbe ovoga Pravilnika primjenjuju se na sljedeće ener-getske djelatnosti (članak 15. Zakona o energiji, NN 68/2001):

1. proizvodnja električne energije
2. prijenos električne energije
3. distribucija električne energije
4. opskrba električnom energijom
5. vođenje elektroenergetskog sustava
6. organiziranje tržišta električnom energijom
7. dobava plina
8. transport plina
9. distribucija plina
10. proizvodnja naftnih derivata
11. transport nafte naftovodima i drugim oblicima trans- porta
12. transport naftnih derivata produktovodima i drugim obli- cima transporta
13. trgovina na veliko naftnim derivatima
14. trgovina na malo naftnim derivatima
15. skladištenje nafte i naftnih derivata
16. proizvodnja toplinske energije
17. distribucija toplinske energije
18. opskrba toplinskom energijom
19. trgovanje, posredovanje i zastupanje na tržištu energije
20. transport i skladištenje ukapljenoga prirodnog plina (UPP)
21. trgovina na veliko i malo ukapljenim naftnim plinom (UNP)
22. trgovina na veliko ukapljenim prirodnim plinom (UPP).

Ne primjenjuje se za djelatnosti proizvodnje električne ener- gije:

- koja se proizvodi isključivo za vlastite potrebe, a pravna osoba za takvo korištenje ne koristi javnu prijenosnu ili dis- tribucijsku mrežu, ili

- proizvodi se u proizvodnim objektima snage do 5 MW, a priključeni su na javnu prijenosnu ili distribucijsku mrežu.

U drugom dijelu Pravilnika, u člancima 4. do 18. utvrđuju se uvjeti za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

Prema člancima 4. i 5. gore navedene energetske djelatnosti može obavljati pravna osoba koja je od Vijeća za regulaciju ishodila dozvolu. Pravna osoba mora biti registrirana za obavljanje te djelatnosti i ispunjavati uvjete tehničke kvalificiranosti, stručne osposobljenosti i financijske kvalificiranosti.

Tehnička kvalificirana pravna osoba:

- ima objekte, postrojenja, uređaje i opremu za obavljanje energetske djelatnosti i provođenje tehničkih i sigurnosnih propisa
- nema izgrađene objekte, uređaje i mrežu i opremu za obavljanje energetske djelatnosti, ako posjeduje tehničko-investicijsku dokumentaciju potrebnu za realizaciju izgradnje objekata, uređaja ili mreže u skladu sa zakonima, propisima, standardima i uzancama koji vrijede za to područje
- ima objekte, postrojenja, uređaje i opremu u svom vlasništvu, koristi ih temeljem ugovora o zakupu zaključenog s drugom osobom ili koristi ih temeljem ugovora o koncesiji.

Stručna osposobljenost utvrđena u članku 6. znači da pravna osoba zapošljava radnike koji ispunjavaju uvjete određene propisima koji uređuju pitanja tehničke i radne sigurnosti i s njima ima sklopljen odgovarajući ugovor o radu.

U članku 7. utvrđena je financijska kvalificiranost. Pravna osoba je financijski kvalificirana za obavljanje energetske djelatnosti ako ima gotov novac na računu poslovne banke pravne osobe u iznosima navedenim u prilogu 1 ovog Pravilnika.

Isto tako pravna osoba je dužna, uz zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, priložiti Vijeću za regulaciju trogodišnji plan izgradnje, održavanja i korištenja energetskih objekata koji je potvrdio neovisni ovlašteni revizor.

Prema članku 8. Vijeće za regulaciju je ovlašteno obavljati nadzor i provjeru ispunjavanja gore navedenih uvjeta kroz razdoblje trajanja dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

Podnošenje zahtjeva regulirano je člancima 9. i 13. Zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti podnosi se Vijeću za regulaciju na posebnom Obrascu ZDOED. Ako pravna osoba namjerava obavljati više energetskih djelatnosti mora podnijeti zahtjev za svaku djelatnost posebno.

Uz zahtjev za izdavanje dozvole pravna osoba je obvezna priložiti sljedeće dokaze:

- izvod iz sudskog registra trgovačkog suda
- isprave nadležnih tijela kojima se dokazuje ispunjavanje uvjeta tehničke kvalificiranosti za obavljanje energetske djelatnosti
- važeće ugovore zaključene s drugim osobama koji imaju utjecaja na tehničku kvalificiranost, ako su isti sklopljeni
- obrazac BON-1 i obrazac BON-2 ili izjavu poslovne banke pravne osobe o solventnosti pravne osobe
- izjavu poslovne banke pravne osobe ili neke druge poslovne banke o realnosti pribavljanja potrebnih financijskih sredstava, ako pravna osoba dokazuje da može pribaviti potrebna sredstva

- trogodišnji plan izgradnje, održavanja i korištenja energetskih objekata koji je potvrdio neovisni ovlašteni revizor
- važeći ugovor o koncesiji za obavljanje energetske djelatnosti, ako se energetska djelatnost obavlja temeljem koncesije
- odluku nadležnog inspektora kojom je određeno otklanjanje utvrđenih nedostataka
- potvrdu o otklanjanju nedostataka utvrđenih odlukom nadležnog inspektora,
- uvjerenje da nije pokrenut istražni ili kazneni postupak povezan s obavljanjem energetske djelatnosti protiv članova uprave pravne osobe, odnosno drugih njima odgovornih osoba
- dokaz o uplati upravne pristojbe propisane Uredbom o financiranju rada Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti («Narodne novine» 60/02).

Člancima 14. do 18. regulirano je Izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti.

Prema članku 15., ako je pravna osoba najmanje 15 godina bila registrirana za obavljanje energetske djelatnosti na dan stupanja na snagu Zakona o energiji, Vijeće za regulaciju izdat će dozvolu na najdulje 15 godina:

- ako se djelatnost za koju traži dozvolu obavlja kao javna usluga bez koncesijskog ugovora
- ako se djelatnost za koju se traži dozvolu obavlja kao tržišna djelatnost bez koncesijskog ugovora.

U člancima 16. do 17. utvrđeni su uvjeti za ostale slučajeve. Prema članku 18. uz dozvolu za obavljanje djelatnosti izdaje se obrazac DOED koji je tiskan u prilogu III. ovoga Pravilnika i njegov je sastavni dio.

Registar dozvola za obavljanje energetske djelatnosti utvrđen je u člancima 19. do 23. Utvrđen je oblik registra, registarski broj dozvole i javnost registra. Prema članku 19. registarski spis sadrži:

- zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti,
- dokumente koji se prilažu uz zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti
- dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti ili rješenje kojim se uskraćuje dozvola za obavljanje energetske djelatnosti
- obrazac DOED izdane dozvole za obavljanje energetske djelatnosti
- rješenje o oduzimanju dozvole za obavljanje energetske djelatnosti, ako je isto izdano
- odluke nadležnog drugostupanjskog tijela povodom žalbe na rješenje kojim se uskraćuje dozvola za obavljanje energetske djelatnosti, ako je ista donesena.

Prema članku 20. zbirni pregled (u elektronskom obliku) sadrži sljedeće elemente:

- registarski broj dozvole
- datum upisa u registar dozvola
- puni naziv pravne osobe kojoj je izdana dozvola
- sjedište i adresu pravne osobe kojoj je izdana dozvola
- matični broj pravne osobe kojoj je izdana dozvola
- naziv energetske djelatnosti
- razdoblje za koje se izdaje predmetna dozvola
- datum izdavanja rješenja Vijeća za regulaciju o oduzimanju dozvole
- datum izdavanja rješenja kojim se dozvoljava obavljanje energetske djelatnosti.

Registarski broj dozvole utvrđen je u člancima 21. i 22. Prema članku 22. registarski broj dozvole sastoji se od:

- matičnog broja pravne osobe (MB) upisa u registar trgovačkog suda
- četveroznamenkastog rednog broja koji određuje Vijeće za regulaciju po redoslijedu otvaranja registarskog spisa počevši od 0001-
- rednog broja djelatnosti prema članku 15. Zakona o energiji
- broja godine upisa počevši s 02.

Između matičnog broja subjekta i rednog broja kojeg određuje Vijeće za regulaciju, odnosno rednog broja djelatnosti stavljaju se crtice (-), a iza rednog broja djelatnosti i ispred godine upisa stavlja se kosa crta (/).

Člankom 23. utvrđuje se da je zbirni pregled javan te da se uvid u zbirni pregled obavlja u prostorima Vijeća za regulaciju, a može biti i elektronički putem interneta.

U završnim odredbama u članku 24. utvrđuje se da pravne osobe koje na dan stupanja na snagu ovoga Pravilnika obavljaju energetske djelatnosti iz članka 15. Zakona o energiji, mogu nastaviti obavljati energetske djelatnosti, pod uvjetom da u roku od šest mjeseci od dana stupanja na snagu ovoga Pravilnika podnesu Vijeću za regulaciju zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje energetske djelatnosti u skladu s ovim Pravilnikom.

SBK

MJERITELJSKI LABORATORIJI ZA OVJERAVANJE BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U Narodnim novinama broj 11 od 22. siječnja 2003. godine objavljen je novi **Pravilnik o uvjetima za potvrđene mjeriteljske laboratorije za ovjeravanje brojila električne energije i načinu njihovog rada**. Primjenom ovog Pravilnika prestaje vrijediti Pravilnik o uvjetima kojima moraju udovoljiti potvrđeni mjeriteljski laboratoriji za ovjeravanje brojila električne energije i načinu njihova rada (NN br. 35/01).

Kao što mu i naziv kaže, ovim se pravilnikom propisuju uvjeti kojima moraju udovoljavati potvrđeni mjeriteljski laboratoriji za ovjeravanje brojila električne energije.

U člancima 2. i 3. utvrđuje se što može biti laboratorij i što on radi. Prema članku 3. laboratorij servisira i priprema brojila za ovjeravanje, a Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo ovjerava brojila.

U drugom dijelu, u člancima 4. do 30. utvrđuju se uvjeti kojima mora udovoljiti laboratorij. Prema članku 4. laboratorij mora udovoljiti uvjetima koji se odnose na:

1. radnike
2. prostoriju za ispitivanje brojila
3. opremu za ispitivanje brojila
4. propisanu dokumentaciju.

Člancima 5. i 6. utvrđuje se broj radnika, njihove kvalifikacije i organizacijska hijerarhija.

U člancima 7. do 11. utvrđuje se broj potrebnih prostorija, njihova namjena te mikroklimatski uvjetu (temperatura, vlažnost, izloženost sunčevim zrakama, vibracijama itd.).

Članak 12. utvrđuje da laboratorij mora imati navedenu opremu za ispitivanje brojila:

1. kontrolne uređaje i mjerila za ispitivanje brojila
2. kontrolne instrumente
3. stalke za postavljanje brojila.

Vrsta dokumentacije za rad laboratorija (propisi, upute proizvođača i sl.), kao i izvješća i odobrenja te sadržaj i način pohrane dokumentacije, utvrđen je u člancima 29. do 30.

U trećem dijelu, u članku 31. utvrđene su obveze laboratorija. Laboratorij tijekom svog rada mora:

1. zadovoljavati uvjete propisane ovim pravilnikom
2. pripremati za ovjeravanje brojila koja imaju valjano tipno odobrenje, sukladno odobrenom postupku ispitivanja brojila
3. obavijestiti Zavod o svakoj promjeni koja bi mogla utjecati na osposobljenost laboratorija da zadovolji uvjete propisane ovim pravilnikom
4. omogućivati radnicima laboratorija sudjelovanje u svim oblicima stručnog usavršavanja koje organizira Zavod
omogućivati radnicima laboratorija sudjelovanje u radu tijela Zavoda
5. sudjelovati u međulaboratorijskim usporedbama na zahtjev Zavoda
6. pridržavati se visine i načina plaćanja troškova ovjeravanja brojila koje je propisao ravnatelj Zavoda.

U četvrtom dijelu u završnim odredbama utvrđuje se da laboratorij dobiva rješenje na rok od tri godine.

SBK

UNUTARNJE USTROJSTVO MINISTARSTVA ZAŠTITE OKOLIŠA I PROSTORNOG UREĐENJA

U Narodnim novinama broj 13 od 27. siječnja 2003. godine donesena je **Uredba o unutarnjem ustrojstvu ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja**. Stupanjem na snagu ove Uredbe prestaje vrijediti Uredba objavljena u Narodnim novinama broj 70/2001.

Ovom se Uredbom određuje unutarnje ustrojstvo Ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja, nazivi upravnih organizacija i drugih unutarnjih ustrojstvenih jedinica u sastavu Ministarstva, njihov djelokrug i način upravljanja, te okvirni broj državnih službenika i namještenika potrebnih za obavljanje poslova iz djelokruga Ministarstva.

Uredba se sastoji od sljedećih dijelova:

1. Unutarnje ustrojstvo
2. Djelokrug i ustrojstvo upravnih organizacija
3. Upravljanje upravnim organizacijama
4. Službenici i namještenici
5. Prijelazne i završne odredbe.

Prema članku 2. za obavljanje poslova iz djelokruga Ministarstva ustrojavaju se sljedeće upravne organizacije i druge unutarnje ustrojstvene jedinice u sastavu Ministarstva:

- Kabinet ministra
- Odjel za informiranje
- Tajništvo Ministarstva
- Uprava za upravno-pravne poslove
- Uprava za zaštitu okoliša
- Uprava za zaštitu prirode
- Uprava za inspekcijske poslove
- Uprava za graditeljstvo
- Zavod za prostorno uređenje.

Člankom 4. utvrđeni su poslovi Odjela za informiranje. U Odjelu za informiranje obavljaju se poslovi odnosa s jav-

nošću. Odjel priprema priopćenja o radu Ministarstva, ministra i njegovog zamjenika, priprema konferencije za novinare, upoznaje novinare s radom Ministarstva, dogovara razgovore ministra i njegovog zamjenika za medije i organizira medijsko praćenje događaja u kojima sudjeluju ministar i njegov zamjenik te po ovlaštenju ministra tajnik Ministarstva i pomoćnici ministra. Odjel sustavno prati i analizira priloge o ministru i Ministarstvu u medijima i predlaže vrijeme, vrstu i sadržaj javnih nastupa.

Unutar Odjela uređuje se časopis »Okoliš« na hrvatskom i engleskom jeziku, održavaju se kontakti sa suradnicima časopisa i obavljaju poslovi oko tiska i distribucije časopisa. Uređivanje i objavljivanje knjiga, publikacija, letaka i svih vrsta prigodnih materijala obavlja se u Odjelu.

Odjel je zadužen za: uređivanje i ažuriranje WEB stranica Ministarstva na hrvatskom i engleskom jeziku, pravodobno objavljivanje na WEB-u informacija o djelokrugu Ministarstva, o projektima za koje je Ministarstvo zaduženo, objavljivanje prijedloga zakona i provedbenih propisa iz djelokruga Ministarstva, natječaja koje objavljuje Ministarstvo, izvješća o radu svih ustrojstvenih jedinica Ministarstva, zaduženo je za uspostavu interaktivne komunikacije s korisnicima i druge poslove koje mu povjeri ministar.

Odjel obavlja poslove uspostave i vođenja biblioteke s publikacijama Ministarstva i drugim tiskanim materijalima, osigurava građanima cjelodnevnu dostupnost svih publikacija iz biblioteke te pristup podacima o radu ministarstva, Agencije za zaštitu okoliša, Državnog zavoda za zaštitu prirode i Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost. Odjel organizira promocije publikacija Ministarstva, prezentacije određenih poslova iz djelokruga Ministarstva, rasprave o zakonima i drugim propisima, koji se izrađuju u Ministarstvu, rasprave o temama iz djelokruga Ministarstva, javne tribine i druge akcije usmjerene na promidžbu rada pojedinih ustrojstvenih jedinica i Ministarstva u cjelini.

U člancima 5. do 7. utvrđeni su poslovi i zadaci tajništva, uprave za upravno-pravne poslove.

Uprava za zaštitu okoliša utvrđena je u članku 7. Prema tom članku u Upravi za zaštitu okoliša ustrojavaju se odjeli za:

- Postupanje s otpadom
- Zaštitu atmosfere, tla, mora i priobalja
- EU integracije i međunarodne projekte
- Strateško planiranje utjecaja na okoliš.

Uprava za zaštitu prirode utvrđena je u članku 8., dok članak 9. utvrđuje poslove i zadatke Uprave za inspekcijske poslove. Člancima 10. i 11. utvrđena je Uprava za graditeljstvo i Zavod za prostorno uređenje.

Prema članku 10. Uprava za graditeljstvo obavlja upravne poslove i stručnoanalitičke poslove iz područja graditeljstva koji se odnose na: utvrđivanje uvjeta za projektiranje, gradnju i održavanje građevina te uporabljivost građevnih proizvoda, poslovanje Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu te drugih osoba koje sudjeluju u projektiranju, gradnji i održavanju građevina, praćenje i analiziranje građevinskih i projektantskih usluga u graditeljstvu, načelne, građevne uporabne i dozvole za uklanjanje građevina, gradnju, korištenje i održavanje građevina, davanje mišljenja, objašnjenja, uputa i pripremanje odgovora na zastupnička pitanja, priprema izradu nacrtu prijedloga zakona i nacrtu prijedloga drugih propisa, uvođenje relevantnih smjernica Europske unije za područje graditeljstva, i obavlja druge poslove koje joj povjeri ministar.

U Upravi za graditeljstvo ustrojavaju se:

- Odjel za izdavanje dozvola
- Odjel za tehničku regulativu i ovlasnice.

Odjel za izdavanje dozvola obavlja upravne poslove i stručno-analitičke poslove iz područja graditeljstva.

Upravni poslovi koje obavlja Odjel za izdavanje dozvola jesu: izdavanje načelnih, građevnih, uporabnih i dozvola za uklanjanje građevina te provedba tehničkih pregleda građevina u nadležnosti Ministarstva, imenovanja te nadzor nad osobama ovlaštenim za poslove kontrole i nostrifikacije projekata, davanje suglasnosti za započinjanje obavljanja djelatnosti, utvrđivanje programa, provedba stručnog ispita i izdavanje uvjerenja o položenom stručnom ispitu prema Zakonu o gradnji, davanje stručnih mišljenja u žalbenim postupcima i postupcima poništenja dozvola o pravu nadzora, sudjelovanje u upravnom nadzoru koje provodi Ministarstvo, nadzor nad radom Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu, vođenje službenih evidencija, prikupljanje i priprema statističkih podataka iz upravnih područja djelokruga Uprave.

Stručni poslovi koje obavlja Odjel za izdavanje dozvola jesu: praćenje primjene propisa iz područja graditeljstva i posebnih zakona, sudjelovanje u izradi stručnih podloga za utvrđivanje uvjeta za projektiranje, gradnju i održavanje građevina, davanje stručnih mišljenja, objašnjenja i tumačenja, postupanje po predstavkama i pritužbama građana, pripremanje odgovora na upite drugih tijela državne uprave i zastupnička pitanja, sudjelovanje u radu tehničkih odbora za izradu hrvatskih normi, sudjelovanje u radu mandatnih povjerenstava za područje izrade građevne-tehničke regulative i za područje odrednica za tehničke specifikacije iz područja graditeljstva, predlaže i priprema izradu nacrtu prijedloga zakona i nacrtu prijedloga drugih propisa, praćenje dostignuća s područja graditeljstva.

U Odjelu za izdavanje dozvola ustrojavaju se:

- Odsjek za načelne, građevne i dozvole za uklanjanje građevina
- Odsjek za uporabne dozvole, uvjerenja i suglasnosti.

Odjel za tehničku regulativu i ovlasnice obavlja upravne poslove i stručno-analitičke poslove iz područja graditeljstva.

Zavod za prostorno uređenje prema članku 11. obavlja stručne i upravne poslove provedbe politike prostornog uređenja Vlade Republike Hrvatske.

U Zavodu za prostorno uređenje ustrojavaju se:

- Odjel za istraživanje i informacijski sustav
- Odjel za opću politiku prostornog uređenja
- Odjel za sustav prostornog planiranja.

U člancima 12. do 15. utvrđeno je upravljanje organizacijama u sastavu ministarstva te okvirni broj službenika i namještenika.

SBK

ODLUKA O NACIONALNOJ KLASIFIKACIJI DJELATNOSTI – NKD 2002

Odluka je objavljena u Narodnim novinama broj 13 od 27. siječnja 2003. godine.

Ovom Odlukom propisuje se Nacionalna klasifikacija djelatnosti – NKD 2002 s nazivima područja, potpodručja, odjeljaka, skupina, razreda i podrazreda gospodarskih i drugih djelatnosti.

U Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti označeni su:

- područja – jednoslovnom oznakom
- potpodručja – dvoslovnom oznakom
- odjeljci – dvoznamenkastom brojkom
- skupine – troznamenkastom brojkom
- razredi – četveroznamenkastom brojkom
- podrazredi – peteroznamenkastom brojkom.

Danom stupanja na snagu ove Odluke prestaje primjena Odluke o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (»Narodne novine«, br. 3/97. i 7/97.), osim za statističke i analitičke potrebe, za koje potrebe se primjenjuje do 31. prosinca 2003. godine.

Za elektroprivrednu djelatnost propisuje se nacionalna klasifikacija prema donjoj tabeli.

Područje E				Opskrba električnom energijom, plinom i vodom	
Odjeljak	Skupina	Razred	Podrazred	Naziv	NACE Rev. 1.1.
40				Opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom	
	40.1			Proizvodnja i distribucija električne energije	
		40.11		Proizvodnja električne energije	40.11
			40.11.0	Proizvodnja električne energije	
		40.12		Prijenos električne energije	40.12
			40.12.0	Prijenos električne energije	
		40.13		Distribucija i trgovina električnom energijom	40.13
			40.13.0	Distribucija i trgovina električnom energijom	
	40.2			Proizvodnja plina, distribucija plinovitih goriva distribucijskom mrežom	
		40.21		Proizvodnja plina	40.21
			40.21.0	Proizvodnja plina	
		40.22		Distribucija i trgovina plinovitim gorivima distribucijskom mrežom	40.22
			40.22.0	Distribucija i trgovina plinovitim gorivima distribucijskom mrežom	
	40.3			Opskrba parom i toplom vodom	
		40.30		Opskrba parom i toplom vodom	40.30
			40.30.0	Opskrba parom i toplom vodom	

IZMJENE I DOPUNE PRAVILNIKA O NOSTRIFIKACIJI PROJEKATA

U veljači ove godine donesen je novi **Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o nostrifikaciji projekata**. Izmjene se odnose na Pravilnik o nostrifikaciji projekata objavljen u Narodnim novinama broj 98/99. Izmjene i dopune objavljene su u Narodnim novinama broj 29 od 26. veljače 2003. godine.

Izmjene i dopune odnose se na članke 13., 14. i 15. Pravilnika o nostrifikaciji projekata.

Prema članku 2. Izmjena mijenja se postojeći tekst članka 13. u broju zaposlenih i njihovoj kvalifikaciji i dopunjuje novim tekstom, pojašnjavajući radno iskustvo i nadležnosti

Stručnog odbora za poslove nostrifikacije. Tako kompletna izmjena, odnosno članak 13. glasi:

«(1) Ovlaštenje za nostrifikaciju za jedno ili više područja projektiranja daje se pravnoj osobi registriranoj za projektiranje koja ima uposlena najmanje dva ovlaštena arhitekta i/ili dva ovlaštena inženjera iste struke za koje se područje ovlaštenje traži s najmanje deset godina radnog iskustva u projektiranju i koji su projektirali građevine osobite složenosti.

(2) Radnim iskustvom u projektiranju u smislu ovog Pravilnika smatra se radno iskustvo stečeno u projektiranju u svojstvu projektanta, glavnog projektanta, odnosno projektanta voditelja, koordinatora projekta ili odgovornog projektanta prema propisima koji su važili prije početka primjene Zakona o gradnji (»Narodne novine«, broj 52/99, 75/99 i 117/01).

SBK

(3) O stupnju složenosti građevina Stručni odbor za poslove nostrifikacije odlučuje u postupku davanja mišljenja«.

Prema članku 3. Izmjena se odnosi na članak 14. stavak 2 podstavak 3. u zahtjevima za davanje i produženje ovlaštenja za nostrifikaciju.

Umjesto postojećeg teksta: “3. popis uposlenih ovlaštenih projektanata s popisom značajnih projekata i radova u čijoj su izradi sudjelovali “ novi tekst glasi:

»3. Popis uposlenih ovlaštenih arhitekata i/ili ovlaštenih inženjera s popisom značajnih projekata koje su izradili u svojstvu projektanta, glavnog projektanta, odnosno projektanta voditelja, koordinatora projekta ili odgovornog projektanta«.

Iza ovog podstavka dodaju se novi podstavci 4. i 5. koji glase:

»4. **Dokaz o upisu ovlaštenih arhitekata ili ovlaštenih inženjera u Imenik ovlaštenih arhitekata i/ili imenike ovlaštenih inženjera Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu.**

5. **Dokaz da su ovlašteni arhitekti i/ili ovlašteni inženjeri uposleni u pravnoj osobi koja je podnijela zahtjev za ovlaštenje za nostrifikaciju.**«

Iza podstavka 4. koji postaje podstavak 6. dodaje se novi podstavak 7. koji glasi: »7. **i druge dokaze po potrebi.**«

Prema članku 4. Izmjena mijenja se članak 15., pa se umjesto riječi "ministar prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja" zamjenjuje riječima

"**ministar zaštite okoliša i prostornog uređenja**"

Osim toga u istom članku iza stavka 4. dodaju se novi stavci 5. i 6. koji glase:

»(5) **Ministarstvo vodi evidenciju o danim ovlaštenjima za nostrifikaciju i odbijenim zahtjevima za davanje i produženje ovlaštenja za nostrifikaciju.**

(6) **Popis ovlaštenih pravnih osoba za nostrifikaciju objavljuje se u »Narodnim novinama«.**

Članak 5. ovih Izmjena utvrđuje da postupak pokrenut po odredbama Pravilnika o nostrifikaciji projekata (»Narodne novine«, broj 98/99) do stupanja na snagu ovoga Pravilnika dovršit će se po odredbama ovoga Pravilnika.

SBK

IZ NACIONALNOG PROGRAMA ZA PRIDRUŽIVANJE EUROPSKOJ UNIJI

U Narodnim novinama broj 30 od 27. veljače 2003. godine objavljen je **Nacionalni program Republike Hrvatske za pridruživanje Europskoj uniji 2003. godine.**

Od potpisivanja Sporazuma o stabilnosti i pridruživanju (SSP) u listopadu 2001. godine Vlada Republike Hrvatske počela je ispunjavati preuzete obveze. Donesen je Plan provedbe SSP-a, čija je svrha osiguranje sustavne provedbe niza politika kojima se potiču reforme sadržane u SSP-u i u

Privremenom Sporazumu. Plan je glavni instrument planiranja, praćenja i izvješćivanja o provedbi SSP-a za cijelo razdoblje do 2006. godine. Dokument trenutno obuhvaća više od 370 zakonodavnih, analitičkih, institucionalnih mjera te mjera vezanih uz pripremu projekata za tehničku pomoć. Kako bi se osiguralo pravodobno ostvarenje Plana, uspostavljeni su i mehanizmi za praćenje i izvješćivanje.

Kako bi se ostvarili postavljeni ciljevi, nužno je izraditi cjelovitu strategiju približavanja Europskoj uniji, koja će buduće članstvo u EU tretirati ne samo kao cilj, već i kao sredstvo čija je zadaća ubrzati i učiniti kvalitetnim sve prilagodbe. Takav pristup prihvaćen je u Nacionalnom programu RH za pridruživanje Europskoj uniji.

Određivanje prioriteta u Nacionalnom programu temelji se na nekoliko izvora:

– Operativni plan provođenja Programa Vlade RH 2002. – 2003.

– Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju

– Plan provedbe sporazuma

– Ocjena napretka RH iz Izvješća Europske komisije

– Suradnja s Delegacijom Europske komisije u RH i dr.

Na taj način Nacionalni program odražava spremnost RH da, putem provedbe konkretnih mjera, ostvari kartkoročne i srednjoročne prioritete u procesu približavanja Europskoj uniji, s naglaskom na 2003. godinu.

Shodno situaciji Nacionalni program usmjeren je na nekoliko tema:

– Ispunjavanje političkih uvjetovanih kriterija

– Gospodarske prilagodbe

– Usklađivanje zakonodavstva RH

– Jačanje administrativne sposobnosti za provedbu reformi

– Komunikacijska strategija RH za informiranje hrvatske javnosti o približavanju europskim integracijama.

U petom poglavlju Nacionalnog programa sadržane su gospodarske prilagodbe. Glavni makroekonomski ciljevi u srednjoročnom i dugoročnom razdoblju su:

– porast zapošljavanja, odnosno smanjenje nezaposlenosti

– porast životnog standarda.

SBK

KAKO ĆE IZGLEDATI SVJETSKI ELEKTROENERGETSKI SUSTAV 2020. ?

Na ovo pitanje nije lako dati odgovor. Treba imati na umu da se neće postići isto u razvijenim zemljama (zemlje OECD-a), zemljama u razvoju i zemljama u tranziciji. Prema potrošnji električne energije razvijene zemlje i zemlje u razvoju obuhvaćaju oko 90 %, dok na zemlje u tranziciji otpada oko 10 % od ukupne svjetske potrošnje.

Elektroenergetsku infrastrukturu u zemljama OECD-a čine prilično veliki elektroenergetski sustavi s prilično starim proizvodnim i prijenosnim kapacitetima. Tako npr. 1990. godine proizvodni kapaciteti stariji od 30 godina čine oko 12 % od ukupnih kapaciteta OECD zemalja. Taj udio u 2000. godini porastao je na 31 %. Danas se predviđa da će taj udio u 2010. godini iznositi 50 %. Istodobno će udio proizvodnje električne energije u elektranama s fosilnim gorivom s prosječnom termičkom efikasnošću od 35 % iznositi oko 65 %. Da bi se povećala efikasnost bit će potrebno obaviti rekonstrukcije i zamjene efikasnijom opremom.

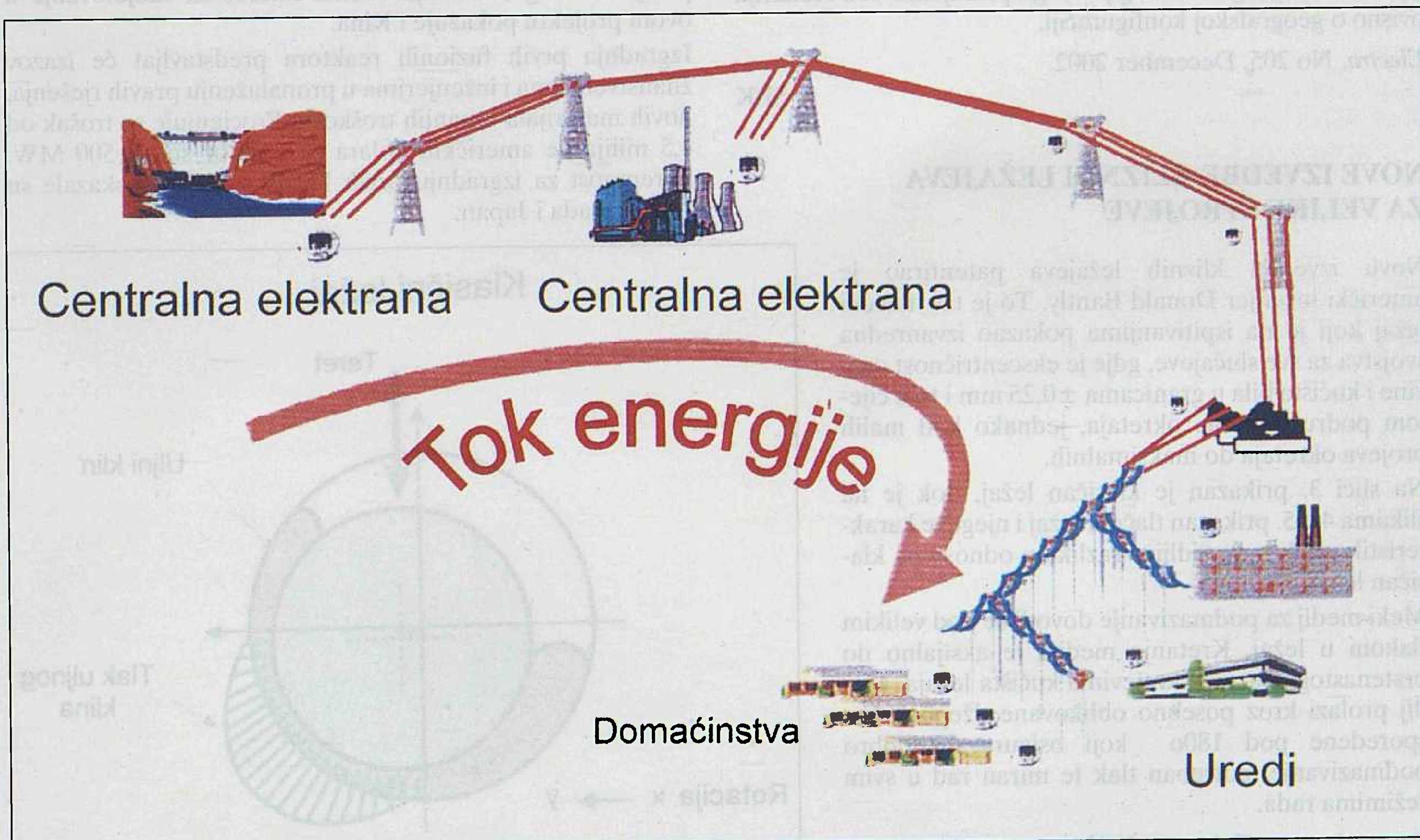
Kod prijenosa je sličan slučaj samo s još starijim postrojenjima. I ovdje je potrebno obaviti rekonstrukcije i zamjene. Uza povećanje energetske efikasnosti, potrebno je postići i određene standarde utjecaja na okoliš. Uza sve to ne smije se izostaviti i liberalizacija elektroenergetskog tržišta i problemi koje treba riješiti (prekogranični prijenos itd.).

U zemljama u razvoju promoviraju se programi elektrifikacije. Porast potrošnje električne energije važan je čimbenik koji će utjecati na trendove, naročito urbanizacije. Predviđa se da će urbana populacija u zemljama u razvoju rasti od 2,1 do 3,5 mili-

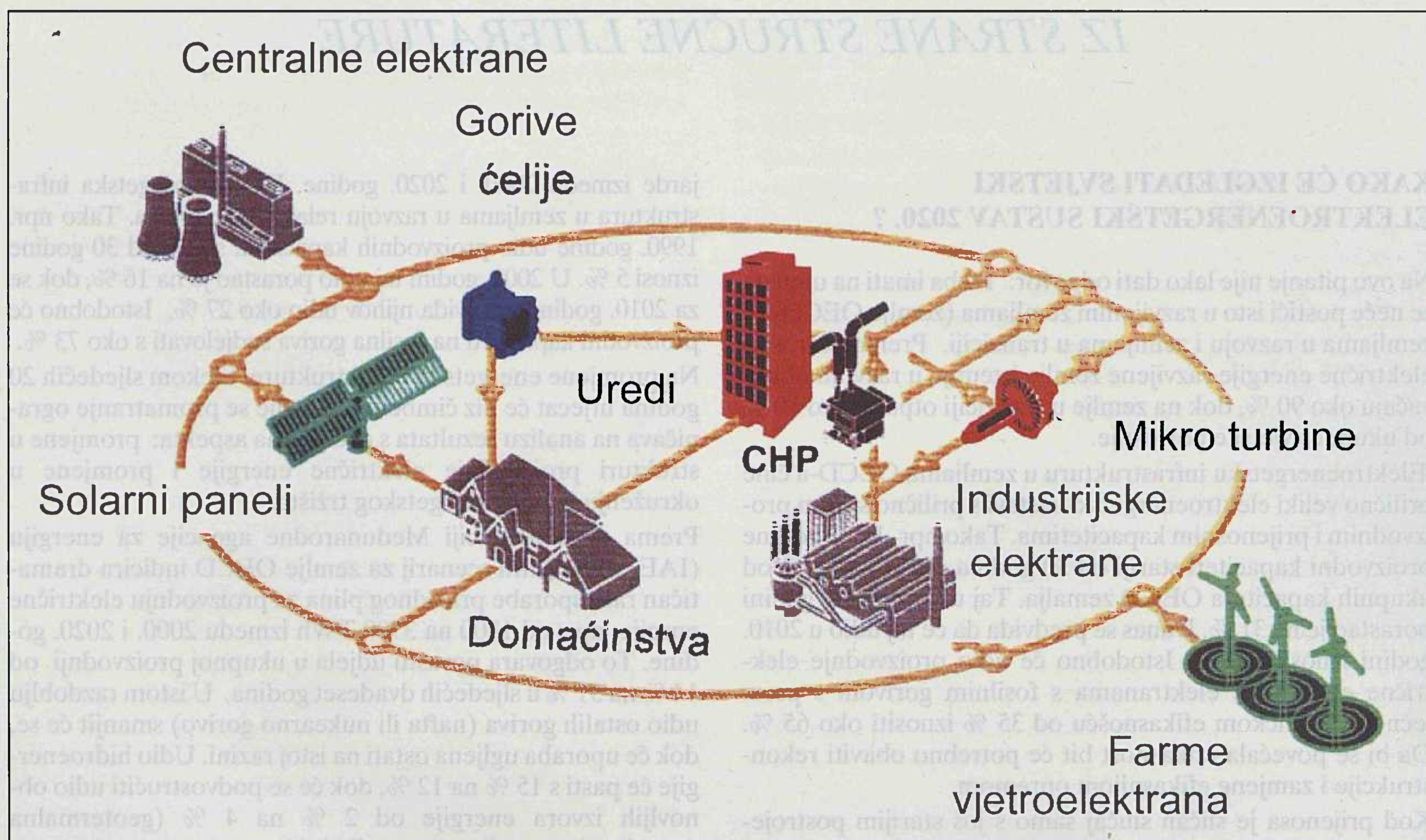
jarde između 2000. i 2020. godine. Elektroenergetska infrastruktura u zemljama u razvoju relativno je mlada. Tako npr. 1990. godine udio proizvodnih kapaciteta stariji od 30 godine iznosi 5 %. U 2000. godini taj udio porastao je na 16 %, dok se za 2010. godinu predviđa njihov udio oko 27 %. Istodobno će proizvodni kapaciteti na fosilna goriva sudjelovati s oko 73 %. Na promjene energetske infrastrukture tijekom sljedećih 20 godina utjecat će niz čimbenika. Ovdje se promatranje ograničava na analizu rezultata s dva glavna aspekta: promjene u strukturi proizvodnje električne energije i promjene u okruženju elektroenergetskog tržišta.

Prema dokumentaciji Međunarodne agencije za energiju (IAE), referentni scenarij za zemlje OECD indicira dramatičan rast uporabe prirodnog plina za proizvodnju električne energije, npr. od 1200 na 3700 TWh između 2000. i 2020. godine. To odgovara porastu udjela u ukupnoj proizvodnji od 14 % na 31 % u sljedećih dvadeset godina. U istom razdoblju udio ostalih goriva (nafta ili nuklearno gorivo) smanjit će se, dok će uporaba ugljena ostati na istoj razini. Udio hidroenergije će pasti s 15 % na 12 %, dok će se podvostručiti udio obnovljivih izvora energije od 2 % na 4 % (geotermalna energija, vjetar, solarna energija itd.).

Predviđa se da bi u 2002. godini bila moguća dva scenarija elektroenergetskog sustava. Prema prvom scenariju, još uvijek bi prevladala centralizirana proizvodnja električne energije. Taj scenarij bi se mogao nazvati distributivnim scenarijem (distribution scenario), jer se s jednog centraliziranog mjesta upravlja elektroenergetskim sustavom. Tok energije je preko prijenosne i distribucijske mreže do potrošača kako je prikazano na slici 1.



Slika 1.



Slika 2.

Drugi scenarij (mixtribution scenario) prema slici 2. karakteriziraju energetski sustavi s 20 do 30 % distribuirane proizvodnje, dok preostali dio čini centralizirana proizvodnja. Proizvodne jedinice su priključene na distribucijsku mrežu, pa su i tokovi energije kratki.

I jedan i drugi scenarij mogu se primijeniti i za zemlju i za regiju. Velike geografske regije mogu primijeniti oba scenarija ovisno o geografskoj konfiguraciji.

Electra, No 205, December 2002.

NOVE IZVEDBE KLIZNIH LEŽAJEVA ZA VELIKE STROJEVE

Novu izvedbu kliznih ležajeva patentirao je američki inženjer Donald Bantly. To je tzv. tlačeni ležaj koji je na ispitivanjima pokazao izvanredna svojstva za sve slučajeve, gdje je ekscentričnost osovine i kućišta bila u granicama $\pm 0,25$ mm i to u cijelom području broja okretaja, jednako kod malih brojeva okretaja do maksimalnih.

Na slici 3. prikazan je klasičan ležaj, dok je na slikama 4. i 5. prikazan tlačeni ležaj i njegove karakteristike iz čega je vidljiva razlika u odnosu na klasičan ležaj.

Meki medij za podmazivanje dovodi se pod velikim tlakom u ležaj. Kretanje medija je aksijalno do prstenastog izlaza na krajevima kućišta ležaja. Medij prolazi kroz posebno oblikovane džepove, raspoređene pod 180° koji osiguravaju dobro podmazivanje, potreban tlak te miran rad u svim režimima rada.

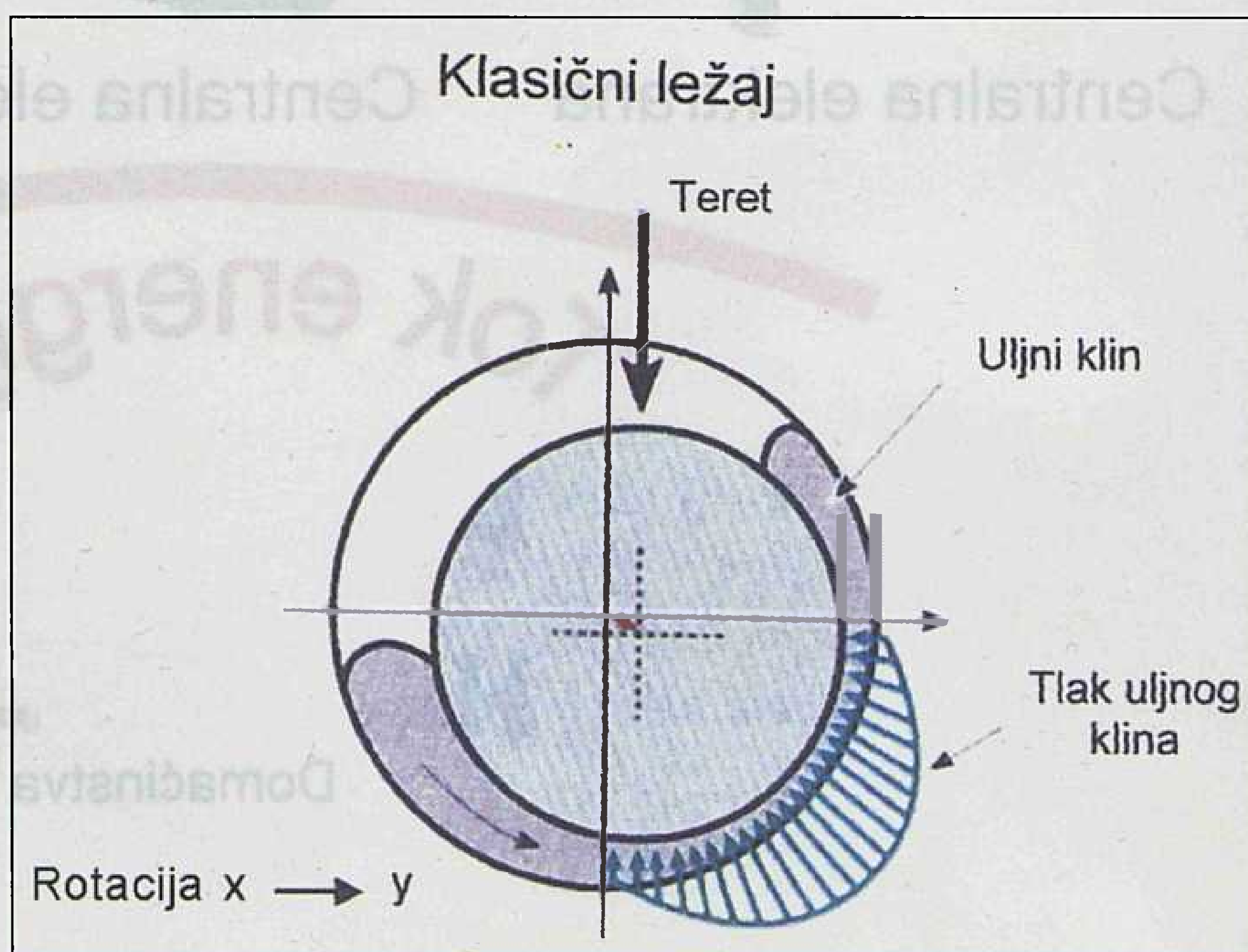
Power, January/February 2003.

SBK

ENERGIJA BUDUĆNOSTI – FUZIJA

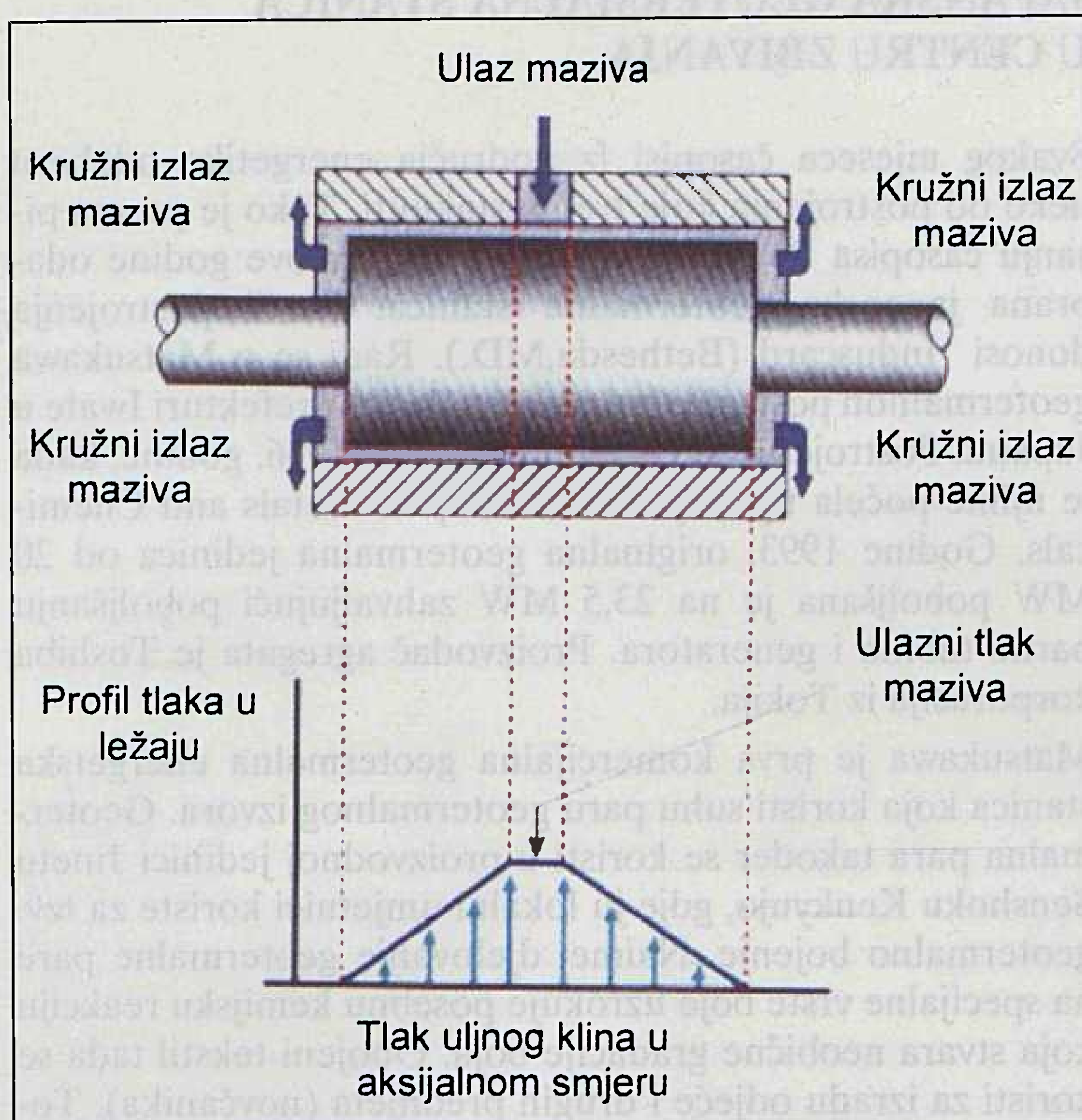
U srpnju 2001. godine, nakon četiri desetljeća napornih istraživanja i pokusa, završena je projektna dokumentacija za prvi međunarodni nuklearni reaktor ITER. U projektu su sudjelovali EU, Rusija, Japan, Kanada, SAD te mnoge kompanije iz drugih zemalja. Veliki interes za sudjelovanje u ovom projektu pokazuje i Kina.

Izgradnja prvih fuzionih reaktora predstavljat će izazov znanstvenicima i inženjerima u pronalaženju pravih rješenja, novih materijala i manjih troškova. Procjenjuje se trošak od 4,5 milijarde američkih dolara za reaktor snage 500 MW. Spremnost za izgradnju prvih ITER reaktora pokazale su EU, Kanada i Japan.



Slika 3.

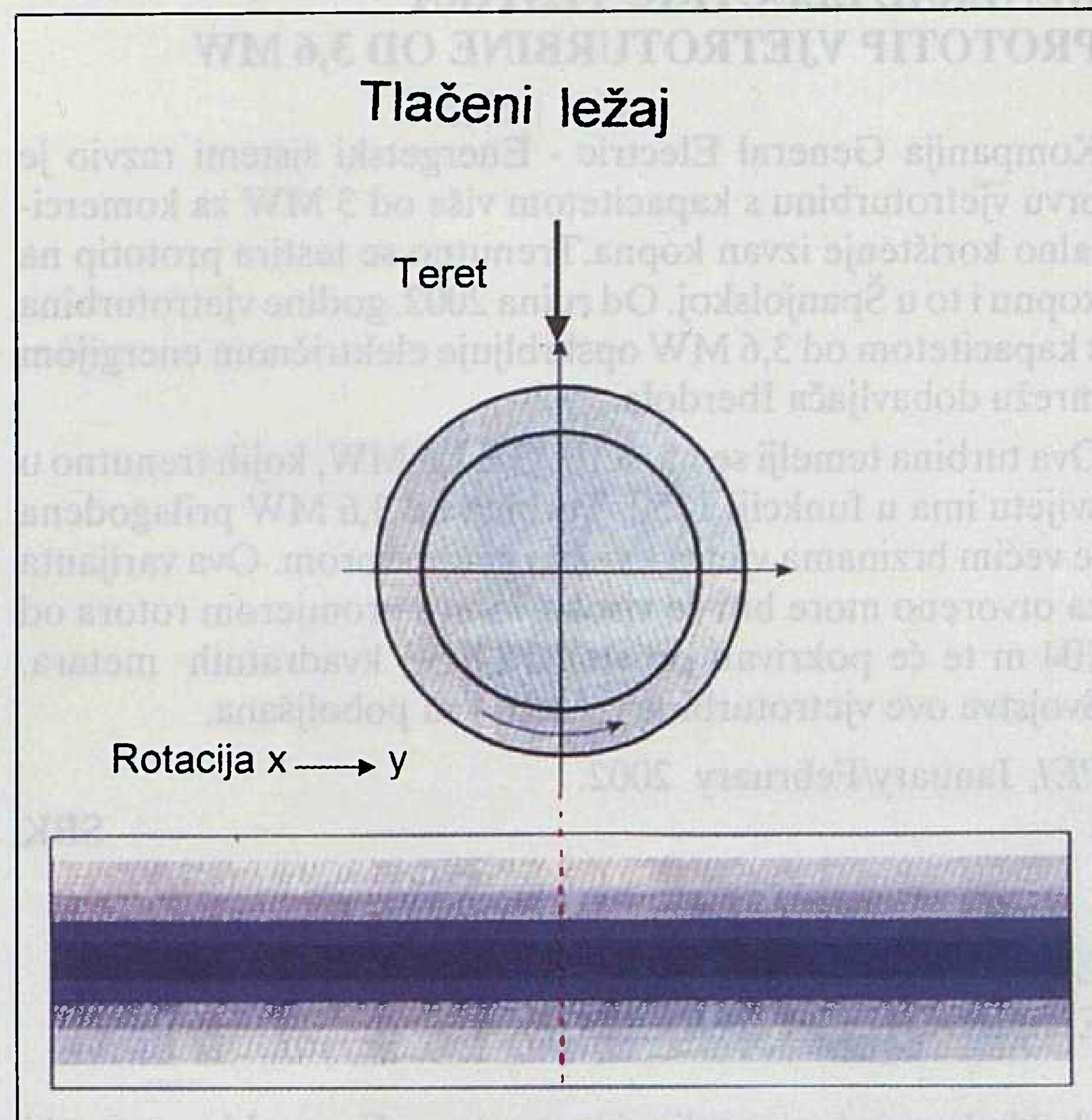
SBK



Slika 4.

Što pokazuju činjenice?

- **Tehnička izvedivost** – Proizvodnja energije fuzijom demonstrirana je kroz eksperimentalni reaktor od 16 MW. Ovaj pokusni reaktor potvrdio je njegovu tehničku izvedivost te komercijalnu uporabu. No, u operacionalizaciji projektiranog reaktora nužna su poboljšanja te pronalaženje novih materijala visoko otpornih na zračenje nisko aktivnih djelovanja neutrona. Sada projektirani materijali osiguravaju životni vijek reaktora od 10 do 20 godina.
- **Sigurnost** – Studije su pokazale da je fuzija u vrlo visokom stupnju sigurna za ljude i okoliš. Iniciranje i održavanje fuzione reakcije zahtijeva podržavanje velikog broja uvjeta i uređaja koji mogu kontrolirano prekinuti reakciju u slučaju potrebe. Količina energije koja se nalazi u fuzionom reaktoru nije dovoljna za havariju većih razmjera. Nuklearna reakcija odvija se između radioaktivnog deuterija i radioaktivnog tricija. Količina tricija u reaktoru je nedovoljna za veću havariju (poluvrijeme raspadanja tricija 12 godina.) Na kraju fuziono gorivo nije predmet uporabe u nuklearnom oružju, što umanjuje opasnost od terorističkog djelovanja.
- **Okoliš** – Za vrijeme rada fuzioni reaktor ne proizvodi stakleničke plinove i nema radioaktivnih ni toksičnih tvari. Unutrašnji zid reaktorske posude na koji djeluju neutroni može se reciklirati kao neopasan otpad nakon nekoliko desetljeća. Za očekivati je da će tijekom razvoja biti pronađeni novi materijali za zid posude reaktora koji će biti manje osjetljivi na utjecaj emisije neutrona.
- **Sigurnost u opskrbi** – Tricij, gorivo za fuziju uz deuterij, nastaje u samom reaktoru od litija. Litij je vrlo rasprostranjen u prirodi i ima nisku cijenu. Jedan nuklearni reaktor od 1000 MW, za jednu godinu rada, treba 100 kg deuterija i 4 tone litija, što odgovara energiji iz 2,1 milijun tona ugljena ili 10 milijuna barela nafte ili 100 tona urana.
- **Ekonomičnost** – Modeliranjem cijene reaktora te troškova zaštite okoliša i održavanja došlo se do podatka da će cijena električne energije iz fuzionog reaktora biti konkurentna cijeni energije iz drugih izvora. Posebno ne treba gubiti iz vida dvije činjenice:



Slika 5.

- Prvi reaktori potaknut će industriju na pronalaženje novih materijala koji će produžiti životni vijek reaktorske posude na 35 do 40 godina
- Izvori klasične energije (ugljen i nafta) postat će sve skuplji kako se budu smanjivale njihove rezerve.
- Društvena prihvatljivost – Rasti će u onoj mjeri u kojoj će odgovorna državna i društvena tijela upoznati stanovništvo s činjenicama dobivanja energije od fuzije.

Glavno pitanje koje se danas postavlja je, kada će energiju fuzije biti moguće koristiti u komercijalne svrhe. Gradnja prva tri do četiri ITER reaktora od 500 MW potrajat će oko deset godina, s vijekom eksploatacije od 10 do 20 godina. Realno je očekivati da će se poboljšanjima radni vijek produžiti na 35 godina. Proces eksploatacije ITER-ovih reaktora rezultirat će potpuno novom generacijom fuzionih reaktora koji će na širem planu biti spremni za proizvodnju energije oko 2050. godine.

Zašto je to još uvijek tako daleko? Prva istraživanja započeta su 1960. godine. Trebalo je rješavati teoretske postavke fizike plazme, jakih magnetskih polja itd. Danas je budućnost projekta na inženjerima koji trebaju razviti nove materijale te rješavati niz praktičnih tehnoloških problema. Naravno, treba osigurati i visoka ulaganja, približno 4 milijarde američkih dolara za jednu jedinicu.

Zašto ulagati u energiju fuzije? Evo, zašto:

- ne zagađuje zrak i okoliš
- ne proizvodi stakleničke plinove
- u slučaju havarije utjecaj na okoliš je vrlo ograničen
- svi se korišteni materijali mogu reciklirati, materijal reaktora je moguće reciklirati kao bezopasan otpad nakon 30 do 40 godina
- nuklearno gorivo ima poluvijek raspada 12 godina te otpada potreba za specijalnim skladištima, za usporedbu plutonij iz atomskih (fizionih) reaktora ima poluvijek raspada 6.000 godina (vrijeme čuvanja otpada).

ETPC Paper, No 01/2003. (www.iea.org)

SBK

GENERAL ELECTRIC TESTIRA PRÓTOTIP VJETROTURBINE OD 3,6 MW

Kompanija General Electric - Energetski sistemi razvio je prvu vjetroturbinu s kapacitetom više od 3 MW za komercijalno korištenje izvan kopna. Trenutno se testira prototip na kopnu i to u Španjolskoj. Od rujna 2002. godine vjetroturbina s kapacitetom od 3,6 MW opskrbljuje električnom energijom mrežu dobavljača Iberdola.

Ova turbina temelji se na seriji GE 1,5 MW, kojih trenutno u svijetu ima u funkciji 1150. Turbina od 3,6 MW prilagođena je većim brzinama vjetra s većim generatorom. Ova varijanta za otvoreno more biti će visoka 75 m s promjerom rotora od 104 m te će pokrivati prostor od 8495 kvadratnih metara. Svojstva ove vjetroturbine izuzetno su poboljšana.

PEI, January/February 2002.

SBK

LIBERALIZACIJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE I PLINA U EUROPI

U skladu s već napravljenim nacrtom, Europski energetski savjet dogovorio se 25. studenog 2002. godine oko pitanja vezanih za liberalizaciju tržišta plina i električne energije. Ranije, iste godine, Energetsko vijeće sastalo se u Barceloni zajedno s ministrima za energiju Europske unije, kada su se dogovorili o pridržavanju preuzetih obveza. Države članice imaju 15 mjeseci za provođenje legislativnog paketa u svojoj zemlji.

Glavne točke dogovora bile su:

- Krajnji rok za liberalizaciju tržišta EU za električnu energiju i plin za komercijalne korisnike je srpanj 2004. godine
- Krajnji rok za liberalizaciju tržišta EU za električnu energiju i plin za sve ostale korisnike uključujući kućanstva je srpanj 2007. godine
- Pravno razdvajanje između proizvođača električne energije i operatora mreže mora se učiniti do srpnja 2007. godine
- U siječnju 2006. godine Europska komisija će izraditi izvješće o primjeni direktive te predložiti nužne promjene
- Prilaz rezervama plina bit će reguliran temeljem pregovora
- Obveza da se energija dopremi po razumnim cijenama primijeniti će se na sve potrošače – kućanstva, ali postoji mogućnost da se to proširi i na mala i srednja poduzeća
- Regulatorno tijelo država članica bit će odgovorno za određivanje troškova distribucije i za osiguranje provođenja odluka
- Regulacija uvjeta za pristup električnoj mreži bit će provedena do srpnja 2004. godine.

Ovaj je dogovor došao u pravom trenutku za Veliku Britaniju, pogotovo onaj dio vezan za odgovor na nedavni konzultacijski memorandum o brizi za cijenu plina i moguće promjene u efikasnosti tržišta, koji je objavila tvrtka DTI 14. listopada 2002. godine. DTI shvaća utjecaj cijene plina na konkurentnost industrije te vjeruje da bi daljnja liberalizacija tržišta plina i električne energije u EU donijele znatne dobrobiti i za industriju i za potrošače kroz povećanu konkurentnost. Stoga DTI podržava akciju Energetskog Vijeća.

Energy Markets, January 2003.

SBK

JAPANSKA GEOTERMALNA STANICA U CENTRU ZBIVANJA

Svakog mjeseca časopisi iz područja energetike odaberu neko od postrojenja koje treba istaknuti. Tako je prema pisanju časopisa *Power* za siječanj i veljaču ove godine odabrana japanska geotermalna stanica. Profil postrojenja donosi Induscard (Bethesda, MD.). Radi se o Matsukawa geotermalnom postrojenju koje se nalazi u prefekturi Iwate u Japanu. Postrojenje je započelo s radom 1966. godine, kada je njime počela upravljati tvrtka Japan Metals and Chemicals. Godine 1993. originalna geotermalna jedinica od 20 MW poboljšana je na 23,5 MW zahvaljujući poboljšanju parne turbine i generatora. Proizvođač agregata je Toshiba korporacija iz Tokija.

Matsukawa je prva komercijalna geotermalna energetska stanica koja koristi suhu paru geotermalnog izvora. Geotermalna para također se koristi u proizvodnoj jedinici Jinetu Senshoku Kenkyujo, gdje ju lokalni umjetnici koriste za tzv. geotermalno bojenje. Naime, djelovanje geotermalne pare na specijalne vrste boje uzrokuje posebnu kemijsku reakciju koja stvara neobične gradacije boja. Obojeni tekstil tada se koristi za izradu odjeće i drugih predmeta (novčanika). Topla voda iz postrojenja također se koristi u brojnim kupeljima u području oko Hachimamantaia i planine Iwate u sjevernom Tohokuju.

Power, January/February 2003.

SBK

PRIKLJUČIVANJE SUSTAVA GORIVIH ČELIJA NA LOKALNU MREŽU

Istraživački centar iz Houstona nedavno je objavio uključivanje stanice gorivih čelija od 5 kW u lokalnu mrežu. Stanicu je izradila kompanija Plug Power. Vjeruje se da je to prvi veliki sustav za razmjenu energije u Texasu koji je priključen na mrežu javne korporacije.

Trenutno Istraživački centar testira sustav kao dio demonstracijskog projekta. Svrha ovog testiranja je da se prouči mogu li kućanstva u budućnosti sigurno proizvoditi vlastitu energiju te na taj način postići smanjenje emisije štetnih plinova.

Power, January/February 2003.

SBK

NACIJE EUROPSKE UNIJE SUGLASNE OKO OTVARANJA TRŽIŠTA ENERGIJE

Ministri za energiju Europske unije, na sastanku u Bruxellesu, postigli su dogovor da se dopusti kućanstvima u EU da sami odaberu svoje dobavljače električne energije i plina od srpnja 2007. godine. Datum koji je dogovoren za liberalizaciju domaćeg tržišta energije, pomaknut je za 2 godine u odnosu na početni rok.

EU je pregovarala 10 godina da bi postigla dogovor oko otvaranja energetskog tržišta. Francuska vlada, koja se borila kako bi sačuvala monopol tvrtke Electricite de France, utvrdila je da je potrebno više vremena za procjenu efekata liberalizacije energetskog sektora na cijenu i kvalitetu usluge prije, nego što se prijede na sektor kućanstava. Francuska se nalazi pod velikim pritiskom da prihvati kompromis.

Predsjednik Komisije EU Romano Prodi upozorio je na činjenicu da propast otvorenog tržišta energije može koštati europko gospodarstvo 15 milijardi eura godišnje.

Pozicija Francuske promijenila se nakon izbora dolaskom nove vladom desnog centra, koja oprezno favorizira više konkurentnosti u ovom sektoru.

Zahvaljujući Njemačkoj usporeno je odvajanje proizvodnje i prodaje od distribucije električne enrgije.

Power Energy International, December 2002.

SBK

NOVA OTKRIĆA NA PODRUČJU GORIVIH ČELIJA

Američki istaživači gorivih čelija izradili su pouzdanu gorivu čeliju na bazi čvrstog oksida (SOFC) za koju tvrde da može proizvesti električnu energiju jednako efikasno i jeftino kao i plinska tubina.

Istraživački tim iz laboratorija Berkeley tvrdi da se približavaju granici cijene od 400 dolara po KW.

Novi pronalazak ima umjesto keramičkih elektroda nehrđajuće čelične elektrode koje su snažne, lagane, jednostavne za proizvodnju i jeftine. Zbog toga vlada povećana potražnja ovih čelija u razvoju komercijalno održivih postrojenja za proizvodnju gorivih čelija.

PEI, December 2002.

SBK

BUGARSKA OSNAŽUJE PRIJENOSNE VEZE S TURSKOM

Dovršenje druge 400 kV prijenosne veze Sakar između Bugarske i Turske predstavlja pojačanje veza između dvije države. Ova veza povećat će razmjenu električne energije i osigurati Bugarskoj izvoz električne energije u Tursku.

Trenutna vrijednost izvoza je 4000 miliona kWh godišnje. Prijenosna veza, duga 150 km, spaja elektranu Maritsa Iztok 3 u Bugarskoj s postrojenjem Hamitabata u Turskoj.

Sakar linija također će pomoći da se osigura pouzdano funkcioniranje turske električne mreže paralelno s europskim elektroenergetskim sustavom.

PEI, November 2002.

SBK

MAĐARSKA PRODAJE PREKOGRANIČNA PRAVA

Mađarski operator sustava (Mavir) (u državnom vlasništvu) objavio je mogućnost prodaje prava korištenja viška mađarskih prekograničnih prijenosnih kapaciteta. Ova ponuda označava prvi korak u djelomičnoj liberalizaciji. Ova akcija se može promatrati kao proba za buduće sustave aukcije.

Operator mreže očekuje veliki interes mogućih ponuđača kao što su lokalne podružnice njemačkih kompanija RWE i EON te francuske tvrtke EDF koje su najveće energetske grupe u zemlji.

Prava, da se koriste prekogranični kapaciteti, omogućit će uvoz i tranzit električne energije u tri od sedam mađarskih susjeda: Austriju, Slovačku i Hrvatsku.

PEI, January/February 2003.

SBK

KAKVA JE PERSPEKTIVA NOVOG GOSPODARSTVA?

Novo gospodarstvo je u krizi te treba preispitati koje su to vrijednosti koje je ono donijelo. Zaključuje to predsjednik francuskog nacionalnog komiteta CIGRE.

Prije donošenja bilo kakvog zaključka potrebno je preispitati samu definiciju novog gospodarstva te u kakvom je odnosu s prijašnjim gospodarstvom.

Ako se koristi u najširem smislu, izraz novo gospodarstvo ne dozvoljava jednostavnu podjelu između tvrtki koje pripadaju novom gospodarstvu i onih koje pripadaju svijetu bivšeg gospodarstva.

Postoji li granica između gospodarstva temeljenog na informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji (ICT gospodarstvo) i gospodarstva temeljenog na tehnologijama koje se smatraju više tradicionalne? Na ovo pitanje svakako bi trebala naći odgovor industrija, energetska infrastruktura i prometne usluge.

Kada se pobliže promotri situacija može se primijetiti da informacijska i komunikacijska tehnologija ulazi i poboljšava sve sektore ljudske aktivnosti (projektiranje, proizvodnja). Da bi se proizvod stavio na tržište, potrebno je da se može integrirati u neprekinuti komunikacijski lanac unutar organizacijske hijerarhije.

To je bio povod da je francusko udruženje industrije GIMELEC Industries definiralo tri razine interpretacije odnosa između tradicionalnih tehnika i komunikacijskih tehnologija.

Sva energetska oprema te prometna infrastruktura, industrijski procesi ili bilo kakva oprema za tercijarni sektor prvenstveno se uzdaju u znanost i tehnologiju materijala. Potrebno je samo integrirati tehnološku inteligenciju u opremu i omogućiti joj komunikaciju.

Prva razina uvođenja komunikacijske tehnologije nazvana je **nova energetska i komunikacijska tehnologija (NETC)** koja omogućava praćenje vlastitog stanja opreme i postavljanja dijagnoze (motori, turbine, generatori, prekidači itd.).

Prijenos informacija na višu razinu omogućit će upravljanje održavanjem i troškovima, a također optimizirano korištenje opreme.

Druga razina nazvana **nova automatska i komunikacijska tehnologija (NACT)** sastoji se od integracije komunikacijske tehnologije u kompleksniji automatski sustav (energetska stanica, električna podstanica, itd.). NACT je operativni centar kompleksnog procesa. Komunikacijska tehnologija poboljšava tehničke performanse, a utječe i na investiranje u gospodarstvo.

Treća razina tzv. **nova informacijska i komunikacijska tehnologija (NICT)** nalazi svoju primjenu na području teledržavanja, održavanja mreža (voda, plin, električna energija), regulacije cestovne i željezničke mreže, elektronskog tržišta itd. NICT je alat za povezivanje između područja fizičkih procesa i procesuiranja podataka i potrošača.

Na području električne energije može se utvrditi da će zbog povećanja efikasnosti otvaranje tržišta biti moguće samo kada se ispune tri osnovna uvijeta:

- Nužan regulativni okvir
- Adaptacija proizvodnje i prijenosne infrastrukture
- Kontrola i sustav korištenja podataka moraju omogućiti balansiranje tržišta s procesima proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije.

Informacijska i komunikacijska tehnologija potpuno su promijenile organizacijske, proizvodne i marketinške metode.

Zahvaljujući visokom protoku informacija te projektiranju pomoću računala omogućuje se timovima odvojenim tisuće kilometara da rade zajedno na istim projektima u realnom vremenu.

Proizvodnja, potpomognuta računalima, omogućuje upravljačkoj strukturi praćenje fizičkih tokova materijala kao i organizaciju i proizvodnju temeljenu na pogonima koji su dislocirani. Razvoj e-mreže izbrisao je prostorne i vremenske granice. I to je još jedna karakteristika novog gospodarstva. Za zemlje koje su trenutno u fazi rekonstruiranja vlastitih industrijskih procesa, ove promjene predstavljaju izvanredne mogućnosti za uključivanje u vodeću svjetsku industriju. Primjer za to su Japan, Meksiko, Tajvan, Južna Koreja te nedavno Malezija.

Novo gospodarstvo ima budućnost, jer je njezina pokretačka snaga znanost i tehnologija.

Electra, broj 205, prosinac 2002.

SBK

PRVO PLOVEĆE NUKLEARNO POSTROJENJE

Rusija kreće u izgradnju prvog plovećeg nuklearnog postrojenja. Bit će prva zemlja koja će izgraditi ploveću nuklearnu elektranu do 2008. godine. Za tu svrhu gradi se brod u sjevernoj regiji Arkhangelska. S instaliranim kapacitetom od 70 MW moći će opskrbljivati grad Severodvinsk s 250 tisuća stanovnika. Predviđa se da će troškovi izgradnje ovog postrojenja iznositi između 100 i 200 milijuna američkih dolara. Izgradnja će trajati između 4 i 5 godina.

Postrojenje će biti smješteno na otvorenom moru s mogućnošću premještanja u slučaju potrebe. Takve nuklearne elektrane opskrbljivat će u bližoj budućnosti više ruskih regija uključujući Sakhalin i Kamchatku.

Za ovu tehnologiju zainteresirana je i Kina.

Power Engineering International, December 2002.

SBK

Kada se pobliže promotri situacija može se primijetiti da industrijska i komunikacijska tehnologija (proizvodnja) sve sektore ljudske aktivnosti (projektiranje, proizvodnja) da bi se proizvod stavio na tržište, potrebno je da se može integrirati u neprerivnu komunikacijsku mrežu. To je bio povod da je francusko udruženje industrije GIMEC EC Industries definiralo tri razine integracije od nosa između tradicionalnih tehnika i komunikacijskih tehnologija.

Sva energetska oprema te prometna infrastruktura, industrijski procesi ili bilo kakva oprema za različitom sektoru prvenstveno se ugrađuju u znanost i tehnologiju materijala. Potrebno je samo integrirati tehnološku inteligenciju u opremu i omogućiti joj komunikaciju.

Prva razina uvođenja komunikacijske tehnologije nazvana je nova energetska i komunikacijska tehnologija (NETC) koja omogućava praćenje vlastitog stanja opreme i postavljanje dijagnoze (motori, turbine, generatori, prekidači itd.). Prijenos informacija na višu razinu omogućit će upravljanje održavanjem i troškovima, a također optimizirano korištenje opreme.

Druga razina nazvana nova automatska i komunikacijska tehnologija (NACT) sastoji se od integracije komunikacijske tehnologije u kompleksniji automatski sustav (energetska stanica, električna podstanica, itd.). NACT je operativni centar kompleksnog procesa. Komunikacijska tehnologija poboljšava tehničke performanse, a utječe i na investiranje u gospodarstvo.

Treća razina tzv. nova informacijska i komunikacijska tehnologija (NICT) nalazi svoju primjenu na području proizvodnje, održavanja, održavanja mreža (voda, plin, električna energija), regulacije cestovne i željezničke mreže, električnog sklop tržišta itd. NICT je alat za povezivanje između podružnih i procesuiranja podataka i potrošača.

Na području električne energije može se utvrditi da će zbog povećanja efikasnosti stvaranje tržišta biti moguće samo kada se ispune tri osnovna uvjeta:

- Nužan regulativni okvir
- Adaptacija proizvodnje i prijenosne infrastrukture
- Kontrola i sustav korištenja podataka motaju omogućiti balansiranje tržišta s procesima proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije.

Informacijska i komunikacijska tehnologija potpuno su promijenile organizacijske, proizvodne i marketinške metode.

SBK

BUGARSKA OSNAŽUJE PRIJENOSNE VEZE S TURSKOM

Dvadesetlje drugo 400 kV prijenosne veze Sakar između Bugarske i Turske predstavljaju pojačanje veza između dvije države. Ova veza povećat će razmjenu električne energije i osigurati Bugarskoj izvoz električne energije u Tursku. Trenutna vrijednost izvoza je 4000 milijuna kWh godišnje. Prijenosna veza, duga 120 km, spaja elektranu Maritsa izok 3 u Bugarskoj s postrojenjem Hamitabasi u Turskoj.

Sakar linija također će pomoći da se osigura pouzdana funkcionalnost turske električne mreže paralelno s europskim električnim sustavom.

EEA, November 2002.

SBK

MAĐARSKA PRODAJE PNEUMATSKA PRAVA

Mađarski operator sustava (Mavir) (u državnom vlasništvu) objavio je mogućnost prodaje prava korištenja viška mađarskih prekograničnih prijenosnih kapaciteta. Ova ponuda omogućava prvi korak u djelomičnoj liberalizaciji. Ova akcija se može promatrati kao proba za buduće sustave aukcije.

Operator mreže očekuje veliki interes mogućih ponudaka kao što su lokalne podružnice njemačkih kompanija RWE i E.ON te francuske tvrtke EDF koje su najveće energetske grupe u zemlji.

Prava, da se koriste prekogranični kapaciteti, omogućit će uvoz i izvoz električne energije u tri od sedam mađarskih susjednih država: Austriju, Slovačku i Hrvatsku.

EEA, January/February 2003.

SBK

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

	ENERGIJA 1430 UDK 621.0.310:621.391.22 PREGLEDNI ČLANAK ENERGIJA 52/2003/2, 151 – 158 PREGLED KARAKTERISTIKA ŠUMA NA PLC MEDIJU Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing. HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska Daje se pregled dosadašnjih spoznaja o šumu prisutnom na PLC mediju, bilo na vanjskoj ili unutarnjoj mreži, baziran na literaturi [1 – 12]. Poznavanje svojstava šuma na prijenosnom mediju omogućuje teoretsku evaluaciju, simulaciju i eksperimentalno utvrđivanje otpornosti pojedinog komunikacijskog sustava na ukupni šum prisutan na mediju, a posjedovanje odgovarajućeg modela šuma omogućuje optimizaciju komunikacijskog sustava tijekom njegovog razvoja. (Lit. 12, sl. 7 – original na hrvatskom jeziku) Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/ 151 – 158/2003.
	ENERGIJA 1431 UDK 621.311.1.203 STRUČNI ČLANAK ENERGIJA 52/2003/2, 93 – 103 MOGUĆE OPCIJE RAZVOJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HRVATSKOJ Dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska Proces restrukturiranja elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj i uvođenje tržišnih odnosa praktički je započeo stupanjem na snagu paketa novih energetske zakona početkom 2002. godine. Različite opcije operativne implementacije ovog procesa u Hrvatskoj, kao i moguće posljedice na rad elektroenergetskog sustava nalažu vrlo pažljivo promišljanje i argumentirani odabir modela koji će biti primjereni zatečenim okolnostima u elektroenergetskom sektoru, te širim gospodarskim i razvojnim interesima. U ovom članku dano je jedno sažeto autorsko viđenje i ocjena trenutne situacije u Hrvatskoj, te mogući pravci daljnjeg razvoja. (Lit. 23, sl. 4 – original na hrvatskom jeziku) Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/93 – 103/2003.
	ENERGIJA 1432 UDK 697.34:621.311.22 STRUČNI ČLANAK ENERGIJA 52/2003/2, 105 – 114 ODREĐIVANJE NAJNIŽE CIJENE PARE ZA PROIZVODNJU TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE Vedran Uran, dipl. ing. "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska U radu je postavljen matematički model za određivanje najniže cijene pare po jedinici eksergije metodom optimizacije. Model se temelji na termoekonomske parametrima kao što su cijena, troškovi, eksergetski protok pojedinih fluida energetske sustava, te cijena, troškovi, eksergetski stupanj djelovanja komponenti postrojenja energetske sustava ili samog postrojenja. Postavljeni matematički model testiran je na primjeru protutlačnog parnoturbinskog postrojenja pogonjenog drvnim biomasom. Rezultat ovog rada jest utvrđeni kompromis između najniže cijene pare kao produkta razmatranog sustava u ovisnosti o njegovim godišnjim troškovima pri određenom vremenu rada postrojenja tog istog razmatranog sustava u godini dana. (Lit. 8, sl. 11 – original na hrvatskom jeziku) Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/105 – 114/2003.

ENERGIJA 1432

UDK 697.34:621.311.22

- 1. Određivanje najniže cijene pare za proizvodnju toplinske i električne energije
- I. *Uran, V.*
- II. "CASE" d.o.o., Štalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

Matematički model
Termoekonomske parametri
Godišnji troškovi
Cijena
Drvena biomasa

ENERGIJA 1431

UDK 621.311.1.203

- 1. Moguće opcije razvoja tržišta električne energije u Hrvatskoj
- I. *Goić, R.*
- II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska

Tržište električne energije
Restrukturiranje
Prijenosna mreža

ENERGIJA 1430

UDK 621.0.310:621.391.22

- 1. Pregled karakteristika šuma na PLC mediju
- I. *Sabolić, D.*
- II. HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Šum
PLC
Distribucijska mreža

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

	ENERGIJA 1433 UDK 621.311.21.005 PREGLEDNI ČLANAK ENERGIJA 52/2003/2, 141 – 144 POTISKIVANJA VIBRACIJA VRATILA AGREGATA A HE DUBRAVA ZASNOVANO NA DETALJNOJ DIJAGNOSTICI ROTORA <i>Duro Dvekar, dipl. ing.</i> HEP – Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Hrvatska <i>Branko Bajić, dipl. ing.</i> Korto Cavitation Services, Luksemburg, c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Hrvatska <i>Ivan Bacinger, dipl. ing. – Damir Magić, dipl. ing. – Josip Sabolek, dipl. ing.</i> HEP – Proizvodnja d.o.o., – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Hrvatska <i>Muharem Demirović, dipl. ing.</i> Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Hrvatska Opisuje se način potiskivanja vibracija vratila cijevnog agregata A HE Dubrava uzrokovanih labavljenjem zaklinjenog spoja polnog kotača i vratila. Provedeno je precizno namještanje polnog kotača na vratilo zasnovano na opsežnim dijagnostičkim ispitivanjima i detaljnoj analizi kinematike i dinamike rotora agregata. Položaj je fiksiran elementima koji su imuni na postojeći tip trošenja. (Lit. 2, sl. 5 – original na hrvatskom jeziku) Autori ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/141 – 144/2003.
	ENERGIJA 1434 UDK 621.316.1:621.3.083.5 STRUČNI ČLANAK ENERGIJA 52/2003/2, 127 – 140 OPTIMALNA VELIČINA I LOKACIJA UGRADNJE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA U PRIJENOSNOJ MREŽI HEP-a <i>Mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing. – mr. sc. Goran Majstrovic</i> Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska <i>Prof. dr. sc. Mislav Majstrovic, dipl. ing.</i> Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska Prezentira se analiza optimalne veličine i lokacije ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede, za planirani razvoj mreže u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju. Analiza je provedena na temelju matematičkog modela opisanog u članku 1435. Na osnovi velikog broja mogućih i očekivanih pogonskih stanja daje se prijedlog kompenzacije, te se analizira utjecaj pojedinih mjera i korištenja postojećih resursa radi održavanja naponskih prilika unutar dozvoljenih granica. (Lit. 14, sl. – – original na hrvatskom jeziku) Autori ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/127 – 140/2003.
	ENERGIJA 1435 UDK 621.3.083.5:621.316 IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK ENERGIJA 52/2003/2, 115 – 125 METODE ZA IZBOR OPTIMALNE VELIČINE KOMPENZACIJSKIH UREĐAJA <i>Prof. dr. sc. Mislav Majstrovic, dipl. ing.</i> Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića bb, 21000 Split, Hrvatska <i>mr. sc. Goran Majstrovic, dipl. ing. – mr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.</i> Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska Prezentira se matematički model za određivanje optimalne veličine i lokacije kompenzacijskih uređaja s aspekta naponskih prilika i blizine sloma napona u elektroenergetskom sustavu. Na temelju sva tri promatrana kriterija formira se jedna objektna funkcija, čije rješenje daje optimum, odnosno najpovoljnije lokacije i veličine kompenzacijskih uređaja radi zadovoljenja naponskih prilika, smanjenja gubitaka radne snage i izbjegavanja sloma napona. (Lit. 5, sl. 3 – original na hrvatskom jeziku) Autori ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/115 – 125/2003.

ENERGIJA 1435

UDK 621.3.083.5:621.316

- 1. Metode za izbor optimalne veličine kompenzacijskih uređaja
- I. Majstrović, M. – Majstrović, G. – Bajs, D.
- II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića bb, 21000 Split, Hrvatska – Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

Matematički model
Kompenzacijski uređaj
Naponske prilike
Gubici radne snage
Blizina sloma napona

ENERGIJA 1434

UDK 621.316.1:621.3.083.5

- 1. Optimalna veličina i lokacija ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a
- I. Bajs, D. – Majstrović, M. – Majstrović, G.
- II. Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska – Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Hrvatska

Kompenzacijski uređaj
Kratkoročno i srednjoročno razdoblje
Naponske prilike

ENERGIJA 1433

UDK 621.311.21.005

- 1. Potiskivanje vibracija vratila agregata A HE Dubrava zasnovano na detaljnoj dijagnostici rotora
- I. Dvekar, Đ. – Bajić, B. – Bacinger, I. – Magić, D. – Sabolek, J. – Demirović, M.
- II. HEP – Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Hrvatska – Korto Cavitation Services, Luksemburg, c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Hrvatska – Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Hrvatska

Vratilo
Polni kotač
Rotor
Vibracije
Dijagnostika

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

	ENERGIJA 1436 UDK 621.316.1.005 STRUČNI ČLANAK ENERGIJA 52/2003/2, 145 – 150 PRIMJERI MANJIH ZAHVATA U TEHNIČKO-IZVEDBENOM DIJELU DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA HEP-a KOJI REZULTIRAJU ZNAČAJNIM MATERIJALNIM UŠTEDAMA Ivo Santica, dipl. ing. HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Gundulićeva 42, 21000 Split, Hrvatska Distribucijski sustav obuhvaća 45-50 % materijalnih sredstava Hrvatske elektroprivrede (također se kaže da je u njemu sadržano i 90 % problema HEP-a). Svako pa i malo racionalnije tehničko rješenje u ovako složenom i velikom sustavu u konačnici rezultira znatnim materijalnim uštedama. U članku će biti prikazana samo dva primjera racionalnijih rješenja s pokazateljima materijalnih ušteda. Kao prvo, prikazat će se mogućnost korištenja temelja betonskog stupa kao uzemljivača u mrežama niskog napona, a kao drugo predložiti će se nešto racionalniji profil kablenskog kanala. (Lit. 6, sl. 4 – original na hrvatskom jeziku) Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/145 – 150/2003.

ENERGIJA 1436

UDK 621.316.1.005

1. Primjeri manjih zahvata u
tehničko-izvedbenom dijelu
distribucijskog sustava HEP-a koji
rezultiraju značajnim materijalnim
uštedama

*Uzemljivač
Betonski temelj
Kabelski kanal
Korekcijski faktor*

- I. *Santica, I.*
II. HEP Distribucija d.o.o. –
DP Elektrodalmacija, Gundulićeva 42,
21000 Split, Hrvatska

	ENERGIJA 1430 UDK 621.0.310:621.391.22 SUBJECT REVIEW ENERGIJA 52/2003/2, 151 – 158 INSPECTION OF NOISE CHARACTERISTICS ON PLC MEDIA <i>Dubravko Sabolić, M. Sc.</i> HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia A review of current developments on PLC media noise characteristics, both on the outside and the inside network is given, based on references 1-12. Knowledge of noise characteristics on transmission media enables theoretical evaluation, simulation and experimental determination of resistance of each communication system on the total noise found on the media, and the corresponding noise model enables communication system's optimization during its development. (No. of References: 12, Fig.: 7 – original in Croatian) <i>Author</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/151 – 158/2003.
	ENERGIJA 1431 UDK 621.311.1.203 PROFESSIONAL PAPER ENERGIJA 52/2003/2, 93 – 103 POSSIBLE OPTIONS OF ELECTRIC ENERGY MARKET DEVELOPMENT IN CROATIA <i>Ranko Gojić, D. Sc.</i> Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia Power system restructuring in Croatia and market introduction began in 2002 following the approval of a new energy laws package. Different options of operational implementation of this process in Croatia as well as possible consequences on the electric power system operation imply a careful analysis and reasonable choice of models corresponding to present circumstances in the power sector as well as to a wider economic and developmental interests. In the paper a short author's view is given as well as the evaluation of current situation in Croatia including possible development scenarios. (No. of References: 23, Fig.: 4 – original in Croatian) <i>Author</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/93 – 103/2003.
	ENERGIJA 1432 UDK 697.34:621.311.22 PROFESSIONAL PAPER ENERGIJA 52/2003/2, 105 – 114 DETERMINATION OF LOWEST STEAM PRICE FOR HEAT AND ELECTRIC ENERGY PRODUCTION <i>Vedran Uran, B. Sc.</i> "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia In the work a mathematical model for the lowest steam price determination by exergy unit using optimisation method has been given. The model is based on thermal-economic parameters such as price, costs, exergy flow of certain fluids of the energy system, as well as price, costs, exergy efficiency degree of energy system components or the system itself. The model has been tested on a condensed steam-turbine facility using wooden biomass as a fuel. The result of this work is a compromise between the lowest steam price as a product of the system observed depending on its annual costs, for a certain period of operation of the same system observed during a year. (No. of References: 8, Fig.: 11 – original in Croatian) <i>Author</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/105 – 114/2003.

ENERGIJA 1432

UDK 697.34:621.311.22

- 1. Determination of Lowest Steam Price for Heat and Electric Energy Production
- I. *Uran, V.*
- II. "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

Mathematical Model
Thermo-economic Parameters
Annual Costs
Price
Wooden Biomass

ENERGIJA 1431

UDK 621.311.1.203

- 1. Possible Options of Electric Energy Market Development in Croatia
- I. *Goić, R.*
- II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia

Electric Energy Market
Restructuring
Transmission Network

ENERGIJA 1430

UDK 621.0.310:621.391.22

- 1. Inspection of Noise Characteristics on PLC Media
- I. *Sabolić, D.*
- II. HEP Prijenos d.o.o., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

Noise
PLC
Distribution Network

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

	ENERGIJA 1433 UDK 621.311.21.005 SUBJECT REVIEW ENERGIJA 52/2003/2, 141 – 144 VIBRATION DECREASE OF HPP DUBRAVA AGGREGATE A AXLE BASED ON DETAILED ROTOR DIAGNOSTICS <i>Đuro Dvekar, B. Sc.</i> HEP – Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Croatia <i>Branko Bajić, B. Sc.</i> Corto Cavitation Services, Luxemburg , c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Croatia <i>Ivan Bacinger, B. Sc. – Damir Magić, B. Sc. – Josip Sabolek, B. Sc.</i> HEP-Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Croatia <i>Muharem Demirović, B. Sc.</i> Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Croatia The paper describes possible vibration decrease of tube aggregate A axle in HPP Dubrava caused by looseness of wedge-shaped connection between pole wheel and axle. A precise set of pole wheel on axle has been realized based on extensive diagnostic tests and detailed cynamic and dynamic analysis of rotor aggregate. The position has been fixed using elements immune to existing damage type. (No. of References: 2, Fig.: 5 – original in Croatian) Authors ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/141 – 144/2003.
	ENERGIJA 1434 UDK 621.316.1:621.3.083.5 PROFESSIONAL PAPER ENERGIJA 52/2003/2, 127 – 140 OPTIMAL SIZE AND LOCATION OF COMPENSATION EQUIPMENT INSTALLATION IN THE TRANSMISSION NETWORK OF HEP <i>Davor Bajs, M. Sc. – Goran Majstrovic, M. Sc.</i> Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia <i>Mislav Majstrovic, Prof. D. Sc.</i> Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia The paper offers the analysis of optimal size and location of compensation equipment installation in the transmission network of the Croatian Electric Company for planned short and mid-term period network development. The analysis has been conducted based on the mathematical model described in an earlier paper. Based on a huge number of possible and expected operation states the compensation proposal is given, the analysis of different measures as well as of the existing resource usage in order to maintain voltage within limits. (No. of References: 14, Fig.: – – original in Croatian) Authors ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/127 – 140/2003.
	ENERGIJA 1435 UDK 621.3.083.5:621.316 ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER ENERGIJA 52/2003/2, 115 – 125 METHOD FOR OPTIMAL CHOICE OF COMPENSATION EQUIPMENT SIZE <i>Mislav Majstrovic, Prof. D. Sc.</i> Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia <i>Davor Bajs, M. Sc. – Goran Majstrovic, M. Sc.</i> Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia Mathematical model for optimal choice of size and location of compensation equipment is presented from the aspect of voltage circumstances and vicinity of voltage breakdown in an electric power system. Based on three criteria the objective function is developed, resulting in the optimum, that is best location and size of compensation equipment to satisfy voltage circumstances, decrease losses of active power and avoid voltage breakdown. (No. of References: 5, Fig.: 3 – original in Croatian) Authors ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/115 – 125/2003.

ENERGIJA 1428

UDK 621.3.083.5:621.316

- | | |
|--|--|
| 1. Method for Optimal Choice of Compensation Equipment Size | <i>Mathematical Model
Compensation Equipment
Voltage Circumstances
Active Power Losses
Vicinity of Voltage Breakdown</i> |
| I. <i>Majstović, M. – Majstović, G. – Bajs, D.</i> | |
| II. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia – Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia | |

ENERGIJA 1434

UDK 621.316.1:621.3.083.5

- | | |
|--|--|
| 1. Optimal Size and Location of Compensation Equipment Installation in the Transmission Network of HEP | <i>Compensation Equipment
Short and Mid-Term Period
Voltage Circumstance</i> |
| I. <i>Bajs, D. – Majstović, G. – Majstović, M.</i> | |
| II. Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, 10000 Zagreb Croatia – Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, R. Boškovića b. b., 21000 Split, Croatia | |

ENERGIJA 1433

UDK 621.311.21.005

- | | |
|---|--|
| 1. Vibration Decrease of HPP Dubrava Aggregate A Axle Based on Detailed Rotor Diagnostics | <i>Axle
Pole Wheel
Rotor
Vibration
Diagnostics</i> |
| I. <i>Dvekar, Đ. – Bajić, B. – Bacioger, I. – Magić, D. – Sabolek, J. – Demirović, M.</i> | |
| II. HEP – Proizvodnja d.o.o. – Pogon HE Dubrava, 40362 Sveta Marija, Croatia – Corto Cavitation Services, Luxemburg, c/o Brodarski institut d.o.o. – Sektor za upravljanje sustavima i procesima, Avenija V. Holjevca 20, 10020 Zagreb, Croatia – Končar Generatori i motori, 10000 Zagreb, Croatia | |

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

	ENERGIJA 1436 UDK 621.316.1.005 PROFESSIONAL PAPER ENERGIJA 52/2003/2, 145 – 150 EXAMPLES OF SMALL INTERVENTIONS IN TECHNICAL AND OPERATIONAL PART OF HEP DISTRIBUTION NETWORK THAT RESULT IN SIGNIFICANT COST REDUCTIONS Ivo Santica, B. Sc. HEP Distribucija d.o.o. – DP Elektrodalmacija, Gundulićeva 42, 21000 Split, Croatia The distribution system contains 45-50 percent of material means of the Croatian Electric Power Company (some say 90 percent of problems, too). Each, even a small rational technical solution in such a complicated and huge system eventually brings significant cost reductions. In the paper only two examples of rational solutions are shown together with cost reduction. In the first, the possibility of a concrete tower used as a grounding system of low voltage system is shown, and in the second a more rational profile of cable channel is proposed. (No. of References: 6, Fig.: 4 – original in Croatian) Author ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/2/145 – 150/2003.

ENERGIJA 1436

UDK 621.316.1.005

1. Examples of Small Interventions in
Technical And Operational Part of HEP
Distribution Network that Result in
Significant Cost Reductions

Grounding Wire
Concrete Basement
Cable Channel
Correction Factor

- I. *Santica, I.*
II. HEP Distribucija d.o.o. – DP
Elektrodalmacija, Gundulićeva 42,
21000 Split, Croatia