



# Elektroprivreda

ČASOPIS ZAJEDNICE JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE • THE JOURNAL OF THE UNION OF YUGOSLAV  
ELECTRIC POWER INDUSTRY • REVUE DE L'UNION YOUGOSLAVE DE L'ELECTRICITE • ЖУРНАЛ ОБЪЕДИНЕННЫХ  
ЮГОСЛАВСКОГО ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА • ZEITSCHRIFT DES JUGOSLAWISCHEN ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Godina  
Year

LVII

Januar-Mart  
January-March

Broj  
No.

1

Sadržaj

Strana  
Page

Content

|  |           |  |
|--|-----------|--|
| <i>Zlatan Stojković, Predrag Vučetić,<br/>Momčilo Bubnjević, Andreja Mijalčić i Bojan Bjelanović</i>                             |           |  |
| <i>PRIMENA BAZA PODATAKA</i>   | <i>3</i>  | <i>DATABASE APPLICATION</i>  |
| <i>U PROJEKTOVANJU VISOKONAPONSKIH POSTROJENJA</i>   |           | <i>IN HIGH VOLTAGE SUBSTATIONS DESIGN</i>  |
| <i>Dragan P. Popović i Snežana V. Mijailović</i>   |           |  |
| <i>JEDAN PRILAZ UTVRĐIVANJU TOKA DEZINTEGRACIJE<br/>I OBNOVE POGONA</i>  | <i>20</i> | <i>AN APPROACH TO THE EVALUATION<br/>OF DISINTEGRATION AND RESTORATION</i>   |
| <i>ELEKTROENERGETSKIH INTERKONEKCIJA</i>   |           | <i>OF ELECTRIC POWER INTERCONNECTIONS</i>  |
| <i>Milenko B. Đurić i Goran Č. Đukić</i>   |           |  |
| <i>MODIFIKOVANI REKURZIVNI FOURIEROV ALGORITAM<br/>ZA MERENJE SNAGE OSNOVNIH HARMONIKA<br/>PERIODIČNIH SIGNALA</i>               | <i>32</i> | <i>ACTIVE AND REACTIVE<br/>POWER MEASUREMENT USING MODIFIED<br/>RECURSIVE FOURIER ALGORITHM</i>                                |
| <i>Goran Č. Đukić i Zoran Stojanović</i>   |           |  |
| <i>MODERNIZACIJA SISTEMA ZAŠTITE I UPRAVLJANJA<br/>HIDROELEKTRANE „ĐERDAP I”</i>   | <i>39</i> | <i>MODERNIZATION OF PROTECTION AND CONTROL SYSTEM<br/>OF HYDROPOWER PLANT „DJERDAP 1”</i>                                      |
| <i>Lidija Korunović i Dobrivoje Stojanović</i>   |           |  |
| <i>INDIKATORI KVALITETA NAPONA<br/>NEKIH NELINEARNIH POTROŠAČA<br/>NA PODRUČJU JP „ELEKTRODISTRIBUCIJA” NIŠ</i>                  | <i>46</i> | <i>POWER QUALITY INDICES<br/>OF SOME NONLINEAR LOADS IN THE AREA<br/>OF PUBLIC ENTERPRISE „ELEKTRODISTRIBUCIJA” NIŠ</i>        |
| <i>Jordan Radosavljević i Miroљub Jevtić</i>   |           |  |
| <i>UTICAJ DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE NA PADOVE<br/>NAPONA, TOKOVE SNAGA I GUBITKE SNAGE<br/>U RADIJALNOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI</i> | <i>58</i> | <i>THE EFFECT OF DISTRIBUTED GENERATION<br/>ON THE VOLTAGE DROP, POWER FLOW<br/>AND POWER LOSSES IN A DISTRIBUTION NETWORK</i> |
| <i>Dimitrije P. Nikolajević</i>  |           |  |
| <i>TOPLOTNE PUMPE KAO NAČIN RACIONALIZACIJE<br/>POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE</i>  | <i>66</i> | <i>HEAT PUMPS AS A WAY OF RATIONALIZATION<br/>OF ELECTRICAL CONSUMPTION</i>  |
| <i>Saša D. Milić,</i>  |           |  |
| <i>Dragan S. Kovačević, Stanko M. Đorđević i Mileša Ž. Srečković</i>   |           |  |
| <i>SISTEM ZA PRAĆENJE TEMPERATURE OSOVINSKIH<br/>LEŽAJEVA TERETNIH KOLA U POKRETU</i>  | <i>75</i> | <i>SYSTEM FOR MONITORING OVERHEATING<br/>IN AXLE-BOX OF TRAINS</i>   |
| <i>Žarko Markov</i>  |           |  |
| <i>O NUMERACIJI U TELEFONSKOJ MREŽI<br/>ELEKTROPRIVREDE SRBIJE</i>   | <i>85</i> | <i>ON THE NUMBERING SCHEME OF THE TELEPHONE NET-<br/>WORK OF THE SERBIAN ELECTRIC POWER INDUSTRY</i>                           |
| <i>Branislav A. Bošković</i>   |           |  |
| <i>OSTVARENJE ELEKTROENERGETSKOG BILANSA<br/>DRŽAVNE ZAJEDNICE SRBIJA I CRNA GORA U 2004. GODINI</i>                             | <i>90</i> | <i>REALIZATION OF THE POWER BALANCE OF THE STATE<br/>COMMUNITY SERBIA &amp; MONTENEGRO IN 2004</i>                             |

**IZDAVAČ:  
PUBLISHER:**

**ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE  
UNION OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER INDUSTRY**

11 000 Beograd, Balkanska 13

Telefon: 686-633, 643-823, 688-092, 2687-199 (centrala)

Telefaks: 686-398

Internet strana: [www.eps.co.yu](http://www.eps.co.yu); [www.epcg.cg.yu](http://www.epcg.cg.yu);

Elektronska pošta: [jugel@sezampro.yu](mailto:jugel@sezampro.yu)

**DIREKTOR I GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK  
DIRECTOR AND CHIEF EDITOR**

Branislav A. Bošković, dipl. ing.

**IZDAVAČKI SAVET  
PUBLISHING COUNCIL**

Branislav A. Bošković, dipl. ing., predsednik,

Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd;

Prof. dr Jeroslav Živanić, dipl. ing., član, predsednik Upravnog odbora JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Dr Duško Tubić, dipl. el. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Dr Slobodan Ružić, dipl. el. ing., član, Agencija za energetske efikasnost, inženjering i konsalting  
„Energy Saving Group”, Beograd;

Vladimir Vujović, dipl. el. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić;

Dragutin Martinović, dipl. el. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić;

**REDAKCIONI ODBOR**

**EDITORIAL BOARD**

Prof. dr Miroslav Benišek, dipl. maš. ing., član, Mašinski fakultet, Beograd;

Prof. dr Ilija Vujošević, dipl. el. ing., član, Elektrotehnički fakultet, Podgorica;

Prof. dr Branislav Đorđević, dipl. građ. ing., član, Građevinski fakultet, Beograd;

Prof. dr Jovan Nahman, dipl. el. ing., član, Elektrotehnički fakultet, Beograd;

Prof. dr Dragan Popović, dipl. el. ing., član, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd;

Prof. dr Dragutin Salamon, dipl. el. ing., član, Elektrotehnički fakultet, Beograd;

Dr Petar Vukelja, dipl. el. ing., član, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd;

Dr Veselin Ilić, dipl. el. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Mojkovac;

Dr Branko Stojković, dipl. el. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Nikšić;

Dr Duško Tubić, dipl. el. ing., predsednik, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Dr Rade Filipović, dipl. el. ing., član, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd;

Mr Dragan Vlasisavljević, dipl. el. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Mr Gojko Dotlić, dipl. el. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Mr Radmilo Ivanković, dipl. el. ing., član, Beograd;

Mr Miroslav Marković, dipl. el. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore”, AD, Nikšić;

Gojko Vlasisavljević, dipl. el. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Aleksandar Vlajčić, dipl. ing., član, pomoćnik ministra za rudarstvo i energetiku u Vladi Republike Srbije, Beograd;

Mihajlo Gavrić, dipl. građ. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Milan Jakovljević, dipl. rud. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Mladen Serventi, dipl. ek., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Vojislav Škundrić, dipl. el. ing., član, „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Momčilo Gojgić, dipl. pravnik, član, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd;

Lela Lončar, dipl. filolog, član, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd.

**TEHNIČKI UREDNIK  
TECHNICAL EDITOR**

Jovo Todorović dipl. teh.

**LEKTOR I PREVODILAC  
LINGUISTIC REVIEW  
& TRANSLATION**

Lela Lončar, dipl. filolog

**TEHNIČKI CRTAČ  
MAPS AND GRAPHICS**

Milanka Pejović,  
teh. crtač

CIP – Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

620.9  
621.31

**ELEKTROPRIVREDA** : časopis Zajednice  
jugoslovenske elektroprivrede / glavni i  
odgovorni urednik Branislav A. Bošković. –  
God. 1, br. 1 (1948)–. – Beograd  
(Balkanska 13) : Zajednica jugoslovenske  
elektroprivrede, 1948– (Beograd :  
Kultura). – 28 cm

Tromesečno  
ISSN 0013-5755 = Elektroprivreda  
COBISS.SR-ID 32023

Časopis „Elektroprivreda” izlazi kvartalno.

The „Elektroprivreda” journal is issued quarterly.

Časopis „Elektroprivreda” se izdaje u 2005. godini uz finansijsku pomoć  
Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije

The „Elektroprivreda” journal is published in 2005 with financial support of  
Ministry for Science, Technology and Development of the Republic of Serbia

Štampa: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Printed by: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Tiraž: 1 000 primeraka

Circulation: 1,000 copies

---

Zlatan Stojković, Predrag Vučetić,  
Momčilo Bubnjević, Andreja Mijalčić i Bojan Bjelanović

# Primena baza podataka u projektovanju visokonaponskih postrojenja

Stručni rad  
UDK: 621.311.17; 621.316.11

---

*Rezime:*

*U radu su prikazane neke mogućnosti primene baza podataka u projektovanju visokonaponskih postrojenja. Karakteristične vrednosti struja kvara, kao sastavni deo kriterijuma izbora visokonaponske opreme, proračunate su primenom klasičnog postupka i programskih alata Matlab / Simulink, Visual Basic for Applications i Visual Basic. Različiti tipovi baza podataka o visokonaponskoj opremi su urađeni primenom programa MS Excel i MS Access. Diskutovani su osnovni principi arhitekture baza podataka i formiranja kriterijuma filtriranja, zasnovanih na primeni programa MS Query i VBA. Ilustrovani su glavni elementi za pravilno kreiranje relacionih baza podataka u Accessu. Primena baza podataka je prikazana na primerima izbora visokonaponskih prekidača i rastavljača.*

**Ključne reči:** projektovanje pomoću računara, baza podataka, visokonaponsko postrojenje

---

*Abstract:*

**DATABASE APPLICATION IN HIGH VOLTAGE SUBSTATIONS DESIGN**

*The paper presents some possibilities of databases application to computer-aided design of high voltage substations. The typical values of fault currents, as the integral part of the high voltage equipment selection criteria, have been calculated by applying the classical approach and programming tools Matlab / Simulink, Visual Basic for Applications and Visual Basic. Different types of high voltage equipment databases have been made by applying MS Excel and MS Access. The fundamental principles of database architecture and the forming criteria of filtering, based on the application of the programs MS Query and VBA have been discussed. The basic elements for the Access relational databases design have been illustrated. Databases application is presented on the examples of high voltage circuit breakers and disconnectors selection.*

**Key words:** computer-aided design, database, high voltage substation

---

*Dr Zlatan Stojković, Vanredni profesor*

*– Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 11 120 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73*

*Predrag Vučetić, dipl. ing. el. – Narodna biblioteka Srbije, 11 000 Beograd, Skerlićeva 1*

*Momčilo Bubnjević, dipl. ing. el. – JP Direkcija za izgradnju i uređenje Pančeva, 26 000 Pančevo, Zmaj Jovina 4*

*Andreja Mijalčić, dipl. ing. el. – Saobraćajni institut CIP, 11 000 Beograd, Nemanjina 6*

*Bojan Bjelanović, dipl. ing. el. – Elektroprivreda Srbije, JP „Elektroistok“, 11 000 Beograd, Kneza Miloša 11*

## 1. UVOD

Izbor visokonaponske opreme je sastavni deo projektovanja elektroenergetskih postrojenja. Ovaj izbor se vrši na osnovu kriterijuma koji uključuju merodavne veličine mreže na mestu ugradnje opreme i naznačene odnosno dozvoljene vrednosti opreme [1].

Karakteristične vrednosti struje kvara predstavljaju deo kriterijuma izbora visokonaponske opreme. Ove vrednosti se mogu izračunati primenom različitih metodoloških postupaka [1,2] i programskih alata [3,4,5,6].

Postupak izbora visokonaponske opreme se može u potpunosti automatizovati formiranjem odgovarajućih baza podataka. Podaci se, umesto u obliku štampanih kataloga, čuvaju u logički organizovanim datotekama. Pravilno strukturirana baza podataka omogućava efikasno pronalaženje i izdvajanje onih podataka koji zadovoljavaju odgovarajuće kriterijume filtriranja.

Cilj ovog rada je ilustracija primene baza podataka u automatizaciji projektovanja visokonaponskih postrojenja. Celokupan postupak je prikazan na primerima izbora visokonaponskih prekidača i rastavljača. U radu su dati kriterijumi njihovog izbora. Na primeru dela elektroenergetskog sistema izvršen je proračun karakterističnih vrednosti struje kvara primenom različitih tehnika proračuna.

Pored klasičnog postupka proračuna [1,7], ilustrovane su prednosti primene programskih alata Matlab / Simulink [3,8,9], Visual Basic for Applications (VBA) [10] i Visual Basic (VB) [11].

Baze podataka o visokonaponskoj opremi urađene su korišćenjem programa MS Excel [12,13] i MS Access [14,15]. Date su definicije baze podataka, elektronske baze podataka i relacione baze podataka. U okviru primera u Excelu, navedeni su principi pravilno strukturiranih lista i postupaka formiranja kriterijuma filtriranja, zasnovanih na primeni programa MS Query i VBA. Na primeru primene Accessa, kao objektno orijentisanog sistema za upravljanje bazama podataka, dat je osvrt na najvažnije elemente u pravilnom kreiranju relacionih baza podataka.

Primena oba programa je ilustrovana na primerima izbora visokonaponskih prekidača i rastavljača.

## 2. KRITERIJUMI IZBORA VISOKONAPONSKE OPREME

Izbor visokonaponske opreme vrši se na osnovu kriterijuma koji uključuju merodavne veličine mreže na mestu ugradnje opreme i naznačene odnosno dozvoljene vrednosti opreme. Iz razloga ograničenog prostora, u ovom radu su prikazani samo kriterijumi za izbor visokonaponskih prekidača i rastav-

ljača. Pregled kriterijuma za izbor celokupne visokonaponske opreme je dat u [1].

Prekidači se biraju na osnovu kritičnih uslova u mreži na mestu ugradnje. Ovi uslovi se odnose na vrstu kvara i uklopnu šemu mreže. Nakon utvrđivanja pomenutih kritičnih uslova za rad prekidača, potrebno je izračunati karakteristične veličine struje kvara i ostale merodavne veličine mreže i uporediti ih sa naznačenim, odnosno dozvoljenim vrednostima za odgovarajuće veličine prekidača. Prekidač može biti ugrađen u postrojenje samo ako zadovoljava u pogledu svih karakterističnih veličina.

U tabeli 1 je dat pregled karakterističnih veličina mreže i prekidača i potrebni odnosi ovih veličina za izbor prekidača.

Tabela 1.

Pregled karakterističnih veličina mreže i prekidača i potrebni odnosi ovih veličina za izbor prekidača

| Veličina mreže | Veličina prekidača    | Kriterijum izbora          |
|----------------|-----------------------|----------------------------|
| $U_{ms}$       | $U_n$                 | $U_{ns} \text{ £ } U_n$    |
| $I_{rmax}$     | $I_n$                 | $I_{rmax} \text{ £ } I_n$  |
| $I_i$          | $I_{in}$              | $I_i \text{ £ } I_{in}$    |
| $i_{ud}$       | $I_{un}$              | $i_{ud} \text{ £ } I_{un}$ |
| $A$            | $A_d = I_t^2 \cdot t$ | $A \text{ £ } A_d$         |

Oznake u tabeli 1 imaju sledeće značenje:

$U_{ms}$  – maksimalna vrednost međufaznog napona mreže,

$U_n$  – naznačeni napon prekidača,

$I_{rmax}$  – maksimalna radna struja kroz granu mreže u kojoj će biti postavljen prekidač,

$I_n$  – naznačena struja prekidača,

$I_i$  – struja isključenja na mestu ugradnje prekidača,

$I_{in}$  – naznačena struja isključenja prekidača,

$i_{ud}$  – udarna struja na mestu ugradnje prekidača,

$I_{un}$  – naznačena struja uključenja prekidača,

$A$  – toplotni impuls za kratak spoj na mestu ugradnje prekidača,

$A_d$  – dozvoljeni toplotni impuls za prekidač,

$I_t$  – dozvoljena termička struja u toku vremenskog perioda  $t$ .

Izbor rastavljača se vrši na osnovu kriterijuma definisanih u tabeli 2.

Tabela 2.

Pregled karakterističnih veličina mreže i rastavljača i potrebni odnosi ovih veličina za izbor rastavljača

| Veličina mreže | Veličina rastavljača  | Kriterijum izbora           |
|----------------|-----------------------|-----------------------------|
| $U_{np}$       | $U_n$                 | $U_{np} \text{ £ } U_n$     |
| $I_{rmax}$     | $I_n$                 | $I_{rmax} \text{ £ } I_n$   |
| $i_{ud}$       | $i_{dyn}$             | $i_{ud} \text{ £ } i_{dyn}$ |
| $A$            | $A_d = I_t^2 \cdot t$ | $A \text{ £ } A_d$          |

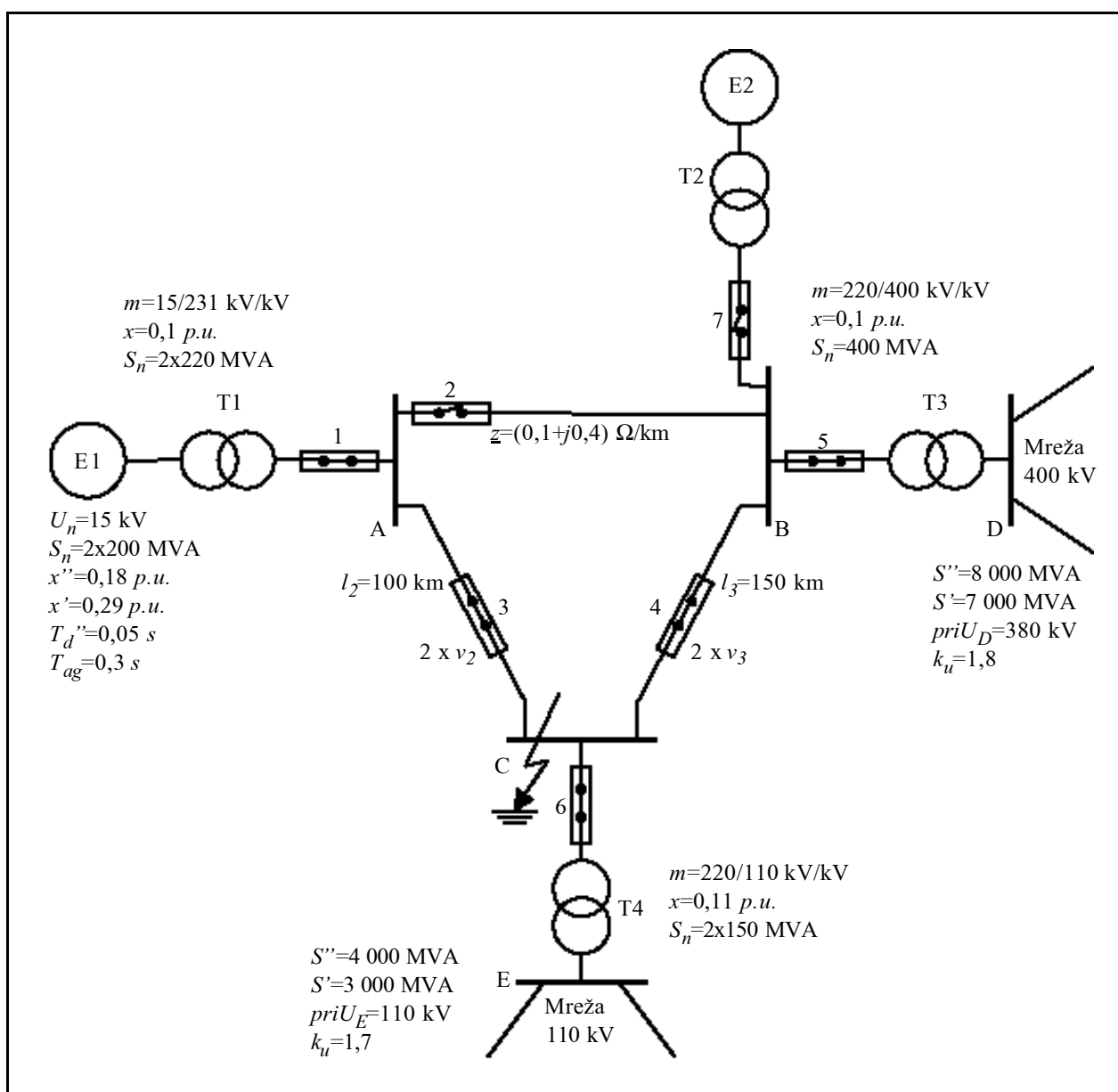
Oznake u tabeli 2 imaju sledeće značenje:

- $U_{np}$  – naznačeni napon postrojenja,
- $U_n$  – naznačeni napon rastavljača,
- $I_{rmax}$  – maksimalna radna struja kroz granu mreže u kojoj će biti postavljen rastavljač,
- $I_n$  – naznačena struja rastavljača,
- $i_{ud}$  – udarna struja na mestu ugradnje rastavljača,
- $i_{dyn}$  – dinamička struja rastavljača,
- $A$  – toplotni impuls za kratak spoj na mestu ugradnje rastavljača,
- $A_d$  – dozvoljeni toplotni impuls za rastavljač,
- $I_t$  – dozvoljena termička struja u toku vremenskog perioda  $t$ .

Izbor rastavljača je pravilan ako su zadovoljeni svi uslovi iz tabele 2.

### 3. PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH VREDNOSTI STRUJA KVARA

Za izbor prekidača i rastavljača, prema kriterijumima prikazanim u tabeli 1 i tabeli 2, neophodno je proračunati karakteristične vrednosti struja kratkih spojeva. Na primeru jednopolne šeme dela elektroenergetskog sistema (slika 1) ilustrovan je ovaj proračun za slučaj trolejnog kratkog spoja na sabirnicama C. Prekidači 1, 3, 4, 5 i 6 su uključeni. Kvarovi na strani 220 kV se isključuju za 0,2 s. Razma-



Slika 1. Jednopolna šema dela elektroenergetskog sistema sa trolejnim kratkim spojem na sabirnicama C

trano postrojenje se nalazi u mreži sa efikasno uzemljenim zvezdištem. Podaci o elementima su prikazani u jednopolnoj šemi na slici 1.

Proračun karakterističnih veličina struja kvara se može izvršiti primenom različitih metodoloških postupaka [1,2] i programskih alata [3,4,5,6]. U ovom radu su ilustrovana četiri primera proračuna ovih vrednosti.

Prvi primer prikazuje klasičan postupak koji se svodi na formiranje odgovarajuće ekvivalentne šeme i određivanje karakterističnih vrednosti struja kvara bez eksplicitne primene nekog od programskih alata.

Drugi primer ilustruje prednosti primene programskog alata Matlab / Simulink u automatizaciji proračuna karakterističnih vrednosti struja kratkih spojeva.

Navedeni primeri se odnose na proračun karakterističnih vrednosti struja kvara izvan programa za rad sa bazama podataka.

U nastavku su ilustrovana dva postupka proračuna koji se vrše unutar programa za rad sa bazama podataka. U trećem primeru je odgovarajući proračun izvršen primenom programa VBA. Ovaj program je sastavni deo programa Excel, čije su mogućnosti u radu sa bazama podataka ilustrovane u tački 4.2.

U četvrtom primeru ilustrovan je postupak automatskog definisanja parametara ekvivalentne šeme primenom programa za rad sa bazama podataka Access. Na osnovu tako unetih parametara, korišćenjem programa Visual Basic, izvršen je proračun

karakterističnih vrednosti struje troleznog kratkog spoja.

### 3.1. Klasičan postupak proračuna

Za proračun karakterističnih vrednosti struje troleznog kratkog spoja potrebno je formirati odgovarajuću ekvivalentnu šemu. Za jednopolnu šemu sa slike 1 formirana je ekvivalentna šema prema slici 2. Na mesto kvara je postavljena ekvivalentna elektromotorna sila, dok su svi elementi zamenjeni odgovarajućim reaktansama. Kao posledica zanemarivanja aktivnih otpornosti, ovako određene vrednosti struje kvara će biti nešto veće od realnih vrednosti.

Struja kratkog spoja je određena za tri karakteristična perioda : subtranzijentni (indeks ''), tranzijentni (indeks ') i ustaljeni period. Aktivne otpornosti elemenata su korišćene samo za određivanje vremenske konstante aperiodične komponente struje kvara [1].

Efektivne vrednosti struja u sva tri perioda kvara računaju se po formuli:

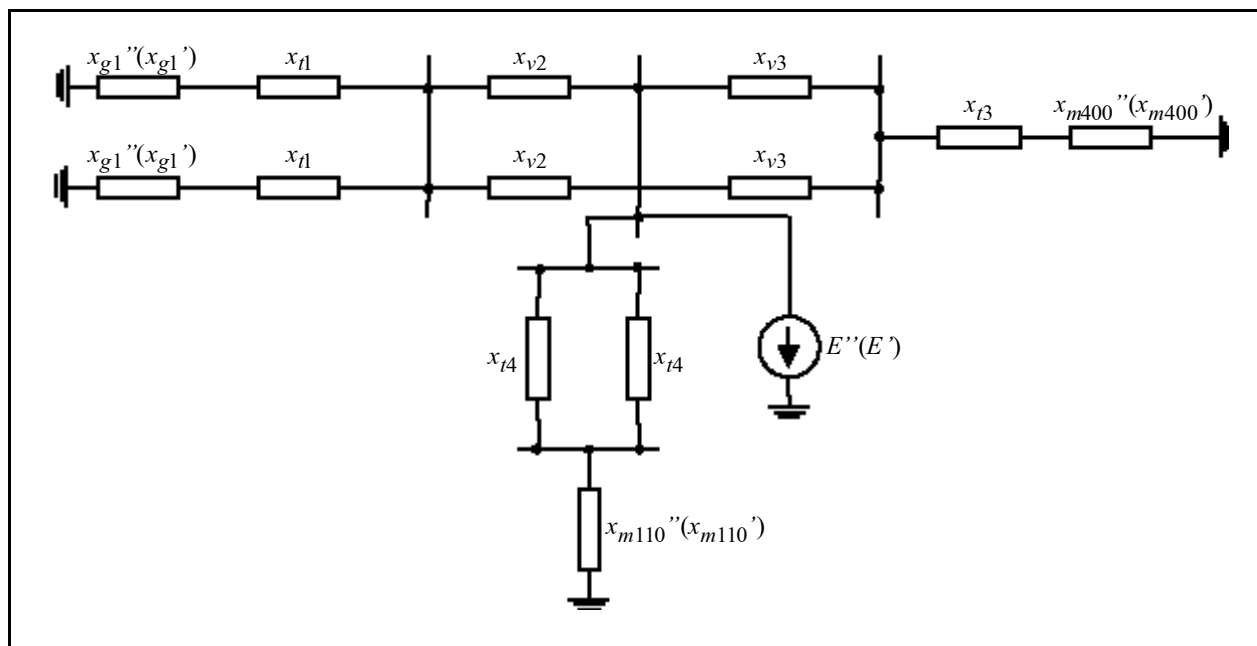
$$I_k = \frac{k U_{nC}}{\sqrt{3} X_e} \quad (1)$$

Oznake u (1) imaju sledeće značenje:

$k$  – faktor čija vrednost iznosi 1,1 za subtranzijentni period, 1,15 za tranzijentni period, 1,2 za ustaljeni period;

$U_{nC}$  – efektivna vrednost međufaznog napona sistema na mestu kvara;

$X_e$  – ekvivalentna reaktansa posmatrana odočno sa mesta kvara, za odgovarajući period.



Slika 2. Ekvivalentna šema za proračun karakterističnih vrednosti struje troleznog kratkog spoja na sabirnicama C

Približna vrednost udarne komponente struje kratkog spoja kroz sabirnice  $C$  određena je iz izraza:

$$i_{udC} \approx \sqrt{2} k_{ud} I_k'' \sqrt{2} 1 e^{-\frac{0,01}{T_{ae}}} I_k'' \quad (2)$$

gde je:

$k_{ud}$  – udarni koeficijent,

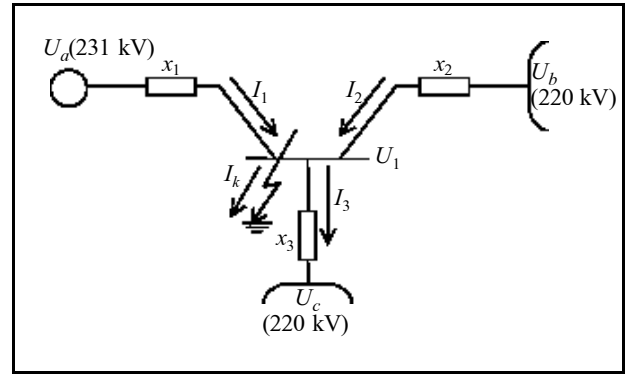
$T_{ae}$  – vremenska konstanta aperiodične komponente struje kvara,

$I_k''$  – subtranzijentna vrednost struje trolepnog kratkog spoja.

Postupkom proračuna, detaljno prikazanim u [1,7] određene su karakteristične vrednosti struje trolepnog kratkog spoja, koje su prikazane u tački 3.5, tabela 3.

### 3.2. Postupak proračuna primenom programskog alata Matlab / Simulink

Jednopolna šema dela elektroenergetskog sistema prikazana na slici 1 modifikovana je na način pogodan za formiranje modela u Simulinku (slika 3).



Slika 3. Ekvivalentna šema za formiranje modela u Simulinku

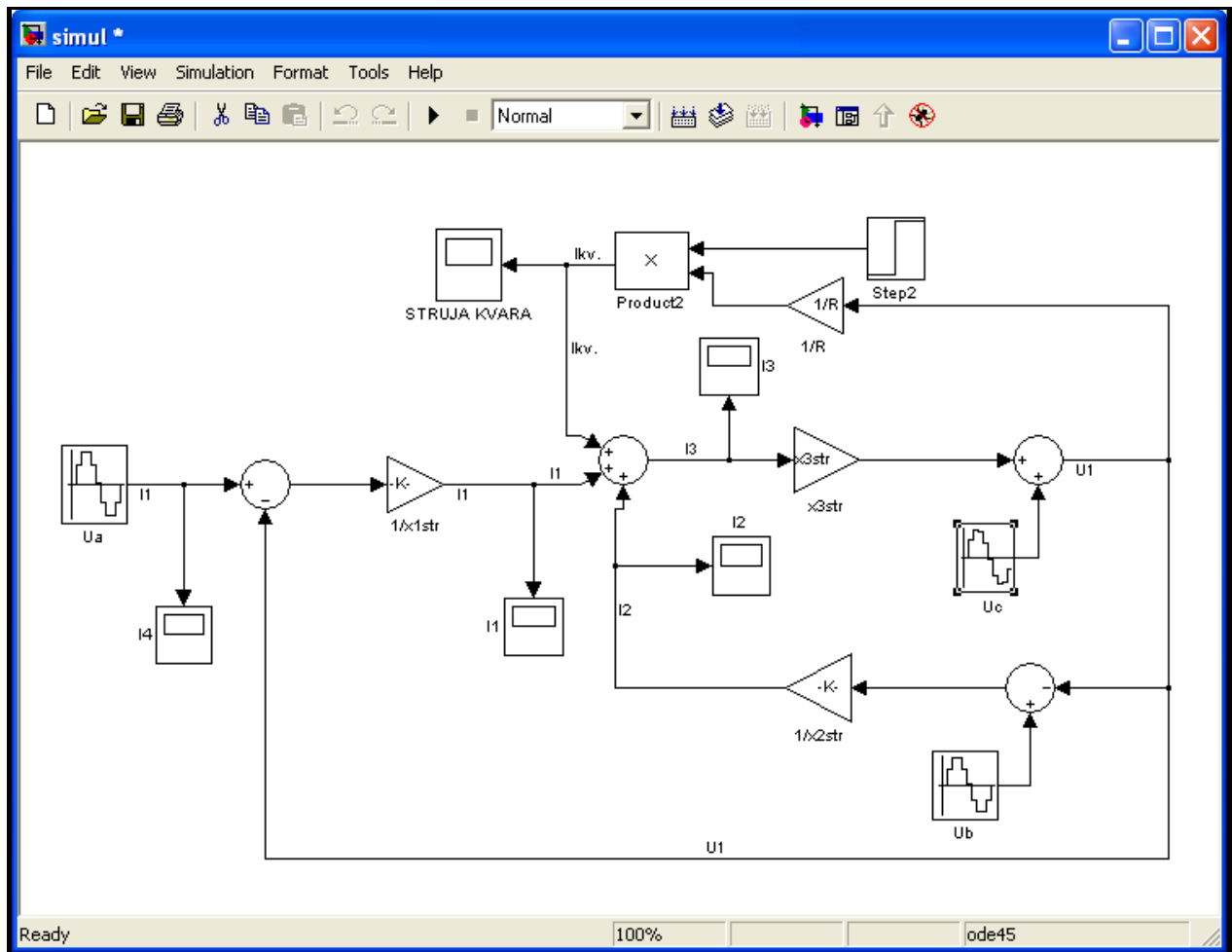
Oznake na slici 3 imaju sledeće značenje:

$U_a, U_b, U_c$  – naponski izvori;

$x_1, x_2, x_3$  – reaktanse odgovarajućih grana svedene na vrednost napona na mestu kvara;

$I_1, I_2, I_3$  – struje u granama 1, 2 i 3, respektivno,

$I_k$  – ukupna struja kvara.



Slika 4. Izgled Simulink modela za proračun struje kvara

Na slici 4 prikazan je izgled odgovarajućeg modela u Simulinku. Svi elementi modela su preuzeti iz biblioteke Simulink u okviru Simulink Library Browsera.

U cilju automatizacije postupka proračuna formirana je ulazna  $m$  datoteka koja sadrži podatke potrebne za izvršenje simulacije u grafičkom okruženju. Primenom ove datoteke i predloženog modela moguće je odrediti subtranzijentnu, tranzijentnu i ustaljenu komponentu struje kvara.

Ikone označene sa  $U_a$ ,  $U_b$  i  $U_c$  na slici 4 predstavljaju funkcije sinusnog oblika, čime se modelu navedeni naponski izvori. Na slici 4 se može uočiti postojanje četiri multiplikatora. Tri multiplikatora, vezana za naponske izvore, sadrže koeficijente  $1/x$ , gde  $x$  predstavlja reaktansu odgovarajuće grane u razmatranom periodu. Četvrti multiplikator je povezan sa ikonom Produkt2. Ovaj multiplikator sadrži koeficijent čija je vrednost  $1/R$ , gde  $R$  predstavlja paralelnu aktivnu otpornost na mestu kvara. U normalnom radnom režimu ova otpornost ima praktično beskonačno veliku vrednost, dok pri metalnom kratkom spoju njena vrednost opada na nulu. Trenutak kvara se modeluje elementom označenim sa Step2, koji predstavlja generator impulsne funkcije. Element označen sa Produkt2 definiše broj ulaznih podataka koji će se međusobno pomnožiti.

U cilju merenja željenih veličina moguće je priključiti odgovarajući merni instrument (osciloskop). U modelu sa slike 4 postavljena su četiri osciloskopa kojima se registruju označene promenljive.

Algoritam proračuna se sastoji od sledećih koraka:

- Pokretanjem formirane ulazne  $m$  datoteke definišu se ulazni podaci u lokalnoj memoriji Matlaba.
- U Simulinku se formira model prikazan na slici 4, što uključuje i definisanje njegovih elemenata.
- Podešavaju se parametri simulacije.
- Izvršava se proračun.

Primenom opisanog Simulink modela izvršeni su proračuni za ulazne podatke sa slike 1. Deo rezultata proračuna je prikazan u tabeli 3.

### 3.3. Postupak proračuna primenom programa MS Excel i VBA

Programski jezik VBA predstavlja sastavni deo Excela. Njegovom primenom formiran je program koji, za zadate parametre i elemente sistema, omogućava proračun struje trolnog kratkog spoja.

Na slikama 10 a, 10 b i 10 c prikazan je izgled dokumenta urađenog u Excelu, koji obuhvata jednopolnu šemu (slika 10 a), parametre sistema (slika 10 b) i ulazne podatke o elementima sistema (slika 10 c). Pri



Slika 5. Izgled maske programa za proračun struje kratkog spoja i izbor visokonaponske opreme



| Generator E1          | Transformator T1              | Transformator T3               | Transformator T4               | Mreža 400kV           | Mreža 110kV           | Vodovi             |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| $U_{ng} = \sqrt{15}$  | $m1 = \sqrt{15} / \sqrt{231}$ | $m3 = \sqrt{220} / \sqrt{400}$ | $m4 = \sqrt{220} / \sqrt{110}$ | $S'' = \sqrt{8000}$   | $S'' = \sqrt{4000}$   | $xv2 = \sqrt{0,4}$ |
| $S_n = \sqrt{200}$    | $S_n = \sqrt{220}$            | $S_n = \sqrt{400}$             | $S_n = \sqrt{150}$             | $S' = \sqrt{7000}$    | $S' = \sqrt{3000}$    | $xv3 = \sqrt{0,4}$ |
| $x'' = \sqrt{0,18}$   | $x = \sqrt{0,1}$              | $x = \sqrt{0,1}$               | $x = \sqrt{0,11}$              | $pri Ud = \sqrt{380}$ | $pri Ue = \sqrt{110}$ | $l2 = \sqrt{100}$  |
| $x' = \sqrt{0,29}$    |                               |                                |                                | $ku4 = \sqrt{1,8}$    | $ku1 = \sqrt{1,7}$    | $l3 = \sqrt{150}$  |
| $T_{ag} = \sqrt{0,3}$ |                               |                                |                                | $ti = \sqrt{0,2}$     |                       | $rv2 = \sqrt{0,1}$ |
| $T_d = \sqrt{0,05}$   |                               |                                |                                |                       |                       | $rv3 = \sqrt{0,1}$ |
|                       |                               |                                |                                |                       |                       | $sv = \sqrt{220}$  |

**Uradi proračun!**

Slika 6. Maska sa unetim podacima za deo elektroenergetskog sistema sa slike 1

## REZULTATI PRORAČUNA SU:

| Generator               | Transformatori        |                     |                         | Vodovi            | Mreža 110 kV                | Mreža 400kV                 |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $Xg'' = 48,0249 \Omega$ | $Xt1 = 24,255 \Omega$ | $Xt3 = 12,1 \Omega$ | $Xt4 = 35,49333 \Omega$ | $Xv2 = 40 \Omega$ | $Xm''110 = 12,1 \Omega$     | $Xm''400 = 5,46013 \Omega$  |
| $Xg' = 77,3735 \Omega$  | $Rt1 = \Omega$        | $Rt3 = \Omega$      | $Rt4 = \Omega$          | $Rv2 = 10 \Omega$ | $Xm'110 = 16,1333 \Omega$   | $Xm'400 = 6,24014 \Omega$   |
| $Xgst = 240,125 \Omega$ |                       |                     |                         | $Xv3 = 60 \Omega$ | $Xm110ust = 16,1333 \Omega$ | $Xm400ust = 6,24014 \Omega$ |
| $Rg = 0,50982 \Omega$   |                       |                     |                         | $Rv3 = 15 \Omega$ | $Rm110 = 1,37445 \Omega$    | $Rm400 = 0,38802 \Omega$    |

Izračunati parametri neophodni za pravilan izbor prekidača, rastavljača ili strujnog transformatora

---

|                               |                                 |  |                             |
|-------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------------|
| $Un = 220 \text{ kV}$         | $In = 577,350 \text{ A}$        | $I_{ps} = 5,14517 \text{ kA}$          | $T_{ae} = 0,0418 \text{ s}$ |
| $I_{ks} = 14,2945 \text{ kA}$ | $I_{uklj} = 25,5474 \text{ kA}$ | $A = 26,4728 \text{ (kA)}^2 \text{ s}$ | $Si = 3851,55 \text{ MVA}$  |

Prekidač !

Rastavljač !

Strujni tr.

Slika 7. Rezultati proračuna struje troleznog kratkog spoja na sabirnicama C

analizi rezultata proračuna potrebno je napomenuti da je, samo u ovom slučaju, proračun urađen uz uvažavanje i aktivnih otpornosti pojedinih elemenata sistema, navedenih na slici 10 c.

Na slici 10 d prikazani su rezultati proračuna karakterističnih vrednosti struja troleznog kratkog spoja, dobijenih primenom programskog jezika VBA. Rezultati koji se odnose na polje V2 reprezentuju karakteristične vrednosti struje troleznog kratkog spoja na sabirnicama C.

### 3.4. Postupak proračuna primenom programa MS Access i VB

Automatizacija postupka proračuna karakterističnih veličina struje troleznog kratkog spoja i izbora visokonaponske opreme je izvršena primenom programa MS Access i Visual Basic. Izgled maske ovako formiranog programa dat je na slici 5.

Aktiviranjem opcije „Unos parametara” sa slike 5 dobija se maska za unos podataka. Maska sadrži polja za unos parametara i elemenata razmatranog visokonaponskog postrojenja. Izgled ove maske, nakon unosa ulaznih podataka za razmatran deo elektroenergetskog sistema sa slike 1, prikazan je na slici 6.

Aktiviranjem ikone „Uradi proračun” sa slike 6, vrši se proračun karakterističnih vrednosti struje troleznog kratkog spoja na sabirnicama C primenom programa napisanog u Visual Basicu. Rezultati proračuna su prikazani na slici 7, i jednim delom, u tabeli 3.

Na osnovu tako određenih rezultata proračuna i kriterijuma izbora visokonaponske opreme (tabele 1 i 2) vrši se filtriranje baze podataka, što će biti objašnjeno u tački 4.2.

### 3.5. Zbirni pregled rezultata proračuna struja kvara određenih primenom različitih tehnika proračuna

U tabeli 3 su prikazane karakteristične vrednosti subtranzijentne struje troleznog kratkog spoja na sabirnicama C, kao i odgovarajuće udarne struje, određene primenom različitih tehnika proračuna.

Tabela 3.

Zbirni pregled rezultata proračuna struje troleznog kratkog spoja na sabirnicama C jednodolne šeme sa slike 1

| Primer primene       | $I_{KC}$ (kA) | $I_{udC}$ (kA) |
|----------------------|---------------|----------------|
| 1. Klasičan postupak | 10,0          | 25,7           |
| 2. Matlab - Simulink | 10,2          | 26,0           |
| 3. Excel - VBA       | 8,8           | 22,5           |
| 4. Access - VB       | 10,1          | 25,5           |

Oznaka  $I_{KC}$  u tabeli 3 se odnosi na efektivnu vrednost subtranzijentne komponente struje troleznog kratkog spoja na sabirnicama C. S obzirom na to da se programom u Accessu proračunava maksimalna vrednost struje  $I_{KC}$  (14,295 kA na slici 7) to je, u cilju upoređivanja rezultata, u tabeli 3 prikazana njena efektivna vrednost ( $14,295 / \sqrt{2} = 10,1$  kA).

Na osnovu rezultata proračuna prikazanih u tabeli 3 može se zaključiti da su u primerima 1, 2. i 4. dobijeni praktično isti rezultati proračuna. Niže vrednosti dobijene primenom Excela i VBA (3. primer), posledica su uvažavanja aktivnih otpornosti elemenata postrojenja u ovom slučaju.

## 4. PRIMENA BAZA PODATAKA U IZBORU VISOKONAPONSKE OPREME

### 4.1. Definicije tipova baza podataka

*Baza podataka* je organizovana kolekcija povezanih informacija specifične namene. Na primer, katalog prekidača nekog proizvođača predstavlja bazu podataka u kojoj se čuvaju podaci o raznim tipovima prekidača koje ovaj proizvođač proizvodi, a koji predstavljaju karakteristike prekidača, i neophodni su za njihov pravilan izbor pri projektovanju visokonaponskih postrojenja. Zajednički imenitelj ovih podataka je taj što se svi oni odnose na prekidače.

*Elektronska baza podataka* je mesto u memoriji računara na kome se skladište podaci. Podaci se, umesto u obliku štampanog kataloga, čuvaju u datotekama. Logičke celine u koje se razdvajaju podaci u elektronskoj bazi podataka nazivaju se tabele. Jedna tabela bi trebalo da sadrži samo jednu vrstu podataka, kako bi se kasnije izbegli problemi vezani za rast liste. Važno je da podaci u bazi podataka budu tako organizovani da se na jednostavan način mogu pronaći i preuzeti iz baze radi dalje obrade, a takođe i dodavati novi podaci, odnosno vršiti izmene u postojećim.

*Relaciona baza podataka* se zasniva na principu podele informacija u skupove logički povezanih podataka, koji se čuvaju u zasebnim tabelama u okviru datoteke. Tabele su osnovni objekti u relacionim bazama podataka i predstavljaju aktivnu bazu sistema za čuvanje i dobijanje informacija.

Distribucija podataka između tabela (relaciona baza) nad čuvanjem svih podataka u jednoj tabeli dovodi do poboljšanja u radu sa bazama podataka, kao što su: povećanje fleksibilnosti, jednostavnost u radu i lakoća upravljanja. Osnovni element svake relacione baze su tabele (*Tables*), u kojima se pojave definišu kao slogovi sa identifikatorom (ključem). Složeni odnos među tabelama se uređuje kroz tabele upita (*Queries*), koje se mogu koristiti kao kriteri-

jumi upita i kao pogledi na složene entitete. Interfejs ka korisniku se obezbeđuje kroz nekoliko tipova formulara (*Forms*) i izveštaja (*Reports*). Konačno, procesi u bazi i automatizacija se definišu makroima i modulima, čime se baza podataka promovise u korisničku aplikaciju.

## 4.2. Primer primene programa MS Excel

### 4.2.1. Principi pravilno strukturirane liste u Excelu

Iako se osnovna funkcija Excela sastoji u radu sa tabelama, struktura koju sačinjavaju redovi i kolone može se koristiti i za pravljenje baza podataka. Baze podataka se u Excelu nazivaju listama. Baza podataka u Excelu predstavlja opseg ćelija koji uključuje dva ili više redova i bar jednu kolonu. Svaki red predstavlja zapis (*record*), a svaka od kolona naziva se obeležje (*field*), iz čega proizilazi da se svaki zapis sastoji od nekoliko obeležja.

Da bi se formirala baza podataka potrebno je kreirati njenu strukturu, što podrazumeva definisanje njenog sadržaja. Tip obeležja koji se upisuje - podaci, odgovara vrstama podataka koji se upisuju u radnu tabelu. Za kreiranje efektne baze podataka postoje određena pravila koja su detaljno navedena u [3].

Na slici 8 je prikazana pravilno strukturirana lista sa podacima o visokonaponskim prekidačima.

Lista prikazana na slici 8 je jasno i dobro organizovana, što olakšava proces unošenja podataka i njihovog kasnijeg korišćenja. Raspored polja i format su dosledno primenjeni, a svaki zapis je potpun i sadrži tip prekidača, naznačeni napon  $U_n$ , naznačenu struju  $I_n$ , naznačenu struju isključenja  $I_i$ , naznačenu struju uključenja  $I_u$ , kao i ime proizvođača.

### 4.2.2. Filtriranje liste

Filtriranje liste predstavlja preuzimanje podataka iz liste koji zadovoljavaju neki zadati kriterijum.

| PREKIDAČI |         |        |         |         |              |  |
|-----------|---------|--------|---------|---------|--------------|--|
| TIP       | Un (kV) | In (A) | Ii (kA) | Iu (kA) | PROIZVOĐAČ   |  |
| 3AP1      | 72.5    | 4000   | 40      | 108     | SIEMENS      |  |
| 3AP1      | 123     | 4000   | 40      | 108     | SIEMENS      |  |
| 3AP1      | 145     | 4000   | 40      | 108     | SIEMENS      |  |
| 3AP1      | 170     | 4000   | 40      | 135     | SIEMENS      |  |
| 3AP1      | 245     | 4000   | 50      | 135     | SIEMENS      |  |
| 3AP2      | 362     | 4000   | 63      | 170     | SIEMENS      |  |
| SF2       | 36      | 2500   | 31.5    | 79      | SCHNEIDER    |  |
| SF2       | 36      | 2500   | 40      | 100     | SCHNEIDER    |  |
| SF2       | 36      | 3150   | 40      | 100     | SCHNEIDER    |  |
| SF2       | 40.5    | 2500   | 31.5    | 79      | SCHNEIDER    |  |
| ISF2      | 24      | 2500   | 31.5    | 79      | SCHNEIDER    |  |
| ISF2      | 40.5    | 2500   | 25      | 63      | SCHNEIDER    |  |
| SFE 9     | 72.5    | 3150   | 40      | 100     | ENERGOINVEST |  |
| SFE 11    | 123     | 3150   | 40      | 100     | ENERGOINVEST |  |
| SFE 12    | 145     | 3150   | 40      | 100     | ENERGOINVEST |  |

Slika 8. Primer pravilno strukturirane liste sa podacima o visokonaponskim prekidačima

Excel poseduje više alata koji omogućavaju filtriranje liste:

- Uslovno formatiranje,
- Automatski filter,
- Napredni filter,
- Upotreba programa MS Query i
- Upotreba programskog jezika VBA.

Prva tri načina filtriranja detaljno su opisana u [3] i, iz razloga ograničenog prostora, neće biti prikazani u ovom radu.

#### a) Upotreba programa MS Query

Program MS Query je uključen u Excel, i služi za izradu upita bazama podataka, upotrebom SQL jezika. Moguće je pisati složene upite bazama podataka i preuzimati podatke iz njih. Između ostalih, moguće je preuzeti podatke i iz Excelovih radnih sveski u kojima se nalaze liste sa podacima. Čitav postupak vrši se bez otvaranja radne sveske u kojoj su podaci, što praktično predstavlja zaštitu baze od neželjenih promena. Program je opremljen grafičkim alatima koji u pozadini koriste SQL jezik, tako

da nije potrebno njegovo poznavanje, mada je uvek moguće videti i promeniti SQL naredbe.

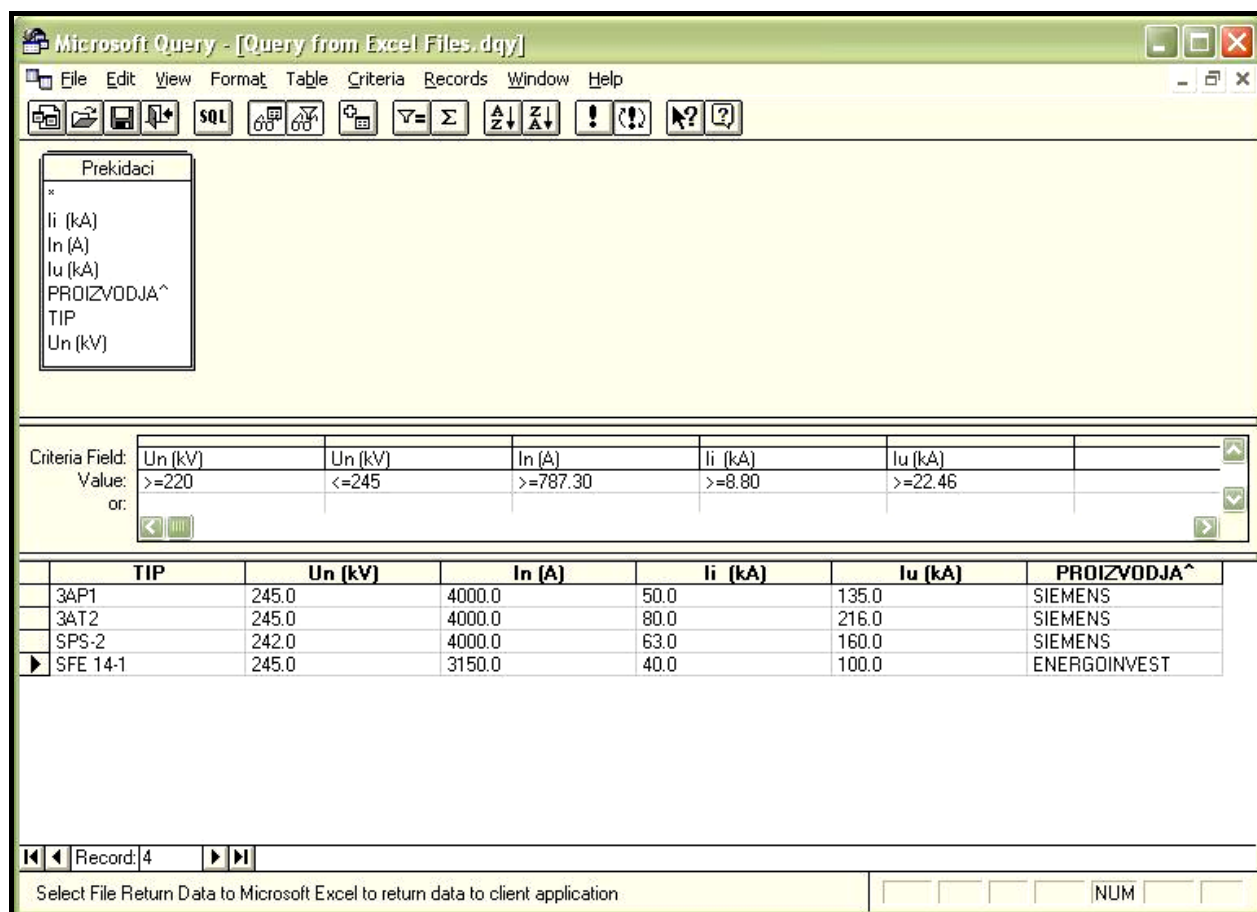
U nastavku je potrebno zadati kriterijum po kome će podaci biti preuzeti iz odabrane tabele. U slučaju izbora prekidača, to su kriterijumi definisani u tabeli 1.

Na slici 9 je prikazan kompletan upit za filtriranje liste sa prekidačima, kao i rezultati koji se dalje mogu koristiti u Excelu.

#### b) Upotreba programskog jezika VBA

Izbor opreme je moguće vršiti i na osnovu samostalnog formiranja filtera korišćenjem programskog jezika VBA, koji se isporučuje uz Excel. Ovaj programski jezik omogućava pisanje funkcija posebne namene, koje se kasnije mogu upotrebiti u Excelu na isti način kao što se upotrebljavaju i ugrađene funkcije [10,12].

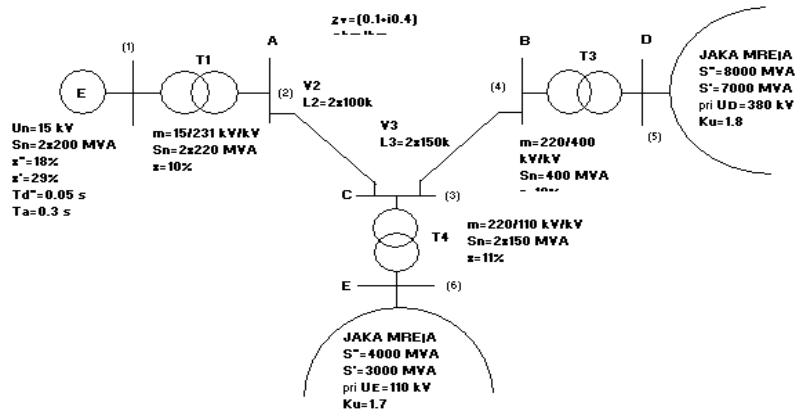
Primenom VBA je urađen kompletan proračun struje trolnog kratkog spoja u Excelu, izabrana je radna sveska, zadati su kriterijumi filtriranja i, na osnovu njih, izabrani elementi koji zadovoljavaju zadate uslove. Ovako izabrani elementi mogu se



Slika 9. Kompletan izgled jednog upita za izbor prekidača urađenog primenom programa MS Query

# PROJEKAT ELEKTROENERGETSKOG POSTROJENJA 220 kV

JEDNOPOLNA ŠEMA ELEKTROENERGETSKOG  
SISTEMA PRIKAZANA JE NA SLEDEĆOJ SLICI:



a)

## PARAMETRI SISTEMA

|  |                 |     |
|--|-----------------|-----|
| NOMINALNI NAPON                            | $U_n$ (kV)      | 220 |
| MAKSIMALNI RADNI NAPON                     | $U_{maxr}$ (kV) | 231 |
| VREME ISKLJUČENJA KVAROVA                  | $t_k$ (s)       | 0.2 |
| MREJA JE SA EFIKASNO UZEMLJENIM ZVEZDIŠTEM | $K_f$           | 1.4 |

b)

## ELEMENTI SISTEMA:

| Vod           | Čvorovi | Paralel | Svodjenje | $z$ (ohm/km)        | $l$ (km)   | $Z_v''$ (ohm) | $Z_v'$ (ohm)   |                  |                   |              |
|---------------|---------|---------|-----------|---------------------|------------|---------------|----------------|------------------|-------------------|--------------|
| V2            | 2,3     | 2       | 1         | 0.1+j0.4            | 100        | 10+j40        | 10+j40         |                  |                   |              |
| V3            | 3,4     | 2       | 1         | 0.1+j0.4            | 150        | 15+j60        | 15+j60         |                  |                   |              |
| Transformator | Čvorovi | Paralel | Svodjenje | $S_n$ (MVA)         | $U_n$ (kV) | $u$ %         | $P_{cun}$ (kW) | $Z_t''$ (ohm)    | $Z_t'$ (ohm)      |              |
| T1            | 1,2     | 2       | 1         | 220                 | 231        | 10            | 0              | 124.255          | 124.255           |              |
| T3            | 4,5     | 1       | 1         | 400                 | 220        | 10            | 0              | 112.1            | 112.1             |              |
| T4            | 3,6     | 2       | 1         | 150                 | 220        | 11            | 0              | 135.49333        | 135.49333         |              |
| Generator     | Čvorovi | Paralel | Svodjenje | $S_n$ (MVA)         | $U_n$ (kV) | $X_d''$ %     | $X_d'$ %       | $T_{ag}$ (s)     | $Z_g''$ (ohm)     | $Z_g'$ (ohm) |
| E1            | 1,0     | 2       | 15.4      | 200                 | 15         | 18.29         | 0.3            | 0.50956+j48.0249 | 0.50956+j77.37345 |              |
| Mreža         | Čvorovi | Paralel | Svodjenje | $S^*$ , $S''$ (MVA) | $U_n$ (kV) | $K_{ud}$      | $T_{am}$ (s)   | $Z_m''$ (ohm)    | $Z_m'$ (ohm)      |              |
| M110          | 6,0     | 1       | 2         | 4000, 3000          | 110        | 1.7           | 0.028036733    | 1.37375+j12.1    | 1.37375+j16.13333 |              |
| M400          | 5,0     | 1       | 0.55      | 8000, 7000          | 380        | 1.8           | 0.044814201    | 0.38783+j5.46013 | 0.38783+j6.24014  |              |

c)

$T_{ae}$  (s) 0.0459806

## REZULTATI :

| Polje         | $I''$ (kA)   | $I'$ (kA)   | $I_{ud}$ (kA) | $A$ (kA)2s   | $I_t$ (kA)   | $I_{1s}$ (kA) | $I_{3s}$ (kA) |
|---------------|--------------|-------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| V2            | 8.80         | 8.31        | 22.46         | 17.36        | 9.32         | 4.17          | 2.41          |
| V3            | 8.60         | 7.85        | 21.93         | 15.71        | 8.86         | 3.96          | 2.29          |
| T4            | 7.70         | 7.18        | 19.66         | 13.05        | 8.08         | 3.61          | 2.09          |
| <b>Ukupno</b> | <b>10.04</b> | <b>9.33</b> | <b>25.62</b>  | <b>22.06</b> | <b>10.50</b> | <b>4.70</b>   | <b>2.71</b>   |

d)

Slika 10-a

|    | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 40 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 41 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 42 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 43 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 44 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 45 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 46 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 47 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 48 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 49 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 50 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 51 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 52 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 53 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 54 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 55 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 56 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 57 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 58 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 59 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 60 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 61 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 62 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 63 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 64 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 65 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 66 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 67 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 68 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 69 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 70 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 71 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 72 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**IZBOR PREKIDAČA I RASTAVLJAČA ZA DALEKOVODNO POLJE V2**

**MAKSIMALNA RADNA STRUJA U OVOM POLJU IMA SE PRI MAKSIMALNOJ SNAZI TRANSFORMATORA T4 KAD JE NA SABIRNICE C UKLJUČEN SAMO JEDAN YOD:**

**Imax (A)** 787.30

**IZBOR PREKIDAČA:**

**KRITERIJUMI:**

| Un (kV) | In (A) | Ii (kA) | Iu (kA) |
|---------|--------|---------|---------|
| 220     | 787.30 | 8.80    | 22.46   |
| 260     |        |         |         |

**ZADOVOLJAVAJU:**

| TIP      | Un (kV) | In (A) | Ii (kA) | Iu (kA) | PROIZVODJAČ  |
|----------|---------|--------|---------|---------|--------------|
| 3AP1     | 245     | 4000   | 50      | 135     | SIEMENS      |
| 3AT2     | 245     | 4000   | 80      | 216     | SIEMENS      |
| SPS-2    | 242     | 4000   | 63      | 160     | SIEMENS      |
| SFE 14-1 | 245     | 3150   | 40      | 100     | ENERGOINVEST |

IZABRAN JE PREKIDAC PROIZVODJACA: "SIEMENS"

TIP: 3AP1  
NAZIVNI NAPON: 245 kV  
NAZIVNA STRUJA: 4000 A  
DOZVOLJENA STRUJA ISKLJUČENJA: 50 kA  
DOZVOLJENA STRUJA UKLJUČENJA: 135 kA

**IZBOR RASTAVLJAČA:**

**KRITERIJUMI:**

| Un (kV) | In (A) | Iu (kA) | IIs (kA) |
|---------|--------|---------|----------|
| 220     | 787.30 | 22.46   | 4.17     |
| 260     |        |         |          |

**ZADOVOLJAVAJU:**

| TIP  | Un (kV) | In (A) | Iu (kA) | IIs (kA) | PROIZVODJAČ |
|------|---------|--------|---------|----------|-------------|
| D245 | 245     | 2500   | 125     | 50       | AEG         |

IZABRAN JE RASTAVLJAC PROIZVODJACA: "AEG"

TIP: D245  
NAZIVNI NAPON: 245 kV  
NAZIVNA STRUJA: 2500 A  
DOZVOLJENA UDARNA STRUJA: 125 kA  
DOZVOLJENA JEDNOSEKUNDNA STRUJA: 50 kA

e)

Slika 10. Izgled dokumenta urađenog u Excelu primenom programa napisanog pomoću VBA  
a) jednopolna šema,  
b) parametri sistema,  
c) podaci o elementima sistema,  
d) izračunate karakteristične veličine,  
e) izbor prekidača i rastavljača u dalekovodnom polju V2

dalje koristiti u Excelu za formiranje odgovarajuće specifikacije opreme. Izbor elemenata je ilustrovan u tački 4.2.3.

#### 4.2.3. Primer primene

Primenom programskog jezika VBA formiran je program koji, za zadate parametre sistema, vrši proračun struje trolnog kratkog spoja i, na osnovu zadatih kriterijuma, omogućava izbor visokonaponske opreme. Na slikama 10 a, 10 b, 10 c i 10 d prikazan je izgled ovog dokumenta, dok je rezultat predloženih prekidača i rastavljača u dalekovodnom polju V2 ilustrovan na slici 10 e. Iz razloga ograničenog prostora nisu prikazani ostali izabrani elementi (strujni i naponski transformatori, odvodnici prenapona, sabirnice). Njihov izbor se vrši na istovetan način, sprovođenjem prikazane procedure.

Na kraju je važno napomenuti da lista formirana u Excelu ne predstavlja relaciju baza podataka. Excelov radni list poseduje samo dve dimenzije, što praktično znači da jedna lista može upravljati samo jednom vrstom podataka, dok nije moguće uspostaviti vezu između dve liste, tako da se pri ažuriranju podataka u jednoj tabeli, automatski ažuriraju podaci u drugoj, na osnovu definisane relacije, što je slučaj kod relacionih baza podataka. U ovom slučaju bilo bi potrebno ručno ažurirati podatke u svim tabelama, što je gotovo nemoguće ako je broj tabela veliki, pri čemu postoji i rizik od greške. Međutim, kod projektovanja visokonaponskih postrojenja, najčešće se radi sa listama koje sadrže jednu vrstu podataka (npr. podaci o prekidačima, rastavljačima, strujnim transformatorima i sl.), pa se Excel može efikasno upotrebiti kao program za rad sa bazama podataka.

### 4.3. Primer primene programa MS Access

#### 4.3.1. Kreiranje baze podataka u Accessu

Access je objektno orijentisan sistem za upravljanje bazama podataka (DBMS), što znači da je celokupna baza podataka sastavljena od objekata koji imaju određene karakteristike, ili attribute, nazvane svojstva (*Properties*) kojima se određuje njihova struktura, izgled i ponašanje. Na primer, svojstva tabele uključuju opis tabele, subjekat tabele i uređenje slogova u tabeli, alfabetski, ili hronološki, na osnovu jednog, ili više polja.

Proces kreiranja baze podataka može se podeliti u osam koraka, od kojih svaki ima određeni cilj i rezultat:

- Razlučivanje šta korisnici očekuju od baze podataka i kakvi podaci su potrebni da bi bio obezbeđen odgovarajući rezultat,
- Planiranje distribucije podataka,
- Analiza polja svake tabele,
- Određivanje jedinstvenog polja koje će obezbediti da neće biti dva ista identična sloga u okviru tabele,
- Razlučivanje kako su tabele međusobno povezane,
- Provera dizajna i prolazak kroz procedure sa korisnicima,
- Kreiranje tabela i unos podataka i
- Analiza i optimizacija baze podataka.

Navedeni koraci u kreiranju baza podataka u Accessu dati su u specijalizovanoj literaturi [14,15].

U ovom radu je dat kratak osvrt na najvažnije elemente za pravilno kreiranje relacionih baza podataka, na osnovu kojih se vrši izbor visokonaponske opreme.

#### a) Normalizacija

Normalizacija predstavlja proces restrukturiranja datoteka sa podacima. Krajnji cilj normalizacije je smanjenje podataka u bazi podataka na najjednostavniju strukturu i minimalizacija redundantnosti podatka, odnosno, organizacija polja podataka, u cilju dobijanja efikasnog i fleksibilnog načina za čuvanje podataka.

Normalizacija ima složenu matematičku pozadinu, koja sadrži specifična stanja nazvana *normalne forme*. Svaka normalna forma predstavlja prepreku koju baza podataka mora da pređe, pre prelaska na sledeću stepenicu. Što je normalna forma višeg nivoa, to je test restriktivniji. Dostizanje treće normalne forme se smatra dovoljnim za bazu podataka.

Prva normalna forma eliminiše dupliranje podataka. Druga normalna forma zahteva da se svi podaci tabele direktno odnose na subjekat tabele, koji se, obično, označava primarnim ključem. Treća normalna forma eliminiše polja koja se mogu dobiti iz drugih polja.

#### b) Određivanje primarnog ključa

U sistemu relacione baze podataka veoma je važno grupisati i pronaći povezane podatke koji se nalaze u tabelama. Da bi se to postiglo, svaki slog tabele mora biti jedinstven na neki način. Polje, ili polja koja sadrže jedinstvenu vrednost predstavlja(ju) primarni ključ. *Access* ne dozvoljava postojanje više jednakih vrednosti primarnog ključa, niti *Null* vrednosti u primarnom ključu. Mora postojati validna jedinstvena vrednost u polju, ili poljima primarnog ključa.

### c) Tipovi zavisnosti

Tabele se mogu povezati na tri načina: jedan-prema-više, jedan-prema-jedan, više-prema-više. Koji način će biti korišćen zavisi od broja slogova svake tabele koji će imati iste vrednosti. Da bi povezali tabele, svaka mora da ima primarni ključ, polje koje sadrži jedinstvenu vrednost u svakom slogu. Primarni ključ može sadržati dva, ili više polja, čija kombinacija daje jedinstvenu vrednost za svaki slog.

Najčešće se koristi zavisnost *jedan-prema-više*, kada jedan slog tabele može imati više odgovarajućih slogova u drugoj tabeli. Prva tabela se, često naziva „*roditelj*”, a druga „*dete*”.

*Jedan-prema-jedan* zavisnost je vrsta matrice u kojoj svakom slogu jedne tabele odgovara jedan slog druge tabele. Nijedna tabela nije „*roditeljska*”. Ključna polja u obe tabele su primarni ključevi. Jedna od upotrebe ovakve zavisnosti je čuvanje dodatnih informacija, kojima se retko pristupa u prvoj tabeli.

*Više-prema-više* zavisnost, zapravo, kao takva nije dopuštena u relacionoj bazi. Više slogova jedne tabele imaju iste vrednosti ključnih polja kao i više slogova druge tabele. Da bi ovakva zavisnost bila primenjena u *Accessu*, potrebno je kreirati treću tabelu, koja se naziva tabela spajanja (*junction table*),

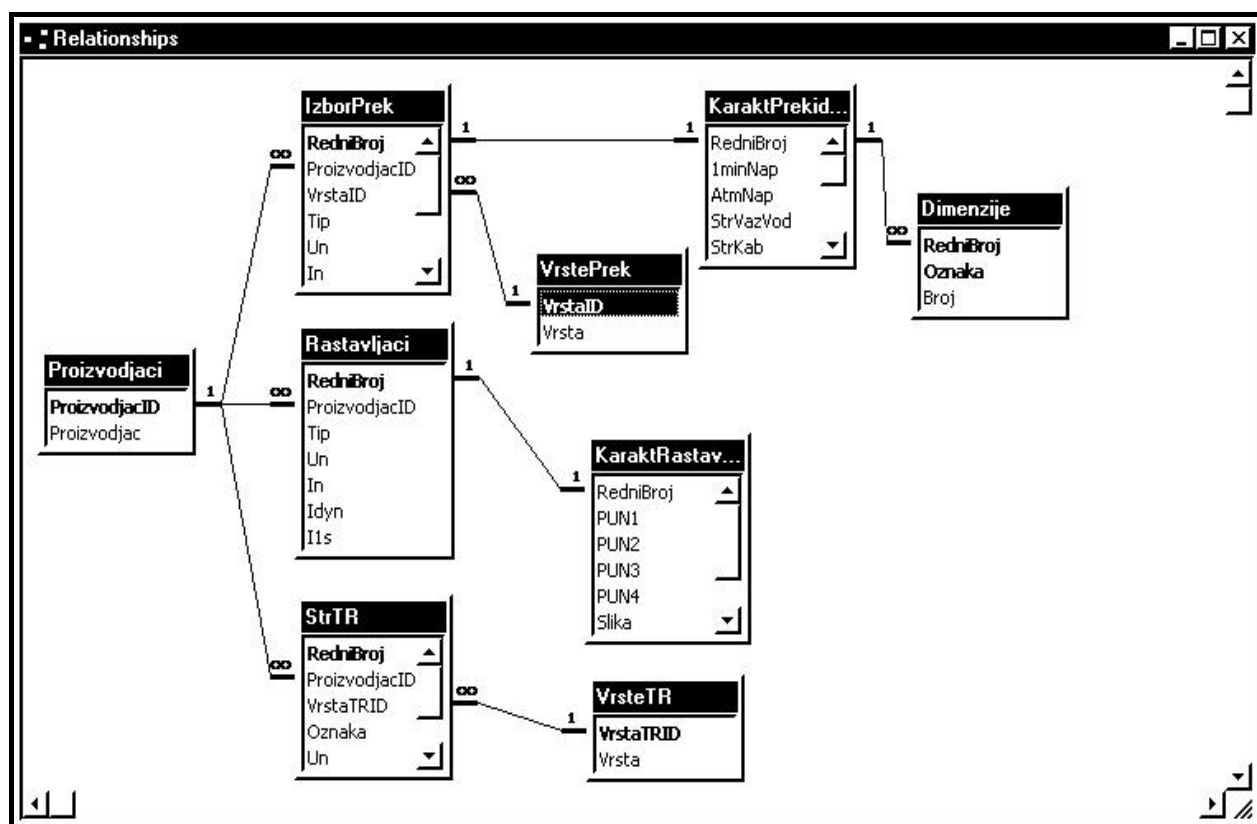
između ove dve tabele. Na taj način se može razložiti *više-prema-više* zavisnost u dve *jedan-prema-više* zavisnosti.

Sve što je potrebno za definisanje zavisnosti između dve tabele je navođenje koja polja tabele su zajednička. U zavisnosti *jedan-prema-jedan* polje „*roditeljske*” tabele se naziva *primarni ključ*, i mora biti *primarni ključ* te tabele, ili jedinstveni indeks. Polje u drugoj tabeli se naziva *strani ključ*, i nije potrebno da sadrži jedinstvene vrednosti. Pronalaženje podataka je, ipak, brže kada postoji indeks nad stranim ključem.

Kod zavisnosti *jedan-prema-jedan* oba polja su primarni ključevi, ili jedinstveni indeksi. Zavisnost *više-prema-više* je, zapravo, zavisnost *jedan-prema-više*, u kojoj je treća tabela kreirana tako da je njen primarni ključ kombinacija primarnih ključeva zajedničkih polja obe tabele. Tabela veza postaje strana „*jedan*” zavisnosti za obe tabele.

### d) Referencijalni integritet

*Referencijalni integritet* je opcioni sistem pravila, koji obezbeđuje ispravnost zavisnosti i nepromenljivost stanja baze podataka, prilikom unošenja, ažuriranja i uklanjanja podataka. Osnovno pravilo



Slika 11. Prozor Relationships nakon uspostavljanja linija zavisnosti za prekidače, rastavljače i strujne transformatore



referencijalnog integriteta je da za svaki slog druge tabele (strana „više”) mora postojati samo jedan odgovarajući slog u „roditeljskoj” tabeli (strana „jedan”). Pravila referencijalnog integriteta koje se mogu primeniti u Accessu su:

- Ne može se uneti slog u drugu tabelu, ukoliko ne postoji slog u „roditeljskoj” tabeli.
- Ne može se ukloniti slog „roditeljske” tabele, ukoliko postoji slog koji je povezan u drugoj tabeli.
- Ne može se izmeniti slog u drugoj tabeli tako da strani ključ nema odgovarajuću vrednost u „roditeljskoj” tabeli.
- Ne može se promeniti vrednost primarnog ključa u „roditeljskoj” tabeli, sve dok postoji povezan slog u drugoj tabeli.

Prozor Relationships u Accessu sadrži sve alate potrebne za formiranje zavisnosti i povezivanje tabela, kao i za postavku pravila referencijalnog integriteta.

#### 4.3.2. Primer primene

##### a) Određivanje namene baze podataka

Određivanje namene baze podataka je prvi korak u kreiranju nove baze podataka. Glavna namena baze podataka nazvane *Postrojenja* je proračun struja kratkih spojeva i izbor visokonaponske opreme. Da bi se to postiglo, baza podataka mora sadržati formulare za unos podataka na osnovu kojih se vrši

Slika 12. Predložen prekidač primenom programa Access

proračun struja kratkih spojeva, i formulare za prikaz visokonaponske opreme koje zadovoljavaju kriterijume izbora. Takođe, tu se mogu uključiti i podformulari za prikazivanje dodatnih informacija o visokonaponskoj opremi, kao i izveštaji radi štampa nja dobijenih proračuna i specifikacije opreme.

| DIMENZIJE |         |
|-----------|---------|
| B         | 3680 mm |
| C         | 645 mm  |
| D         | 3880 mm |
| E         | 2010 mm |
| F         | 735 mm  |

Slika 13. Karakteristike predloženog prekidača

## b) Distribucija podataka

Drugi korak predstavlja određivanje raspodele podataka po tabelama. Ovo je jedan od važnijih zadataka u kreiranju baze podataka. U razmatranom slučaju informacije o proizvođačima i vrstama opreme se ponavljaju. Sa ciljem smanjenja redundantnosti ove informacije su sačuvane u odvojenim tabelama.

Podaci koji se koriste kao kriterijumi izbora, smešteni su u zasebne tabele. Drugi manje važni podaci, kao što su dimenzije prekidača ili rastavljača, sačuvani su, takođe, u posebnim tabelama.

Tipovi zavisnosti između tabela *IzborPrekidača* i *KarakteristikaPrekidača*, kao i tabela *Rastavljači* i *KarakteristikaRastavljača* su *jedan-prema-jedan*, uz primenu pravila referencijalnog integriteta. Podaci koji nisu potrebni prilikom izbora opreme sačuvani su u posebnim tabelama, odvojeno od glavnog dela informacija. Na taj način je omogućeno brže pretraživanje podataka. Svi ostali tipovi zavisnosti su *jedan-prema-više*, pri čemu su, takođe, primenjena pravila referencijalnog integriteta. Na ovaj način je završen postupak kreiranja tabela i definisanja zavisnosti između tabela.

Na slici 11 prikazan je prozor Relationships nakon uspostavljanja linija zavisnosti za prekidače, rastavljače i strujne transformatore.

Aktiviranjem ikone „Prekidač” na slici 7, vrši se pretraživanje baze podataka. Na osnovu zadatih kriterijuma izbora definisanih u tabeli 1, korisniku se, kao rezultat pretraživanja, predlaže prekidač (slika 12) odgovarajućih karakteristika (slika 13).

Istovetna procedura se može sprovesti i za izbor ostalih elemenata visokonaponske opreme što, zbog ograničenog prostora, nije prikazano u ovom radu.

## 5. ZAKLJUČAK

*U radu su prikazani neki aspekti primene programa za rad sa bazama podataka u projektovanju visokonaponskih postrojenja. Karakteristične vrednosti struja kvara, neophodne za pravilan izbor visokonaponske opreme, moguće je proračunati korišćenjem postojećih programskih alata ili korisnički razvijenog softvera. Implementacija pravilno strukturiranih i odgovarajućih filtriranih baza podataka omogućava efikasan izbor visokonaponske opreme i izradu odgovarajuće specifikacije.*

*Ilustrovani primeri su ukazali da je, za potrebe projektovanja visokonaponskih postrojenja, moguće primeniti baze podataka izrađene primenom različitih programa. Efikasnost Excela je zadovoljavajuća pri radu sa manjim bazama podataka, kao i sa bazama podataka preuzetim iz drugih programa. Access,*

*kao objektno orijentisani sistem za upravljanje relacionim bazama podataka, ima prednost u radu sa složenijim aplikacijama. Primena programa za rad sa bazama podataka i softverskih alata za izradu tehničke dokumentacije [16] omogućava automatizaciju računarskog projektovanja visokonaponskih postrojenja, čime se postiže povećanje produktivnosti.*

## 6. ZAHVALNOST

Prvi autor zahvaljuje Fondaciji „Alexander von Humboldt”, Bon, SR Nemačka, na celokupnoj podršci njegovom naučno-istraživačkom radu.

Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije je, u okviru Tehnološkog projekta ETR.6.04.0033.B, omogućilo donaciju računarske opreme bez koje ovaj članak ne bi mogao da bude urađen.

## 7. LITERATURA

- [1] J. Nahman, V. Mijailović: VISOKONAPONSKA POSTROJENJA, Monografija, Beopres, Beograd, 2000.
- [2] R. Natarajan, COMPUTER-AIDED POWER SYSTEM ANALYSIS, Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA, 2002.
- [3] Z. Stojković: PROJEKTOVANJE POMOĆU RAČUNARA U ELEKTROENERGETICI - PROGRAMSKI ALATI; Monografija, II izdanje, Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd, 2003.
- [4] EMTP - RULEBOOK 1994, University Leuven EMTP Center, Heverlee, Belgie.
- [5] POWER TOOLS FOR WINDOWS, SKM SYSTEMS ANALYSIS, Inc., Manhattan Beach, California.
- [6] POWER SYSTEM SIMULATOR - PROGRAM APPLICATION GUIDE, PSS documentation, PT1.
- [7] J. Nahman, D. Salamon, V. Mijailović: VISOKONAPONSKA POSTROJENJA - ZBIRKA REŠENIH ZADATAKA SA PRILOZIMA, Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd, 2002.
- [8] MATLAB - THE LANGUAGE OF TECHNICAL COMPUTING, The Math Works Inc., 2000.
- [9] SIMULINK, User's Guide, The Math Works, 2000.
- [10] S. Roman: WRITING EXCEL MACROS WITH VBA, Second Edition, O'Reilly, Cambridge, 2002.
- [11] P. G. Mc Keown, C. A. Piercy: LEARNING TO PROGRAM WITH VISUAL BASIC, Second Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, 2002.
- [12] P. Blattner, L. Urlich, K. Cook, T. Dysk: VODIČ KROZ MICROSOFT EXCEL 2000 (Specijalno izdanje), CET, Beograd, 2000.
- [13] C. Fleischhauer: EXCEL IN NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK, GRUNDLAGEN UND ANWENDUNG, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Addison-Wesley, Munchen, 2000.

- [14] P. Litwin, K. Getz, M. Gilbert: ACCESS 2000 PRI-  
RUČNIK ZA PROGRAMERE, Mikro knjiga, Beo-  
grad, 2001.
- [15] S. Roman: ACCESS DATABASE DESIGN &  
PROGRAMMING, 3rd Edition, O'Reilly, Cambrid-  
ge, 2002.

- [16] Z. Stojković, D. Medan, M. Nikolić, Ž. Stankić,  
S. Oparnica: NEKI ASPEKTI PRIMENE PRO-  
GRAMA AUTOCAD U RAČUNARSKOM PRO-  
JEKTOVANJU, Elektroprivreda broj 4, 2003, str.  
18-26.

Rad je primljen u uredništvo 11. 10. 2004. godine



**Zlatan Stojković** (1960) je diplomirao (1984), magistrirao (1991) i doktorirao (1995) na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Osam godina je radio kao projektant u Energoprojekt - Hidroinženjering A.D. Od 1993. godine radi na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, gde je izabran u zvanje asistenta (1993), docenta (1995) i vanrednog profesora (2001). Na redovnim i poslediplomskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu izvodi nastavu iz predmeta Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici, Tehnika visokog napona, Primena programskih alata u elektroenergetici i Visokonaponska merenja u elektroenergetici. Kao stipendista Fondacije „Alexander von Humboldt”, Bon, SR Nemačka, boravio je u Institutu za visok napon i elektroenergetske sisteme Univerziteta u Karlsruheu, SR Nemačka, u toku 1997/98. i 2002. godine. Autor i koautor je dve monografije nacionalnog značaja i oko pedeset naučnih i stručnih radova. Nagrađen je za pet radova objavljenih na nacionalnim konferencijama. Učestvovao je u realizaciji oko trideset studija i projekata. Posедуje licence Inženjerske komore Srbije za odgovornog projektanta elektroenergetskih instalacija visokog i srednjeg napona - razvodna postrojenja i prenos električne energije, kao i elektroenergetskih instalacija niskog i srednjeg napona. Recenzent je renomiranih međunarodnih časopisa IEEE i IEE. E-mail: zstojkovic@etf.bg.ac.yu



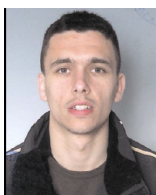
**Predrag Vučetić** dipl. el. ing., rođen je 05. 01. 1978. godine u Kruševcu, gde je završio osnovnu i srednju školu. Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Odsek za energetiku je upisao 1996. godine. Kao treći u generaciji, diplomirao je 2002. godine, sa ocenom 10, iz predmeta Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici. Poslednje dve godine bavi se objektno orijentisanim programiranjem, računarskom grafikom i relacionim bazama podataka. Vojni rok je služio u Vojno-tehničkoj akademiji u Žarkovu i u Vojnoj akademiji na Banjici, gde je radio na razvoju informacionog sistema biblioteka vojnih akademija. Zaposlen je kao sistem inženjer u Razvojnem centru Narodne biblioteke Srbije. E-mail: peda@nbs.bg.ac.yu



**Momčilo Bubnjević** je rođen 04. 10. 1976. godine u Kruševcu. Sa odličnim uspehom je završio osnovnu školu i gimnaziju u Pančevu. Osvojio je prvo mesto na regionalnom takmičenju iz fizike. Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Odsek za energetiku je upisao 1995. godine. Na smeru Elektroenergetski sistemi diplomirao je sa ocenom 10 na primeni programa Access u projektovanju elektroenergetskih postrojenja. Koristi programe Excel, Access, AutoCAD, Corel, kao i programske jezike Visual Basic, Fortran77 i C. Govori engleski jezik. Zaposlen je u Direkciji za izgradnju i uređenje Pančeva. E-mail: bubanj@ppt.yu



**Andreja Mijalčić** je rođen 16. 10. 1977. godine u Beogradu. Nakon završene osnovne škole i I beogradske gimnazije, 1996. godine je upisao Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Odsek za energetiku. Tokom studija odlučio se za smer Elektroenergetski sistemi. Studije je završio sa prosečnom ocenom 7,95. Diplomirao je decembra 2002. godine, sa ocenom 10, iz oblasti projektovanja pomoću računara u elektroenergetici. Zaposlen je u Saobraćajnom institutu CIP, Beograd. Email: mistevan@eunet.yu



**Bojan Bjelanović** je rođen 18. 04. 1978. godine u Zadru, gde je završio osnovnu školu, a zatim XII beogradsku gimnaziju „Dimitrije Tucović”. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu 2003. godine, na Odseku za energetiku, smer Elektroenergetski sistemi, na temu iz predmeta Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici. U decembru iste godine, radi naučnog usavršavanja, upisao je poslediplomske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Zaposlen je u Elektroprivredi Srbije, JP „Elektrostok”, Beograd.

# Jedan prilaz utvrđivanju toka dezintegracije i obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija

Prethodno saopštenje  
UDK: 621.316.7; 621.3.05; 621.31.

---

## Rezime:

U radu se izlaže jedan prilaz utvrđivanju toka dezintegracije i obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija. On je baziran na jednoj efikasnoj metodi za simultanu analizu postdinamičkih kvazistacionarnih stanja u proizvoljnom broju „ostrva”, nastalih u kritičnim stanjima dezintegracije, kao i u stanjima obnove pogona razmatrane elektroenergetske interkonekcije. Ova metoda koristi jedinstvenu numeričku proceduru koja omogućuje jednostavno uvažavanje efekata primarne regulacije napona i učestanosti, efekata dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, kao i efekata niza mogućih dispečerskih akcija. To se obavlja, kako tokom procesa dezintegracije, tako i tokom obnove pogona, kada se vrši sinhronizacija „ostrva”, uz prethodnu proveru ispunjenosti relevantnih uslova za to. Praktična i numerička efikasnost predložene metode pokazana je na primeru realne interkonekcije.

**Ključne reči:** metoda, dezintegracija, obnova pogona, realna interkonekcija

---

## Abstract:

### AN APPROACH TO THE EVALUATION OF DISINTEGRATION AND RESTORATION OF ELECTRIC POWER INTERCONNECTIONS

This paper presents an approach to the evaluation of disintegration and restoration of electric power interconnection. It is based on an efficient method for the simultaneous analysis of post-dynamic quasi-stationary states in an arbitrary number of „islands” resulting from power system disintegration and the ensuing reintegration of the power interconnection under consideration. This method uses a unique numerical procedure and enables a simple incorporation of the effects of primary frequency and voltage control, emergency control devices and a series of possible dispatch actions, both during the monitoring of the disintegration process and during power system restoration with „islands” synchronization. The practical and numerical efficiency of method proposed is demonstrated on an example of real interconnection.

**Key words:** method, disintegration, restoration, real interconnection

---

## 1. UVOD

Obezbeđenje potrebnog nivoa sigurnosti rada savremenih elektroenergetskih interkonekcija i dalje

ima izuzetan značaj i aktuelnost, iz razloga dobro poznatih ne samo užem krugu specijalista iz ove problematike. Ako se ne obezbedi željeni nivo sigurnosti, tada nije moguće uspešno ni da se ostvare

---

Prof. dr Dragan P. Popović, naučni savetnik Instituta „Nikola Tesla, 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a, e-mail: dpopovic@ieent.org  
Snežana V. Mijailović, dipl. el. ing. – Elektroenergetski koordinacioni centar, Beograd, 11 040 Beograd, Vojvode Stepe 412

ostali ciljevi, koji također imaju visoki prioritet i značaj, a koji su vezani za obezbeđenje ekonomičnog i kvalitetnog pogona, odnosno za obezbeđenje energetske efikasnosti u proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije.

Poslednjih godina, procesi liberalizacije tržišta električne energije i konsekvantno tome, restrukturiranje elektroprivrednih kompanija (kao jednom od najznačajnijih, a reklo bi se i najsloženijih i najdelikatnijih segmenata procesa reformi energetskog sektora) uneli su veoma širok spektar novih metodoloških i praktičnih aspekata, a naročito u pogledu novih zahteva i izazova u planiranju, eksploataciji i upravljanju, sada ne samo pojedinih elektroenergetskih sistema, već i elektroenergetskih interkonekcija u kojima se oni nalaze.

Međutim, dosadašnja praksa u nizu primera pokazala je da ti zadaci nisu u potpunosti rešavani na adekvatan način, čime je često bila veoma ozbiljno ugrožena sigurnost rada elektroenergetskih interkonekcija.

U pomenutom kontekstu, dovoljno je samo da se navedu najnovija iskustva vezana za sledeće teške „raspade“ delova elektroenergetskih interkonekcija, koja su se dogodila u drugoj polovini 2003. godine:

- 14. avgust - SAD i Kanada
- 23. avgust - Finska (Helsinki i Vantaa)
- 28. avgust - Engleska (London)
- 23. septembar - Švedska (južna) i Danska (istočna),
- 28. septembar - Italija.

Stoga ne iznenađuje da je tim problemima (Large Disturbance) bio posvećen specijalni Workshop na nedavno održanoj svetskoj konferenciji CIGRE (24<sup>th</sup> Session) [1], uz napomenu da je ova problematika takođe bila posebno aktuelna na ovim konferencijama, održanim 1998, 2000. i 2002. godine.

Analizirajući pomenute slučajeve „raspada“, na bazi raspoložive dokumentacije, može se konstatovati da je postojao niz uzroka i neposrednih povoda za njihovu pojavu (inicijalni poremećaj, koji se dalje kaskadno „širio“, neadekvatnost u dejstvu odgovarajućih zaštita, ljudski faktor, odnosno ljudska greška, nedostaci u komunikacionim sistemima i dr). Takođe, posebno se apostrofira i problem blagovremene prevencije, kao i potrebnog nivoa edukacije i treninga operativnog osoblja, što je povezano sa kvalitetom, karakteristikama i mogućnostima odgovarajućih softverskih alata i informacione osnove, prisutnih u savremenim centrima vođenja elektroenergetskih sistema (EES-a).

Ako bi se tražio neki zajednički imenitelj za analize statičke sigurnosti koje su prisutne u savremenim centrima vođenja EES-a, moglo bi da se konstatuje da su to takve analize, u kojima po pravi-

lu dominira klasični model tokova snaga (prisustvo jednog referentnog, odnosno balansnog čvora), koji se najčešće rešavao dobro poznatim brzim raspregnutim postupkom [2].

Takvi prilazi mogu da daju dovoljno tačnu indicaciju u pogledu (ne)zadovoljenja tri skupa fundamentalnih ograničenja (ograničenja potrošnje, pogonska i sigurnosna ograničenja), ali samo za ona postdinamička kvazistacionarna stanja u kojima je EES sačuvao svoj početni integritet.

Međutim, takvi prilazi ne mogu biti od veće praktične koristi kod onih stanja u kojima je došlo do pojave većeg broja „ostrva“ tokom procesa dezintegracije EES-a, kao i u stanjima nastalim tokom procesa restauracije, odnosno obnove pogona.

Na primer, široko korišćeni računarski program CLF-OPF [3], kod pojave i jednog jedinog „ostrva“, automatski se zaustavlja, jer konvencionalni model tokova snaga, na kome je ovaj program baziran, je „nemoćan“ da prati nastali proces dezintegracije.

Ista situacija u pogledu nemogućnosti kontinualnog praćenja procesa dezintegracije i obnove pogona je i sa računarskim programom PSS/E (Power System Simulator) [4], koji je dat na raspolaganje svim elektroprivredama članicama SECI (South-eastern European Cooperation Initiative), u okviru projekta razvoja elektroenergetske mreže u zemljama jugoistočne Evrope. Takođe, takva svojstva nema ni internacionalno poznati i priznati računarski program DIgSILENT [5], kao ni računarski program RASTR [6], koji je takođe dat na raspolaganje Elektroprivredi Srbije.

Imajući u vidu prethodno, javio se niz radova u kojima su učinjeni odgovarajući pokušaji da se „ovlada“ ovom izuzetno složenom problematikom. Na primer, u radu [7], to je učinjeno preko metode koja je bazirana na „znanju“ („*knowledge based methods*“), a u radu [8] dat je prilaz baziran na analitičkim alatima („*analytical tools*“). Prilaz baziran na primeni ekspertskih sistema izložen je u radu [9], a prilaz koji koristi veštačke neuralne mreže, dat je u radu [10].

Veliki praktični značaj ove problematike, odnosno potrebe za raspolaganjem odgovarajućih softverskih alata, inspirisao je i motivisao autore ovog rada u nastojanjima da se izvrši formulacija jedne takve metodologije (i odgovarajućeg računarskog programa) koja će na dovoljno adekvatan, ali i jednostavan i praktičan način, da *kontinualno* i *simultano* analizira stanja u proizvoljnom broju „ostrva“, nastalih u kritičnim stanjima dezintegracije razmatrane interkonekcije, ne menjajući početnu numeraciju čvorova. Od takve metodologije se zahtevalo da prati, takođe *kontinualno* i *simultano* i niz stanja u pro-

cesu obnove pogona u posthavarijskim stanjima, kada dolazi do postupne sinhronizacije niza formiranih „ostrva”, uz prethodno proučavanje i utvrđivanje svih potrebnih i dovoljnih uslova za to.

Ujedno, pomenuti ciljevi zahtevali su uvažavanje efekata primarne regulacije učestanosti i napona, efekata dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, kao i efekata niza mogućih dispečerskih akcija koje bi prethodile sinhronizaciji nastalih „ostrva”.

Rezultati početnih istraživačkih aktivnosti na ovoj problematici, bili su izloženi u radovima [11, 12, 13, 14]. U daljem radu na ovoj izuzetno kompleksnoj problematici, izvršena su sledeća unapređenja:

- Omogućeno je sukcesivno obuhvatanje procesa dezintegracije i obnove pogona.
- Izvršen je razvoj i testiranje jedne efikasne metode za kontinualno i simultano određivanje tokova snaga u postdinamičkih kvazistacionarnih stanja u proizvoljnom broju „ostrva”, nastalim u kritičnim stanjima dezintegracije, kao i tokova snaga u stanjima obnove pogona, kada se vrši njihova sinhronizacija.
- Razvijena je jedinstvena numerička procedura za kontinualno i simultano određivanje tokova snaga, pri čemu je zadržana nepromenjena numeracija čvorova razmatrane interkonekcije, koja je važila u polaznom stanju.
- Omogućena je komplementarna primena sa metodom koja na odgovarajući način obuhvataju relevantne dinamičke aspekte [15], čime je obezbeđen celovitiji prilaz ovoj, stvarno, veoma kompleksnoj problematici.
- Pre početka procesa obnove, omogućeno je sprovođenje niza dispečerskih akcija, u cilju da se „nivelišu” vrednosti učestanosti u formiranim „ostrvima”.
- Omogućeno je da se pre početka i tokom procesa obnove, obavlja provera ispunjenosti uslova u pogledu razlika vrednosti učestanosti „ostrva” koja se sinhronizuju, kao i provera razlika vrednosti uglova na krajevima elemenata koji se uključuju.
- Na bazi matematičkog modela i tehnike njegovog rešavanja, izloženih u ovom radu, kao i na bazi svih prethodno pomenutih unapređenja, u Institutu „Nikola Tesla”, razvijen je računarski program **RESTOR**. On omogućuje obuhvatanje interkonekcija sa 10 000 čvorova, 30 000 grana, 2 000 generatora, 4 000 transformatora, 200 regulacionih basena i 200 „ostrva”.
- Omogućeno je da su sve ulazne datoteke, preko kojih se definiše polazno stanje razmatrane interkonekcije, u potpunosti kompatibilne sa odgovarajućim datotekama koje koristi unapređena verzija računarskog programa **STATIC** [16, 17], namenje-

na za analize statičke sigurnosti i automatizovani proračun graničnih prenosnih kapaciteta.

- Time je omogućena uspešna komplementarna primena računarskih programa **STATIC** i **RESTOR**, što nesumnjivo može da bude veoma korisno u praksi.

Osnovni cilj ovoga rada je da izloži nove rezultate u daljem radu na ovoj problematici. Izlažu se suštinski aspekti unapređene metodologije, kroz izlaganje njenog matematičkog modela i razvijene tehnike rešavanja formiranog modela. Posebni akcent daje se razvijenom računarskom programu **RESTOR**, koji na *jedinstveni, kontinualni i simultani način „prati”* procese dezintegracije i obnove pogona. Na kraju rada daju se karakteristični primeri praktične primene ovoga računarskog programa u slučaju realne elektroenergetske interkonekcije, koji daju dovoljno elemenata za ocenu njegove efikasnosti, a time i upotrebne vrednosti.

## 2. LISTA UPOTREBLJENIH OZNAKA

$N$  – ukupan broj, odnosno oznaka skupa svih čvorova EES-a

$NG$  – ukupan broj, odnosno oznaka skupa generatorskih čvorova

$NSV$  – ukupan broj, odnosno oznaka skupa generatora koji imaju statičku karakteristiku napon - reaktivna snaga

$NL$  – ukupan broj, odnosno oznaka skupa svih „neproizvodnih” čvorova ( $NL=N-NG$ )

$MI$  – broj, odnosno oznaka skupa indeksa „ostrva”, formiranih tokom procesa dezintegracije

$f_m = f - f_n$  – odstupanje kvazistacionarne vrednosti učestanosti  $f_m$  „ostrva”  $m$  ( $m \in \overline{1, MI}$ ) od nominalne vrednosti  $f_n$  (Hz);

$MR$  – broj, odnosno oznaka skupa indeksa referentnih čvorova, po jedan pridružen svakom od formiranih „ostrva” ( $MR=MI$ )

$N_m$  – oznaka skupa indeksa čvorova u „ $m$ ”-tom „ostrvu”

$\cup, \cap$  – oznaka za uniju i presek skupova

$s$  – stalni statizam primarne regulacije učestanosti agregata

$P_{Gn}$  – nominalna aktivna snaga generatora

$k_p$  – regulaciona konstanta agregata ( $k_p=100 P_{Gn}/s f_n$ )

$P_{GO}, Q_{GO}$  – aktivna i reaktivna snaga generatora u polaznom ustaljenom stanju

$V_{GO}$  – napon na krajevima generatora u polaznom ustaljenom stanju

$s_V$  – statizam primarne regulacije napona generatora

$P_L(V, f_m), Q_L(V, f_m)$  – aktivna i reaktivna snaga potrošača kao složene nelinearne funkcije od napona i kva-

zistacionarne vrednosti učestanosti u „m”-tom „ostrvu”

$P, Q$  – injektirana aktivna i reaktivna snaga

$P_{Gmin}, P_{Gmax}$  – minimalna i maksimalna aktivna snaga generatora

$Q_{Gmin}, Q_{Gmax}$  – minimalna i maksimalna reaktivna snaga generatora

### 3. FORMULACIJA METODE

#### 3.1. Matematički model postdinamičkih kvazistacionarnih tokova snaga u nizu formiranih „ostrva” EES-a

Za postdinamička, kvazistacionarna stanja EES-a koji je dezintegriran na  $MI$  „ostrva”, nastalih nakon poremećaja koji su ih uzrokovali i dejstva primarne regulacije napona i učestanosti, važe sledeće jednačine balansa snaga [11]:

$$P_i - P_{G0i} - k_{Pi} f_m - P_i = 0 \quad i \in NG \quad (1)$$

$$Q_i - Q_{G0i} - Q_{G0i}(V_{0i} - V_i)/(s_{vi}V_{0i}) - Q_i = 0 \quad i \in NSV \quad (2)$$

$$P_i - P_{Li}(V_i, f_m) - P_i = 0 \quad i \in NL \quad (3)$$

$$Q_i - Q_{Li}(V_i, f_m) - Q_i = 0 \quad i \in NL \quad (4)$$

$m \in MI$

Dakle, u pitanju su jednačine balansa analogne jednačinama datim u radu [18], a koje važe za interkonekciju koja je sačuvala svoj topološki integritet. **Jedina razlika je u tome što sada, umesto jedinstvene kvazistacionarne vrednosti učestanosti  $f$ , figuriše onoliki broj učestanosti  $f_m$ , koji je jednak broju „ostrva”, nastalih tokom procesa dezintegracije.**

Uz zadovoljenje prethodno datih jednačina balansa, potrebno je takođe striktno zadovoljiti i sledeća (tzv. „tvrda”) ograničenja, koja važe za generatorske čvorove:

$$P_{Gmini} \leq P_{Gi} \leq P_{Gmaxi} \quad (5)$$

$$Q_{Gmini} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gmaxi} \quad i \in NG \quad (6)$$

koja, za razliku od uobičajenih prilaza, nemaju unapred zadate konstantne vrednosti, već su odgovarajuće funkcije veličina tretiranih stanja [18].

Jednačine balansa (1)-(4), uz respektovanje ograničenja (5) i (6), aktuelne su i za stanja nastala nakon dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, čija se indikacija reagovanja obavlja posebno razvijenim procedurama. Indikacija reagovanja automatskog frekventnog rasterećenja potrošača i/ili

reagovanja automatske frekventne zaštite generatora obavlja se na bazi pogodno formiranog jednostavnog matematičkog modela, koji tretira dinamiku promene učestanosti u svim formiranim ostrvima [15].

U slučaju indikacije, odnosno dejstva frekventnog rasterećenja potrošača, dolazi do korekcija veličina  $P_{Li}$  i  $Q_{Li}$  u jednačinama balansa (3) i (4), saglasno predviđenom iznosu isključenja za aktivirani stepen. Kada ima indikacije delovanja frekventne zaštite generatora, dolazi do odgovarajućih korekcija veličina  $P_{G0i}$  u jednačini (1).

Takođe, navedene jednačine balansa snaga (1)-(4), uz respektovanje ograničenja (5) i (6), aktuelne su i za stanja nastala nakon odgovarajućih dispečerskih akcija. Na primer, ako se kompenzacija nastalog debalansa aktivne snage vrši aktiviranjem raspoložive rezerve u snagama generatora, to će dovesti do odgovarajućih korekcija veličina  $P_{G0i}$  u jednačini (1). Dalje, ako se sprovedu redukcije potrošnje, to će dovesti do odgovarajućih korekcija veličina  $P_{Li}$  i  $Q_{Li}$  u jednačinama (3) i (4)).

Kako je to naglašeno u prethodnom izlaganju, od ove metode se zahtevalo da prati, takođe *simultano*, i niz stanja u procesu obnove pogona u posthavarijskim stanjima, kada je neophodno da se izvrši postupna sinhronizacija niza formiranih „ostrva”, uz prethodno proučavanje i utvrđivanje svih potrebnih i dovoljnih uslova za to.

Dakle, pitanje je da li jednačine balansa (1)-(4) imaju mogućnosti i za praćenje procesa reintegracije interkonekcije, u kojoj se formirao niz „ostrva”? Odgovor je da, ali ne same, već uz pomoć posebnih procedura koje proučavaju i utvrđuju sve potrebne i dovoljne uslove za nesmetanu sinhronizaciju formiranih „ostrva”.

#### 3.2. Tehnika rešavanja formiranog modela – brzi raspregnuti postupak

Kao i u slučaju matematičkog modela u kome je sačuvan integritet razmatrane interkonekcije, razvoj brzog raspregnutog postupka startovao je od primene metode Newton-Raphsona [19] na jednačine balansa (1)-(4). Dalje, uvode se odgovarajuća uprošćenja i pretpostavke, analogno kao kod razvoja procedure izložene u radu [18], koje su isključivo bile u funkciji pojednostavljenja same tehnike rešavanja.

Uvodeći ova uprošćenja i formirajući vektore  $DP/V$ ,  $DP_r/V$  i  $DQ/V$ , po analogiji sa [2], dobijaju se sledeća dva raspregnuta sistema jednačina, koja se sukcesivno rešavaju (smisao uvedenih iteracionih indeksa  $k$  i  $l$ ):

$$\begin{matrix} k & & k & & k+1 \\ \hline \mathbf{DP}/V & & \mathbf{H}' & \mathbf{F}' & \mathbf{Dq} \\ \hline \mathbf{DP}_r/V_r & = & & & \mathbf{D(Df)} \\ \hline \end{matrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{Q}/V^l \quad \mathbf{L} \quad V^{l-1} \quad (8)$$

Sistem jednačina (7) određuje vektor nepoznatih uglova  $\mathbf{q}$  dimenzije  $N-MI$  i vektor nepoznatih odstupanja kvazistacionarnih vrednosti učestanosti  $\mathbf{Df}$  dimenzije  $MI$ , a nepoznati vektor modula napona  $V$ , dimenzije  $NSV+NL$ , dobija se rešavanjem sistema jednačina (8).

Elementi submatrica koeficijenata  $\mathbf{H}'$ ,  $\mathbf{F}'$  i  $\mathbf{L}'$  imaju sledeći oblik:

$$H_{ii} \quad V_n B_{ii} \quad i \quad N \quad MR \quad (9)$$

$$H_{ij} \quad V_n B_{ij} \quad i \quad N \quad j \quad N \quad MR \quad (10)$$

$$F_{ij} \quad \begin{matrix} k_{pi}/V_n & i & (NG \quad Nj) & j & MI \\ 0 & i & (NL \quad Nj) & j & MI \\ 0 & & i & N & j & MI \end{matrix} \quad (11)$$

Analizirajući dobijene raspregnute jednačine (7) i (8), uočava se njihova analogija sa jednačinama datim u radu [18], a koje su validne za interkonekciju koja nije narušila svoj integritet. Jedina razlika je što sada, umesto jedne jedinstvene učestanosti, figuriše vektor učestanosti, čija je dimenzija jednaka broju „ostrva” formiranih tokom procesa dezintegracije.

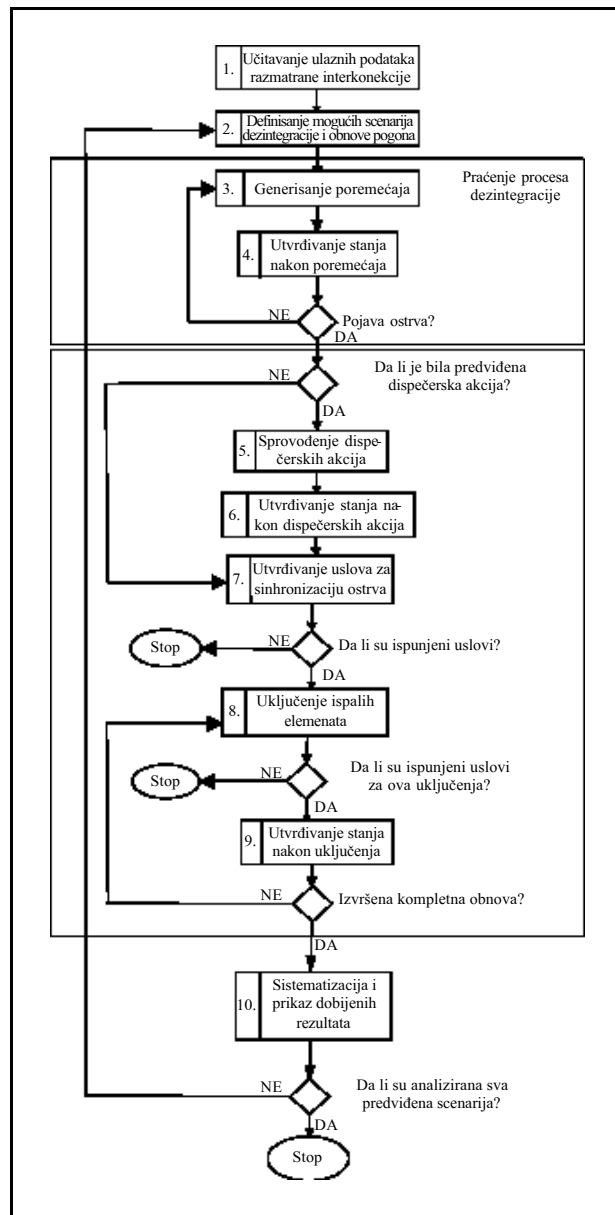
Dalje, analizirajući navedene relacije (9)-(11), uočava se da elementi submatrica koeficijenata  $\mathbf{H}'$ ,  $\mathbf{F}'$  i  $\mathbf{L}'$  imaju konstantne vrednosti za nepromenjeno stanje grafa razmatrane interkonekcije. To suštinski pojednostavljuje postupak rešavanja, a kako će se to pokazati u narednom izlaganju, to nije ugrozilo dobre karakteristike konvergencije razvijene iterativne procedure.

#### 4. RAČUNARSKI PROGRAM RESTOR

Na bazi matematičkog modela i tehnike njegovog rešavanja, izloženih u prethodnom tekstu, kao i na bazi unapređenja navedenih u uvodu ovoga rada, u Institutu „Nikola Tesla” razvijen je računarski program **RESTOR**, koji pored glavnog programa ima 27 potprograma tipa subroutine, a omogućeno je tretiranje interkonekcija sa 10 000 čvorova, 30 000 grana, 2 000 generatora, 4 000 transformatora, 200 regulacionih basena i 200 „ostrva”.

Na slici 1, daje se uprošćeni dijagram toka obavljanja ovoga računarskog programa, odnosno dijagram toka utvrđivanja procesa dezintegracije i obnove pogona razmatrane interkonekcije.

Program startuje učitavanjem ulaznih podataka razmatrane interkonekcije (blok 1), uz jednu veoma važnu napomenu, da su sve ulazne datoteke, preko kojih se definiše polazno stanje, u potpunosti kompatibilne sa odgovarajućim datotekama koje koristi unapređena verzija računarskog programa **STATIC** [16,17]. Ta činjenica je apostrofirana, jer govori o praktičnoj mogućnosti uspešne komplementarne primene računarskih programa **STATIC** i **RESTOR**,



Slika 1. Uprošćeni dijagram toka utvrđivanja procesa dezintegracije i obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija



što nesumnjivo može da bude veoma korisno u praksi.

Dalje, vrši se definisanje mogućih scenarija dezintegracije i obnove pogona (blok 2). Tu se Korisniku ovoga programa pruža niz raznovrsnih mogućnosti i kombinacija. Tada dolaze do izražaja dosadašnja empirijska iskustva koja omogućuju da se anticipiraju kritična stanja koja mogu da dovedu do dezintegracije, ili da se tokom samog praćenja posledica generisanih poremećaja, zavisno od izabranog scenarija, mogu javiti slučajevi kaskadnog razvoja poremećaja, koji dovodi do formiranja „ostrva”.

Za usvojeni scenario, praćenje procesa dezintegracije razmatrane interkonekcije obavlja se preko narednih blokova 3 i 4. Generisanje poremećaja, koji mogu, po izboru Korisnika, da budu jednostruki ili višestruki, obavlja se u bloku 3. Pri tome potrebno je da se posebno naglasi, da se za poremećaje tipa gubitka injektiranja (ispadi generatorskih jedinica), primenom metode izložene u [15], određuju vrednosti učestanosti, u početnoj fazi njene dinamike promene. Ta metoda bazirana je na jednostavnom matematičkom modelu niskoga reda, koji daje dovoljno tačne vrednosti učestanosti, u početnoj fazi njene dinamike promene i vrednosti kvazistacionarne učestanosti, uspostavljene nakon završetka rada primarne regulacije.

Time se dobija mogućnost utvrđivanja (ne)reagovanja automatskog frekventnog rasterećenja potrošača (AFRP-a). Ovo ima posebnu praktičnu vrednost u slučaju pojave „ostrva” sa značajnim debalansima aktivne snage, kada AFRP ima dominantan uticaj na saniranje posledica teških poremećaja.

U slučaju indikacije a zatim i dejstva AFRP, dolazi do korekcija veličina snaga potrošača  $P_{Li}$  i  $Q_{Li}$  u prethodno datim jednačinama balansa (3) i (4), saglasno predviđenom iznosu isključenja za aktivirani stepen AFRP-a. U slučajevima kada ima indikacije delovanja frekventne zaštite generatora, dolazi i do odgovarajućih korekcija veličina snaga generatora  $P_{G0i}$  u jednačini (1).

Određivanje postdinamičkog, kvazistacionarnog stanja uspostavljenog nakon izabranog poremećaja (jednostrukog ili višestrukog) i nakon eventualnog delovanja uređaja protiv havarijske automatike, obavlja se u bloku 4 (posredstvom iterativnog rešavanja sistema raspregnutih jednačina (7) i (8)). Za dobijeno stanje utvrđuju se narušavanja naponskih i strujnih ograničenja.

Aktivnosti navedene u blokovima 3 i 4 ponavljaju se sve do pojave dezintegracije razmatrane interkonekcije, odnosno kada su do tada razmatrani poremećaji doveli do pojave „ostrva”, a za koja su utvrđena stanja (kvazistacionarne vrednosti učestanosti u svakom od formiranih „ostrva”, tokovi sna-

ga i naponske prilike u njima, uz utvrđivanje narušavanja naponskih i strujnih ograničenja).

Ako je to Korisnik unapred predvideo, tu može da se zaustavi obavljanje programa, i da ponovi prethodno opisane postupke, za neki novi scenario. Ako nije, tada nastupa jedna važna faza u obavljanju ovoga programa, definisana u bloku 5 (sprovođenje odgovarajućih dispečerskih akcija). Korisniku je data mogućnost da ih ukoliko želi unapred predvidi, ili ne, ali po pravilu, one su neophodne, kada se ide dalje na obnovu pogona, odnosno sinhronizaciju formiranih „ostrva”.

Smisao ovih dispečerskih akcija je da se korekcijom proizvodnje (povećanjem, odnosno smanjenjem) izvrše korekcije vrednosti učestanosti u formiranim „ostrvima”. Kako je to već rečeno, prethodno navedene jednačine balansa snaga (1)-(4), uz respektovanje ograničenja (5) i (6), aktuelne su i za stanja nastala nakon odgovarajućih dispečerskih akcija. Na primer, ako se kompenzacija nastalog debalansa aktivne snage u nastalom „ostrvu” vrši aktiviranjem u njemu raspoložive rezerve u snagama generatora, koriguju se odgovarajuće veličine  $P_{G0i}$  u jednačini (1). Pri tome, poželjno je da ove korekcije omoguće da nove vrednosti učestanosti budu što bliže nominalnoj vrednosti, kako bi se dalje uspešno nastavio proces obnove pogona.

Simultano određivanje postdinamičkih kvazistacionarnih stanja u formiranim „ostrvima”, uspostavljenih nakon sprovedenih dispečerskih akcija, obavlja se u narednom bloku 6 (takođe, posredstvom iterativnog rešavanja sistema raspregnutih jednačina (7) i (8)). Za dobijena stanja, utvrđuju se narušavanja naponskih i strujnih ograničenja.

Zatim se utvrđuje (blok 7) da li se razlike novih vrednosti učestanosti nalaze u tolerantnim granicama (na primer, 0,2 Hz). Ako su te razlike veće od tolerantnih, program se zaustavlja, čime se Korisniku daje mogućnost da bolje osmisli scenario početka obnove pogona, odnosno da izvrši generisanja dispečerskih akcija koje će dovesti do željenog rezultata. Ako su razlike učestanosti u tolerantnim granicama, nastavlja se proces obnove, definisan narednim blokovima 8 i 9.

U bloku 8 pojedinačno se uključuju prethodno „ispali” elementi. Tu se misli na prethodno „ispale” generatore, kao i potrošače, koji su prethodno isključeni dejstvom AFRP.

Kada je u pitanju uključenje „ispalog” dalekovoda, prethodno se utvrđuje razlika uglova na njihovim krajevima. Ako se ta razlika nalazi u tolerantnim granicama (na primer, do 30 električnih stepeni), dalekovod se uključuje i određuju se postdinamička kvazistacionarna stanja, uspostavljena nakon svih ovih uključenja. To se obavlja u narednom blo-

ku 9, takođe, posredstvom iterativnog rešavanja sistema raspregnutih jednačina (7) i (8).

Ako je razlika uglova veća od unapred propisane tolerantne vrednosti, računarski program se zaustavlja, čime se Korisniku daje mogućnost da bolje osmisli scenario dalje obnove pogona, odnosno da formira bolji redosled uključenja „*ispalih*” elemenata, odnosno takav redosled koji će dovesti do željenog rezultata.

Aktivnosti navedene u blokovima 8 i 9, saglasno izabranom scenariju, ponavljaju se sve dok se ne izvrši kompletna obnova razmatrane interkonekcije. Za to stanje, kao i za sva prethodna, određuju se tokovi snaga i naponske prilike, i utvrđuju se narušavanja naponskih i strujnih ograničenja. Za razmatrani scenario, na kraju, u bloku 10, vrši se sistematizacija i prikaz dobijenih rezultata, karakterističnih za sagledavanje karaktera i suštine procesa dezintegracije i obnove.

U slučaju da je Korisnik kreirao više scenarija dezintegracije i obnove, što mu ovaj računarski program omogućuje, prethodno opisane aktivnosti u blokovima 2-10 se obavljaju na opisani način, sve dok se ne iscrpi sav njihov broj.

## 5. PRIMERI PRAKTIČNE PRIMENE RAZVIJENE METODOLOGIJE

### 5.1. Uvodne napomene

Prva praktična iskustva u primeni razvijene metode za praćenje toka dezintegracije i obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija, sticana su na primeru EES-a bivše Jugoslavije, saglasno podacima iz studije [20]. Bila je obuhvaćena kompletna 400 kV i 220 kV mreža, uključujući i povezne dalekovode sa interkonekcijom UCPT (tada UCPT, a sada UCTE), na čijim su krajevima priključeni odgovarajući statički ekvivalenti, formirani prema metodologiji prikazanoj u radu [21]. Razmatrano je više scenarija dezintegracije (naravno, hipotetičkih), a zatim i više mogućih scenarija obnove pogona (takođe, hipotetičkih). Rezultati te primene izloženi su u radovima [12, 13].

Dalja iskustva u primeni razvijene metode sticana su na primeru sinhronog paralelnog rada EES-a bivše Jugoslavije, Rumunije, Makedonije, Grčke i Albanije, saglasno podacima iz studije [22]. Modelovane su kompletne mreže 400 kV i 220 kV u pomenutim EES, osim u EES Grčke, gde su kompletno modelovane mreže 400 kV i 150 kV samo u njegovom severnom delu (a ostatak je predstavljen preko ekvivalenta Wardovog tipa dobijenog od grčke elektroprivrede). Rezultati te primene izloženi su u [11, 13].

Dalja poboljšanja i unapređenja predložene metodologije rađena su kroz niz studija i projekata koje su za potrebe raznih Naručioaca urađene tokom devedesetih godina. Osnovni cilj daljeg razvoja i unapređenja ove metodologije leži u potrebi da se u uslovima restrukturiranja i otvaranja tržišta električne energije, koje za posledicu ima povećanje broja transakcija koje značajno utiču na obezbeđenje zatevanog nivoa sigurnosti interkonekcije, stručnoj javnosti stavi na uvid i raspolaganje jedan takav programski paket, sa kojim će se moći sagledati tok dezintegracije i integracije EES-a, i na adekvatan način proceniti sigurnost EES-a i eventualne neophodne dispečerske akcije u cilju njenog obezbeđenja.

### 5.2. Primeri praktične primene računarskog programa *RESTOR*

Prethodna iskustva su navedena da ukazu na činjenicu da je rad na ovako složenoj problematici morao da ima odgovarajući kontinuitet, kako bi bio učinjen pokušaj da se izvrši razvoj jedne metodologije, odnosno računarskog programa *RESTOR*, koji bi na jedinstveni, kontinualni, simultani i sofisticirani način „*pratio*” procese dezintegracije i obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija. Ujedno, težilo se da neophodna informaciona osnova za njegovu praktičnu primenu bude u potpunosti kompatibilna sa već postojećom bazom podataka, koju koristi najnovija verzija računarskog programa *STATIC*, namenjena za analize statičke sigurnosti i automatizovani proračun graničnih prenosnih kapaciteta.

Odgovor na pitanje kako su i koliko su u tome autori ovoga rada uspeli, uz prethodno izloženo u četvrtom poglavlju ovoga rada, pokušaću da pruže naredni primeri praktične primene računarskog programa *RESTOR*.

Pre prelaska na prikaz i interpretaciju dobijenih rezultata, potrebno je posebno da se naglasi da je izbor scenarija (i ovde je to bilo u domenu hipotetičnosti) odnosno izbor inicijalnog i narednih poremećaja (jednostrukih ili višestrukih), a time pojave i daljeg toka dezintegracije, kao i izbor scenarija obnove pogona, prvenstveno izvršeni u cilju ilustracije mogućnosti i karakteristika razvijene metodologije, odnosno računarskog programa *RESTOR*, a ne da reše neki od konkretnih problema u interkonekciji.

Autori ovoga rada bili su voljni da se to uradi na primeru ponovnog povezivanja sa glavnim delom UCTE mreže, koje je uspešno obavljeno 10. oktobra 2004. godine [23]. Međutim, potrebni podaci za to, za sada nisu pristupačni širem auditorijumu. Naravno, kada oni budu pristupačni, autorima ovoga rada biće veliki izazov, ali i veliko zadovoljstvo da stave

u iskušenja razvijeni računarski program **RESTOR** u njegovoj konkretnoj primeni na problemima realne interkonekcije jugoistočne Evrope.

Stoga, za pomenute svrhe, a u cilju ilustracije rada razvijenog programa, poslužilo je aktuelno stanje Druge UCTE sinhronne zone, koje je formirao Naručilac Studije [16], na kome je uspešno izvršeno funkcionalno testiranje jedinstvene programske celine koju čine računarski programi **STATIC**, **STATICW** i **KONVERTOVANJE FORMATA**, u **ORACLE** okruženju.

U pitanju je realna interkonekcija sa 1 059 čvorova (175 generatora i 1 413 grana), koju sačinjavaju EES Srbije i Crne Gore (SCG), Bosne i Hercegovine (istočni deo) (BH), Makedonije (MA), Rumunije (RO), Bugarske (BG), Grčke (GR) i Albanije (AL). Modelovane su kompletne viskonaponske mreže 220 i 400 kV u pomenutim EES (u EES Grčke, relevantni delovi mreže 150 kV), uz napomenu da je kompetno modelovana mreža 110 kV u EES Srbije i Crne Gore. Dakle, sasvim odgovarajuće „dimenzije problema”, u kontekstu sagledavanja karakteristika (prvenstveno numeričkih) i mogućnosti razvijene metodologije, odnosno računarskog programa **RESTOR**.

Od niza dobijenih rezultata, izdvajaju se rezultati jednog scenarija (naravno, hipotetičkog), u kome je došlo do pojave „ostrva”, nakon ispada interkonektivnih dalekovoda 400 kV Đerdap (SCG)-Portile de Fier (RO) (opterećenog sa 109 MW u smeru od prvomenovanog čvora), Niš (SCG)-Sofija (BG) (45 MW) i Blagoevgrad (BG)-Thessaloniki (GR) (238 MW), uz ispad agregata u NE Kozlodui (BG) (gubitak injektiranja u iznosu 2 022 MW). Naravno, u pitanju su „žestoki” poremećaji, ali svesno izabrani da predloženu metodologiju dovedu u ekstremna iskušenja.

Kao neposredna posledica isključenja pomenutih dalekovoda, formiraće se dva „ostrva”. Prvo „ostrvo” činiće EES Rumunije i Bugarske, a drugo, EES Srbije i Crne Gore, Bosne i Hercegovine (istočni deo), Makedonije, Grčke i Albanije.

Tabela 1 prikazuje početne deblanse aktivne snage (MW) u formiranim „ostrvima”. U toj tabeli, **SDP** predstavlja ukupne deblanse aktivne snage (po iznosu i znaku) u formiranim „ostrvima” (znak „minus” označava nedostatak, a znak „plus”, „višak” aktivne snage). Te vrednosti ukupnog debalansa, računarski program **RESTOR** automatski proračunava.

Ukupni iznos debalansa **SDP** je algebarski zbir gubitka injektiranja od strane generatora ( $DP_G$ ) i potrošnje ( $DP_L$ ), kao i debalansa, nastalog usled ispada interkonektivnih dalekovoda ( $DP_T$ ), koji su doveli do formiranja „ostrva”.

Tabela 1.

Početni debalansi aktivnih snaga (MW) u formiranim „ostrvima”

| Broj | „Ostrvo”            | $DP_G$ | $DP_L$ | $DP_T$ | <b>SDP</b> |
|------|---------------------|--------|--------|--------|------------|
| 1.   | RO, BG              | -2 022 | 686    | 84     | -1 252     |
| 2.   | SCG, BH, MA, GR, AL | /      | /      | -84    | -84        |

Veličina  $DP_L$  je iznos snage potrošača koji je isključen dejstvom prvog stepena AFRP-a (686 MW) u prvom „ostrvu”, odnosno u EES Rumunije i Bugarske (po reagovanju prvog stepena, 10 % od unapred specificiranog iznosa). Do tog reagovanja će sigurno doći, jer minimalna vrednost učestanosti u EES Rumunije i Bugarske, kada su se oni „odvojili” od ostatka interkonekcije, u početnom periodu dinamike njene promene, je iznosila 48,247 Hz. To je dovelo do dejstva prvog stepena AFRP, čija pro-radna vrednost učestanosti iznosi 49,0 Hz. Ova ekstremna vrednost učestanosti u iznosu od 48,247 Hz dobijena je primenom metode, koja je izložena u radu [15]. Ta metoda, koja je inkorporirana u računarski program **RESTOR**, bazirana je na jednostavnom matematičkom modelu niskoga reda, koji daje dovoljno tačnu vrednost učestanosti, u početnoj fazi njene dinamičke promene.

Za tako formirana dva „ostrva” (i dve vrste karakteristika potrošača (a) i (b)), razvijena brza raspregnuta metoda (sistemi raspregnutih jednačina (7) i (8)) simultano određuje postdinamička kvazistacionarna stanja u njima. Saglasno pokazateljima iznetim u narednoj tabeli 2, to je urađeno veoma brzo i efikasno (bilo je potrebno manje od deset iteracija za željenu tačnost od 0,000 1 Hz i 0,1 MW, odnosno Mvar), imajući u vidu „dimenziju problema” i razmatrani višestruki poremećaj. Pomenuta tabela takođe daje i uspostavljene kvazistacionarne vrednosti učestanosti ( $f_m$ ;  $m\bar{I}MI$ ) u formiranim „ostrvima”.

Tabela 2.

Broj potrebnih iteracija i uspostavljene kvazistacionarne vrednosti učestanosti (Hz)

| Broj | „Ostrvo”            | Karakteristike potrošača | Broj potrebnih iteracija | $f_m$ (Hz) |
|------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| 1.   | RO, BG              | (a)                      | 9                        | 49,625     |
|      |                     | (b)                      | 7                        | 49,637     |
|      |                     | (a)*                     | 9                        | 49,377     |
| 2.   | SCG, BH, MA, GR, AL | (a)                      | 9                        | 49,999     |
|      |                     | (b)                      | 7                        | 49,999     |

(a) konstantna aktivna i reaktivna snaga potrošača

(b) aktivna snaga je linearna, a reaktivna snaga je kvadratna funkcija napona; frekventna zavisnost potrošnje - 0,02 p.u./Hz

\* – dejstvo automatskog frekventnog rasterećenja potrošača nije uvaženo.

Dalje, nastupa jedna važna faza u odvijanju računarskog programa **RESTOR**, definisana u bloku 5 na slici 1 (sprovođenje odgovarajućih dispečerskih akcija). Kako je to već bilo istaknuto, Korisniku je data mogućnost da ih unapred predvidi ili ne. Međutim one su, po pravilu, neophodne ako se ide dalje na analizu mogućnosti i samog načina obnove pogona, odnosno sinhronizacije formiranih „ostrva”.

U razmatranom primeru, bila su formirana dva „ostrva”, sa značajnim razlikama u uspostavljenim kvazistacionarnim vrednostima učestanosti. Ukoliko Korisnik programa nije unapred predvideo dispečerske akcije, obavljanje programa se zaustavlja, uz konstataciju da je u pitanju nedopustivo velika razlika učestanosti (0,374 Hz, odnosno 0,622 Hz, ako se ne uvažava dejstvo AFRP-a) u odnosu na toleransu (0,200 Hz). Dakle, proces obnove nije mogao uspešno da se obavi, ako se prethodno nisu sprovele odgovarajuće dispečerske akcije.

Smisao ovih dispečerskih akcija, kako je to već bilo istaknuto, je da se odgovarajućom korekcijom proizvodnje (naravno, u okviru raspoloživih mogućnosti) izvrše korekcije vrednosti učestanosti u formiranim „ostrvima”. Pri tome, poželjno je da ove korekcije omoguće da nove vrednosti učestanosti budu međusobno što bliskije, odnosno po mogućstvu da su što bliže nominalnoj vrednosti, kako bi se dalje uspešno nastavio proces obnove pogona, odnosno ponovne integracije razmatrane interkonekcije. Naredne analize bavile su se neophodnim dispečerskim akcijama u svakom od formiranih „ostrva”. Naravno, i tu je postojala mogućnost niza različitih scenarija.

Za prvo „ostrvo”, koga čine EES Rumunije i Bugarske, ukupan debalans aktivne snage je iznosio 1 252 MW (koji je „važeci” nakon dejstva prvog stepena frekventnog rasterećenja potrošača). U razmatranom primeru, on je mogao biti neutralisan aktiviranjem raspoložive rotacione rezerve u pomenu EES. Međutim, u ovom „ostrvu”, u razmatranom stanju nije bilo moguće u potpunosti da se obnovi napajanje ukupnog konzuma, koji je bio pre ovih poremećaja i dejstva prvog stepena AFRP-a, jer za to nije bilo dovoljne rotacione rezerve u angažovanim izvorima. Dalje analize su pokazale da je obnova kompletne potrošnje moguća tek nakon uspešne sinhronizacije ova dva „ostrva”, ali uz ispunjenje odgovarajućih uslova, odnosno uz respektovanje poželjnog redosleda uključivanja „ispalih” interkonektivnih dalekovoda.

Za drugo „ostrvo”, tu nije bilo nikakvih problema, jer nastali debalans (84 MW) je mogao biti neutralisan brzim aktiviranjem raspoložive rezerve u aktivnoj snazi (na primer u HE Đerdap).

Nakon ovih dispečerskih akcija i nakon dejstva primarne regulacije učestanosti, nova postdinamička kvazistacionarna stanja u oba „ostrva” bila su određena veoma brzo i efikasno, primenom razvijene brze raspregnute metode (sistemi raspregnutih jednačina (7) i (8)) (bilo je potrebno manje od sedam iteracija).

U prvom „ostrvu” se uspostavila kvazistacionarna vrednost učestanosti u iznosu od 49,993 Hz, koja je veoma bliska nominalnoj vrednosti, što ne iznenađuje, imajući u vidu da su sprovedene dispečerske akcije „pokrile” nastali debalans aktivne snage. Još manje iznenađuje da se u drugom „ostrvu” uspostavila učestanost u iznosu 50,000 Hz, s obzirom na „pokrivanje” debalansa u iznosu od 84 MW.

Na taj način, stekli su se povoljni uslovi da se izvrši kompletna restauracija razmatrane interkonekcije. Međutim, pri tome bilo je veoma važno da se utvrdi najpovoljniji redosled uključivanja „ispalih” interkonektivnih dalekovoda, što to računarski program **RESTOR** omogućuje, saglasno dijagramu toka utvrđivanja procesa obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija, datom na slici 1.

Kako je to istaknuto, kod uključivanja „ispalog” dalekovoda, prethodno se proverava razlika uglova na njihovim krajevima. Ako se ta razlika nalazi u tolerantnim granicama (na primer, do 30 električnih stepeni), dalekovodi se uključuju po unapred datom redosledu, a zatim se određuju postdinamička kvazistacionarna stanja, uspostavljena nakon svih ovih uključivanja (takođe, posredstvom iterativnog rešavanja sistema raspregnutih jednačina (7) i (8)). Ako je razlika uglova veća od tolerantne vrednosti, odvijanje programa se zaustavlja, čime se Korisniku daje mogućnost da bolje osmisli scenario dalje obnove pogona, odnosno da formira bolji redosled uključivanja „ispalih” elemenata, odnosno takav redosled koji će dovesti do željenog rezultata.

U konkretnom slučaju, analize su pokazale da je najpovoljniji sledeći redosled uključivanja:

1. Niš (SCG)-Sofija (BG)
2. Blagoevgrad (BG) - Thessaloniki (GR)  
(razlika uglova 2,72 ° električni)
3. Đerdap (SCG)-Portile de Fier (RO)  
(razlika uglova 9,20 ° električni).

Takođe, je utvrđeno da je povoljan i sledeći redosled uključivanja:

1. Niš (SCG)-Sofija (BG)

2. Đerdap (SCG)-Portile de Fier (RO)  
(razlika uglova  $8,68^\circ$  električnih)
3. Blagoevgrad (BG) - Thessaloniki (GR)  
(razlika uglova  $5,83^\circ$  električnih).

Prethodno izneti pokazatelji odnose se na scenario, u kome se nakon sinhronizacije prvog i drugog „ostrva” (uključenje dalekovoda Niš (SCG)-Sofija (BG)), izvršila obnova napajanja ukupnog konzuma u prvom „ostrvu”, koji je bio u polaznom stanju, odnosno kada je obnovljeno napajanje potrošnje isključene dejstvom prvog stepena AFRP. U slučaju da do takve obnove nije došlo, razlika uglova na sledećem uključenom dalekovodu Blagoevgrad (BG) - Thessaloniki (GR) bi iznosila  $15,85^\circ$  električnih, a u narednom uključenom dalekovodu Đerdap (SCG)-Portile de Fier (RO), ta razlika bi iznosila  $-7,59^\circ$  električnih.

Inače, najnepovoljniji scenario redosleda uključenja „ispalih” dalekovoda (u slučaju kada bi se vršila obnova potrošnje isključene dejstvom AFRP-a) bio bi kada bi se kao prvi uključio dalekovod Blagoevgrad (BG) - Thessaloniki (GR). To je zato, jer ako bi se zatim uključio dalekovod Đerdap (SCG)-Portile de Fier (RO), razlika uglova bi iznosila  $59,24^\circ$  električnih, odnosno, ako bi se u ovom scenariju, takođe kao drugi, uključio dalekovod Niš (SCG)-Sofija (BG), razlika uglova bi iznosila  $61,88^\circ$  električnih.

Naravno, u takvim okolnostima, odvijanje računarskog programa **RESTOR** opravdano se zaustavilo, jer su bile u pitanju nedozvoljene vrednosti razlike uglova, bez obzira što bi se i tada mogla da odrede postdinamička kvazistacionarna stanja (takođe, brzo i efikasno, što je i provereno), uspostavljena nakon ovih uključenja, posredstvom iterativnog rešavanja sistema raspregnutih jednačina (7) i (8).

Takav nepovoljni tok obnove ne bi se javio u slučaju kada se ne bi vršila obnova potrošnje u prvom „ostrvu”, koja je prethodno isključena dejstvom AFRP-a. Tada, ako bi se kao drugi uključio dalekovod Đerdap (SCG)-Portile de Fier (RO), razlika uglova bi iznosila  $6,28^\circ$  električnih, a zatim, ako bi se kao treći po redu, uključio dalekovod Niš (SCG)-Sofija (BG), razlika uglova bi iznosila  $13,09^\circ$  električnih. U varijanti, u kojoj bi se kao drugi uključio dalekovod Niš (SCG)-Sofija (BG), razlika uglova bi iznosila  $17,47^\circ$  električnih, a kao treći po redu, dalekovod Đerdap (SCG)-Portile de Fier (RO), razlika uglova bi iznosila  $-7,59^\circ$  električnih.

Na kraju, potrebno je još jednom da se napomene da su izbor scenarija, odnosno izbor inicijalnog višestrukog poremećaja, a time i pojave dezintegracije (pojava „ostrva”), kao i izbor mogućih scenarija obnove pogona, prvenstveno izvršeni u cilju ilustracije mogućnosti i karakteristika razvijene metodologije, odnosno računarskog programa **RESTOR**.

Njega tek čekaju prava iskušenja u novom okruženju EES-a Srbije, nakon ponovnog povezivanja sa glavnim delom UCTE mreže, i u novim uslovima rada u okviru formiranog tržišta električne energije u jugoistočnoj Evropi.

## 6. ZAKLJUČCI

*U radu je dat prikaz jedne nove metodologije za utvrđivanje toka dezintegracije i obnove pogona elektroenergetskih interkonekcija. Ona je bazirana na jednoj efikasnoj metodi za simultanu analizu kvazistacionarnih stanja u proizvoljnom broju „ostrva”, nastalih tokom procesa dezintegracije, odnosno ponovne integracije razmatrane elektroenergetske interkonekcije. Osnovu ove metode čine jednačine balansa snaga i tehnika njihovog rešavanja, koje su analogne sa procedurom koja je validna za interkonekciju, koja je sačuvala svoj integritet. Jedina razlika je u tome što sada, umesto jedinstvene vrednosti učestanosti, figuriše onoliki broj učestanosti, koji je jednak broju „ostrva”, nastalih tokom procesa dezintegracije, odnosno procesa obnove pogona.*

*Za rešavanje formiranog nestandardnog modela tokova snaga, razvijena je jedna jednostavna iterativna procedura, koja simultano određuje stanja u svakom od formiranih „ostrva”, zadržavajući istu polaznu numeraciju čvorova. Ne treba posebno da se naglašava koliko je takav prilaz praktičniji i racionalniji u odnosu na pojedinačnu analizu svakog od formiranih „ostrva”.*

*Višestrukost namene razvijene metodologije, koja spada u prilaze bazirane na analitičkim alatima (analytical tools approach), ogleda se najpre u mogućnosti njene efikasne primene u analizama postdinamičkih kvazistacionarnih stanja elektroenergetskih interkonekcija, u kojima je došlo do formiranja niza „ostrva”. Takva višestrukost omogućuje i analize efekata dejstva uređaja protivhavarijske automatike i zaštite, kao i utvrđivanje efekata niza mogućih dispečerskih akcija. Posebna pogodnost ogleda se u njenoj mogućnosti za utvrđivanje najpovoljnijeg scenarija toka obnove pogona, ali, kako je to već naglašeno i pokazano, uz proučavanje i utvrđivanje svih potrebnih i dovoljnih uslova za nesmetanu sinhronizaciju formiranih „ostrva”.*

*Na bazi matematičkog modela i tehnike njegovog rešavanja, izloženih u radu, u Institutu „Nikola Tesla”, razvijen je računarski program **RESTOR**, koji omogućuje tretiranje interkonekcija sa 10 000 čvorova, 30 000 grana, 2 000 generatora, 4 000 transformatora i 200 regulacionih basena i 100 „ostrva”. Primeri praktične primene ovoga programa u okviru realne interkonekcije, koji se daju u radu, govore o njenoj praktičnosti i numeričkoj efika-*

snosti. Izbor scenarija, odnosno izbor inicijalnog višestrukog poremećaja, a time pojave i dezintegracije, kao i izbor scenarija obnove pogona, prvenstveno su izvršeni u cilju ilustracije mogućnosti i karakteristika razvijene metodologije, odnosno računarskog programa **RESTOR**, a ne da rešavaju i reše neki od konkretnih problema u interkonekciji.

Karakteristike i svojstva prikazane metodologije, odnosno računarskog programa **RESTOR**, inkorporiranog u odgovarajuće informaciono i softversko okruženje, mogle bi da budu od značajne pomoći restrukturisanog Elektroprivredi Srbije, odnosno njenom novo formiranom Operatoru prenosne mreže, za potrebe operativnog planiranja pogona, upravljanja i trening dispečera. Pomenuta svojstva takođe mogu da budu u funkciji poboljšanja postojećih i eventualnog razvoja novih procedura obnove pogona EES-a Srbije, u novom okruženju i novim uslovima rada u okviru formiranog tržišta električne energije u jugoistočnoj Evropi.

## 7. LITERATURA

- [1] Large Disturbance Workshop, 40 CIGRE SESSION, Paris, 30 August 2004
- [2] Stott B., Alsac O., FAST DECOUPLED LOAD FLOW, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, No. 3, May/June 1974, pp. 859-869.
- [3] Dechamps C., Nuytten R., Vankelecom J., CONSTRAINED LOW FLOW - OPTIMUM POWER FLOW, CLF-OPF: USER GUIDE, Systems-Europe S.A. Publication Bruxelles, 1977.
- [4] PSS/E - 24 (Power System Simulator), Program Operational Manual, Power Technologies, Inc. November 2001
- [5] DIgSILENT Power System Analysis Software, Version 12.0, DIgSILENT GmbH, April 2000
- [6] RASTR - računarski program razvijen na katedri Automatizovani električni sistemi Uralskog Državnog Tehničkog Univerziteta (UGTU-UPI) u periodu od 1989. do 1998. godine
- [7] Shimakura K., Inagaki J., Matsunoki Y., Ito M., Fukui S. and Hori S., A KNOWLEDGE - BASED METHOD FOR MAKING RESTORATION PLAN OF BULK POWER SYSTEM, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 7, No. 2, May 1992, pp. 914-920.
- [8] Felix F. Wu and Monticelli A., ANALYTICAL TOOLS FOR SYSTEM RESTORATION - CONCEPTUAL DESIGN, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.3, No.1, February 1988, pp.10-16.
- [9] Kirschen D. S. and Volkmann T. L., GUIDING A POWER RESTORATION WITH AN EXPERT SYSTEM, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.6, No.2, May 1991, pp.558-566.
- [10] Niebur D., Germond A.J., SYSTEM STATIC SECURITY ASSESMENT USING THE KOHONEN NEURAL NETWORK CLASSIFIER, IEEE Transaction on Power Systems, Vol.7, No.2, May 1992, pp.865-872.
- [11] Popović D. P., Mijailović S. V., AN EFFICIENT METHOD FOR EVALUATION OF POST-DYNAMIC QUASI-STATIONARY STATES DURING THE ISLANDS OPERATION OF POWER SYSTEM PARTS, Stockholm Power Tech Conference, June 18-22, 1995, paper SPT PS 18-04-0486.
- [12] Popović D. P., Mijailović S. V., JEDNA EFIKASNA METODA ZA ANALIZU TOKA DEZINTEGRACIJE I REINTEGRACIJE ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA, XXXVII Konferencija ETRAN, Beograd, septembar, 1993.
- [13] Popović D. P., Mijailović S. V., JEDNA EFIKASNA METODA ZA SIMULTANU ANALIZU OSTRVSKOG RADA POJEDINIHI DELOVA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA, Zbornik radova Instituta „Nikola Tesla”, knjiga 9, 1991, Časopis „Elektroprivreda”, br. 10-12, 1992, str. 402-407.
- [14] Popović D. P., STATIČKA SIGURNOST ELEKTROENERGETSKIH INTERKONEKCIJA, Monografija, Institut „Nikola Tesla”, Beograd, jun 2004. godine
- [15] Popović D. P., Mijailović S.V., FAST EVALUATION OF DYNAMIC CHANGES OF THE ELECTRIC POWER SYSTEMS FREQUENCY DURING PRIMARY CONTROL, International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 19, No. 8, November 1997, pp. 525-532.
- [16] RAZVOJ I PRAKTIČNA PRIMENA METODOLOGIJE I RAČUNARSKOG PROGRAMA ZA AUTOMATSKI PRORAČUN PRENOSNIH MOGUĆNOSTI ELEKTROENERGETSKIH INTERKONEKCIJA, Studija Instituta „Nikola Tesla”, Beograd, 2004
- [17] Popović D. P., Dobrijević Đ. M., Mijailović S. V., Vujasinović Z. Ž., AUTOMATIC CROSS-BORDER TRANSMISSION CAPACITY ASSESMENT IN THE OPEN ELECTRICITY MARKET ENVIRONMENT, 24 Session CIGRE, Paris, 29 august- 3 september 2004, paper C2-209
- [18] Popović D. P. AN EFFICIENT METHODOLOGY FOR STEADY-STATE SECURITY ASSESMENT OF POWER SYSTEMS, International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 10, No. 2, April 1988, pp. 110-116.
- [19] Tinney W. F., Hart C., POWER FLOW SOLUTION BY NEWTON'S METHOD, IEEE Transaction, Vol. PAS 86, November 1967, pp. 1449-1460.

- [20] STUDIJA RAZVOJA PRENOSNE MREŽE JUGOSLAVIJE DO 2000. GODINE, SA OSVRTOM NA 2010. GODINU, Studija Instituta za elektroprivredu, Zagreb, Elektroinštitut „Milan Vidmar”, Ljubljana i Institut „Nikola Tesla”, Beograd, 1991. god.
- [21] Strezoski V. C., Levi V. A. i Popović D. P., PRIME-NA STATIČKIH EKIVALENATA ZA ANALIZU SIGURNOSTI JUGOSLOVENSKEG ELEKTRO-ENERGETSKOG SISTEMA U OKVIRU ZAPAD-NOEVROPSKE INTERKONEKCIJE, VIII Save- tovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije, Cavtat, 06-09. novembar, 1990.
- [22] Study TECHNICAL AND ENERGY ASPECTS OF PARALLEL SYNCHRONOUS OPERATION OF THE ROMANIAN ELECTRIC POWER SYSTEM RENEL WITHIN THE EUROPEAN ELECTRIC POWER SYSTEMS INTERCONNECTION UC- PTE, PART IV: DYNAMIC CALCULATION, Ro- manian Corporation, Romania, Public Power Cor- poration, Greece, Nikola Tesla Institute, Energy Dispatching Center, Yugoslavia, October, 1994.
- [23] Tubić D., Stojković B., PONOVRNO POVEZIVA- NJE SA GLAVNIM DELOM UCETE MREŽE, Ča- sopolis „Elektroprivreda”, br. 3, 2004, str. 3-8

Rad je primljen u uredništvo 30. 12. 2004. godine



**Dragan P. Popović** rođen je 1943. godine u Beogradu, gde je završio osnovnu školu i gimnaziju. Diplomirao je 1965. godine na Energetskom odseku, magistrirao 1981. godine na smeru Elektroenergetski sistemi, a doktorsku tezu odbranio maja 1984. godine, sve na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Po diplomiranju, zaposlio se u Elektrotehničkom Institutu „Nikola Tesla”, gde se i sada nalazi na radnom mestu višeg savetnika u centru „Elektroenergetski sistemi”. Godine 1997. izabran je u najviše naučno-istraživačko zvanje naučni sa- vetnik. Kao autor (pretežno) ili koautor do sada je objavio preko 140 naučnih i stručnih ra- dova i razvio je veći broj računarskih programa za analizu relevantnih statičkih i dinamičkih stanja elek- troenergetskih interkonekcija.



**Snežana Mijailović** je rođena 1965. godine u Pančevu. Diplomirala je 1990. godine na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, na smeru za Elektroenergetske sisteme. Pri završetku studija, započela je rad u Institutu Nikola Tesla, u Centru za elektro- energetske sisteme, gde je radila do sredine 1997. godine. Od sredine 1997. godine radi u Elektroenergetskom koordinacionom centru, kao rukovodilac Službe za studije i konsalting. Od februara 2002. godine radi na radnom mestu zamenika direktora EKC-a. Aktivno je ra- dila na studijskim aktivnostima vezanim za planiranje i poboljšanje operativnog rada elek- troenergetskog sektora zemalja jugoistočne Evrope, odnosno na problemima interkonektivnog rada, elek- troenergetskog bilansa, sigurnosti i stabilnosti sistema, primarnoj i sekundarnoj regulaciji, proširenju UC- TE interkonekcije i dr. Član je UCETE radne grupe Studijski alati (Study tool), Izvršnog tima za povezivanje UCETE interkonekcije, SUDEL izvršnog komiteta i SETSO radne grupe. Kopredsednik je SETSO podgrupe Pristup mreži, upravljanje zagušenjima i tokovi snaga (SETSO SG NACMPF), kao i ETSO podgrupe Pri- stup mreži i upravljanje zagušenjima (ETSO SG NACM) koje su osnovane sa ciljem da definišu i primene procedure za procenu prenosnih kapaciteta, procedure za upravljanje zagušenjima, kao i da poboljšaju raz- menu podataka između operatera prenosnih sistema zemalja jugoistočne Evrope. Autor je ili koautor pede- setak radova objavljenih u domaćim i međunarodnim časopisima i konferencijama, kao i tridesetak studi- ja urađenih za potrebe domaće i strane stručne javnosti.

# Modifikovani rekurzivni Fourierov algoritam za merenje snage osnovnih harmonika periodičnih signala

Stručni rad  
UDK: 621.3.16.2; 621.3.02

## Rezime:

U radu je razvijen modifikovan algoritam za merenje aktivne ( $P$ ), reaktivne ( $Q$ ) i prividne ( $S$ ) snage osnovnih harmonika periodičnih signala napona i struje zasnovan na rekurzivnoj Fourierovoj metodi. Fourierova metoda je dobro poznata i široko primenjena u obradi signala. Metoda je robusna i poseduje dobra filtarska svojstva, ali ima i neke mane. Jedna od mana metode je neophodnost poznavanja frekvencije signala pre njegove obrade. Ako frekvencija signala ( $f$ ) odstupa od pretpostavljene frekvencije ( $f_f$ ), Fourierov algoritam greši pri izračunavanju amplituda harmonijskih komponenti signala. U radu je rekurzivni Fourierov algoritam modifikovan tako da promena frekvencije signala u opsegu od nekoliko Hz (što je za merenja signala industrijske učestanosti dovoljno) malo utiče na tačnost određivanja amplitude snage periodičnog signala.

**Ključne reči:** merenje aktivne, reaktivne i prividne snage, rekurzivna Fourierova metoda, relejna zaštita

## Abstract:

### ACTIVE AND REACTIVE POWER MEASUREMENT USING MODIFIED RECURSIVE FOURIER ALGORITHM

In this paper a modified recursive Fourier algorithm for the active ( $P$ ), reactive ( $Q$ ) and apparent ( $S$ ) power measurement of the periodic signals is presented. Recursive Fourier algorithm is very well known and widely applied in signal processing. It is very robust and has good digital filter features. But, the Fourier algorithm requests that signal frequency must be equal to assumed frequency in the algorithm. If these frequencies are different, the output of the Fourier algorithm is not accurate. In this paper the recursive Fourier algorithm is modified so that it would not be sensitive to signal frequency changes. The rate of signal frequency changes (50 Hz + or -3 Hz) is defined so that the outputs of the recursive Fourier algorithm is acceptably accurate in protective relaying.

**Key words:** measurement, active power, reactive power, recursive Fourier algorithm, protective relaying

## 1. UVOD

Posmatrajmo signale napona i struje:

$$u(t) = \sqrt{2}U \cos(\omega t + \varphi_u) \text{ i } i(t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t + \varphi_i). \quad (1)$$

Parametri signala su:

$U, I$  – efektivna vrednost napona i struje,

$\omega = 2\pi f$  – ugaona frekvencija,

$f$  – frekvencija osnovnog harmonika signala i

$\varphi_u, \varphi_i$  – početne faze signala napona i struje.

Prof. dr Milenko B. Đurić i Goran Č. Đukić dipl. ing., – Elektrotehnički fakultet u Beogradu,  
11 000 Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73



Ako je kružna frekvencija signala ( $\mathbf{w}$ ) nepoznata i aproksimirana pretpostavljenom vrednošću ( $\mathbf{w}_f$ ), primenom DISKRETIZOVANOG Fourierovog reda mogu se odrediti procene parametara  $U \cong U_f$ ,  $I \cong I_f$ ,  $\mathbf{J}_u \cong \mathbf{J}_{uf}$  i  $\mathbf{J}_i \cong \mathbf{J}_{if}$  primenom relacija:

$$\underline{U}_f = \frac{\sqrt{2}}{m} \sum_{n=1}^m u_n \cos \frac{f T_f n}{m} - j \sum_{n=1}^m u_n \sin \frac{f T_f n}{m} = UC_f - jUS_f \quad (2)$$

$$\underline{I}_f = \frac{\sqrt{2}}{m} \sum_{n=1}^m i_n \cos \frac{f T_f n}{m} - j \sum_{n=1}^m i_n \sin \frac{f T_f n}{m} = IC_f - jIS_f, \quad (3)$$

gde su:

$$U_f^2 = UC_f^2 + US_f^2, \quad \text{tg } u = \frac{US_f}{UC_f}, \quad I_f^2 = IC_f^2 + IS_f^2, \quad \text{tg } i = \frac{IS_f}{IC_f},$$

$m$  – broj odbiraka u periodu  $T_f = \frac{2}{f}$  koja odgovara pretpostavljenoj frekvenciji signala,

$\mathbf{w}_f = 2\mathbf{p}f$  – pretpostavljena kružna frekvencija u Fourierovom redu (ako želimo da relacije (2) i (3) daju tačne rezultate mora biti  $\mathbf{w}_f = \mathbf{w}$ ,  $u_n, i_n$  –  $n$ -ti odbirak signala napona i struje).

Signali koji se procesiraju pomoću (2) i (3) odabiraju se sa periodom odabiranja  $T_{odab} = \frac{T_f}{m}$ , odnosno frekvencijom odabiranja  $f_{odab} = \frac{m}{T_f}$ . Kako je  $\mathbf{w}_f T_f = 2\mathbf{p}$ , to je ugao  $\frac{f T_f}{m}$   $m$ -ti deo punog kruga. Pretpostavljena frekvencija u Fourierovoj metodi definisana je periodom odabiranja  $T_{odab}$  i brojem odbiraka signala ( $m$ ) u periodu. Kada je perioda odabiranja fiksirana, pretpostavljena učestanost signala  $\mathbf{w}_f$  može se promeniti jedino promenom broja odbiraka u periodu. Međutim, ta promena je veoma gruba za relativno mali broj odbiraka u periodu. Zbog toga se u većini praktičnih slučajeva radi sa fiksnom pretpostavljenom frekvencijom procesiranog signala. Postoje procesori kod kojih se može menjati perioda odabiranja, ali ta promena nije kontinualna te nije moguće pratiti kontinualne promene učestanosti stvarnog signala pri njegovoj obradi Fourierovom metodom.

Uočimo dva niza odbiraka, recimo napona. Prvi indeksiran sa  $n=1,2,3,\dots,m$  i drugi indeksiran sa  $n=2,3,4,\dots,(m+1)$ . Oba niza odgovaraju pretpostavljenoj periodu procesiranog signala. Drugi niz je „mlađi”, jer sadrži novi odbirak sa indeksom ( $m+1$ ), dok je „najstariji” odbirak sa indeksom (1) odbaćen. Svaki od nizova definiše fazore prvog harmonika napona:

$$\underline{U}_1 = \frac{\sqrt{2}}{m} \sum_{n=1}^m u_n \cos n - j \sum_{n=1}^m u_n \sin n = UC_{1f} - jUS_{1f} \quad (4)$$

$$\underline{U}_2 = \frac{\sqrt{2}}{m} \sum_{n=2}^m u_n \cos n - j \sum_{n=2}^m u_n \sin n = UC_{2f} - jUS_{2f}. \quad (5)$$

Potražimo razliku:

$$\begin{aligned} UC_{2f} - UC_{1f} &= \frac{m}{\sqrt{2}} \left( \sum_{n=2}^m u_n \cos n - \sum_{n=1}^m u_n \cos n \right) \\ &= u_2 \cos 2 - u_3 \cos 3 - \dots \\ &= u_{(m-1)} \cos (m-1) - u_1 \cos 1 - u_2 \cos 2 - \dots \\ &= u_m \cos m - u_{(m-1)} \cos (m-1) - u_1 \cos 1, \end{aligned}$$

odakle sledi:

$$UC_{2f} - UC_{1f} = \frac{\sqrt{2}}{m} (u_{(m-1)} - u_1) \cos \dots$$

Isto se dobija:

$$US_{2f} - US_{1f} = \frac{\sqrt{2}}{m} (u_{(m-1)} - u_1) \sin \dots$$

Na osnovu prethodne analize može se napisati relacija za rekursivno izračunavanje komponenti fazora napona i struje u ( $n+1$ ) koraku proračuna:

$$UC_{(n+1)f} - UC_{nf} = \frac{\sqrt{2}}{m} (u_{(m-n)} - u_n) \cos n,$$

$$US_{(n+1)f} - US_{nf} = \frac{\sqrt{2}}{m} (u_{(m-n)} - u_n) \sin n, \quad (6)$$

$$IC_{(n+1)f} - IC_{nf} = \frac{\sqrt{2}}{m} (i_{(m-n)} - i_n) \cos n,$$

$$IS_{(n+1)f} - IS_{nf} = \frac{\sqrt{2}}{m} (i_{(m-n)} - i_n) \sin n, \quad (7)$$

gde su:

$n$  – redni broj odbirka ( $n = 1,2,3,4,\dots$ ) – kod kontinualne obrade signala  $n$  može postati ogroman broj,  $m$  – broj odbiraka u periodu  $T_f = \frac{1}{f} = \frac{2}{f}$ .

Kod praktične primene diskretnog Fourierovog reda, pri kontinualnoj obradi dugotrajnog signala broj ( $n$ ) postaje ogroman (postaje veći od najvećeg broja sa kojim procesor može da operiše). Ova teškoća prevazilazi se ako se uoči da su  $\sin$  i  $\cos$  funkcije periodične. Zato nema potrebe da ( $n$ ) bude veće od ( $m$ ), odnosno ( $n$ ) može biti  $n = 1,2,3,\dots,m, 1,2,3,\dots,m, 1,2,3,\dots,m, 1,2,3,\dots,m, 1,2$ , itd.. Potrebno je koristiti REGISTAR dužine ( $m$ ), koji sadrži ( $m$ ) odbiraka signala. Članovi registra se u svakom koraku renumerišu nakon izračunavanja komponenti fazora signala tako što im se indeksi smanje za 1 pa se odbirak sa indeksom (1) odbaci i doda novi odbirak sa indeksom ( $m+1$ ). Neka su odbirci signala označeni sa ( $u$ ) a čla-

novi REGISTRA sa  $U(i)$ , gde je  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ . Komponente fazora prvog harmonika računaju se kao:

$$UC_f = UC_f \frac{\sqrt{2}}{m} u U(1) \cos n$$

$$i \quad US_f = US_f \frac{\sqrt{2}}{m} u U(1) \sin n \quad (8)$$

gde je

$n = 1, 2, 3, \dots, m, 1, 2, 3, \dots, m, 1, 2, 3, \dots, m, 1, 2, 3, \dots, m, 1, 2$ , itd.

Relacija (8) napisana je kao računarska instrukcija, što znači da se nova vrednost  $UC_f$  dobija kada se na staru doda  $\frac{\sqrt{2}}{m} u U(1) \cos n$ . Novi odbirak (koji se uzima iz A/D konvertora) postaje odbirak sa indeksom ( $m$ ), odnosno  $U(m)=u$ . Proračun se dalje ponavlja na isti način. Za neograničeno dug proračun dovoljan je vektor  $U$  dužine ( $m$ ). Sve ostale veličine su skalarnе. Nakon svake primene relacija (8) indeks ( $n$ ) se uveća za 1 i vrednost mu se pređe sa ( $m$ ). Kada ( $n$ ) postane ( $n=(m+1)$ ) vrednost mu se vraća na  $n=1$  i proces se nastavlja na isti način. U izrazima za  $UC_f$  i  $US_f$  nije potrebno u svakom koraku računati  $\frac{\sqrt{2}}{m} \sin(n)$  i  $\frac{\sqrt{2}}{m} \cos(n)$ .

Bolje ih je unapred izračunati za sve uglove od  $a$  do ( $m \times a$ ), odnosno za jednu punu periodu, zapamtiti ih u dva vektora dužine ( $m$ ) i odatle ih pozivati pri svakom proračunu. Ti vektori su:

$$CO = \frac{\sqrt{2}}{m} \cos , \cos 2 , \cos 3 , \dots, 1^T \quad (9)$$

$$SI = \frac{\sqrt{2}}{m} \sin , \sin 2 , \sin 3 , \dots, 0^T \quad (10)$$

Primenom ovakve procedure, u svakom koraku, za izračunavanje svake komponente fazora potrebna su samo dva sabiranja i jedno množenje, što zahteva minimalno računarsko vreme. Ovo je osnovna prednost rekurzivnog algoritma u odnosu na nerekurzivni.

Kada se obrađuju dugotrajni signali, nakon obrade svakog odbirka dobijaju se vrednosti za realne ( $UC_f$ ,  $IC_f$ ) i imaginarne ( $US_f$ ,  $IS_f$ ) komponente fazora  $\underline{U}$  i  $\underline{I}$ . Ako je  $\mathbf{w} = \mathbf{w}_f$  komponente ( $UC_f$ ,  $IC_f$ ,  $US_f$  i  $IS_f$ ) su konstantne jer su ( $u$  i  $U(1)$ ) i ( $i$  i  $I(1)$ ) pomereni tačno za jednu periodu i imaju iste vrednosti, te su razlike ( $u-U(1)=0$ ) i ( $i-I(1)=0$ ), te nema korekcije prethodno izračunatih vrednosti. Argumenti fazora zavise od položaja početnih odbirka na graficima signala, odnosno od početnih faza prvih odbiraka. Amplitude osnovnih harmonika signala su konstantne, jer su im i komponente konstantne. Prema tome, rekurzivna Fourierova metoda daje stacionarne fazore, ako je  $\mathbf{w} = \mathbf{w}_f$ .

Ako je  $\mathbf{w} < \mathbf{w}_f$  ili  $\mathbf{w} > \mathbf{w}_f$  komponente ( $UC_f$ ,  $IC_f$ ,  $US_f$  i  $IS_f$ ) nisu konstantne i menjaju se po izobličnim  $\sin$  i  $\cos$  funkcijama sa frekvencijom  $\Delta \mathbf{w} = \mathbf{w} - \mathbf{w}_f$ . Izobličenje ovih krivih talasastog je karaktera (videti slike 1 i 2) i veće je pri većem  $\Delta \mathbf{w}$ . Učestanost talasastog izobličenja je ( $2\mathbf{w}$ ). Zbog talasastog izobličenja komponenti ( $UC_f$ ,  $IC_f$ ,  $US_f$  i  $IS_f$ ) amplitude osnovnih harmonika napona i struje talasaju se sa frekvencijom ( $2\mathbf{w}$ ). Komponente ( $UC_f$ ,  $IC_f$  i  $US_f$ ,  $IS_f$ )

međusobno su pomerene za  $\frac{\pi}{2}$  ili za  $\frac{3\pi}{2}$  u zavisnosti od znaka  $\Delta \mathbf{w} = \mathbf{w} - \mathbf{w}_f$ .

## 2. MODIFIKOVANI ALGORITAM ZA MERENJE AKTIVNE, REAKTIVNE I PRIVIDNE SNAGE

Primenom relacija:

$$\underline{U}_f = UC_f \quad jUS_f, \quad \underline{I}_f = IC_f \quad jIS_f \quad i$$

$$\underline{S}_f = P_f \quad jQ_f \quad \underline{U}_f \underline{I}_f^* = (UC_f \quad jUS_f) (IC_f \quad jIS_f)$$

dolazi se do izraza za aktivnu i reaktivnu snagu:

$$P_f = UC_f IC_f \quad US_f IS_f \quad i \quad Q_f = US_f IC_f \quad UC_f IS_f. \quad (11)$$

Na osnovu analize date u prethodnom odeljku, može se zaključiti da Fourierov algoritam netačno određuje amplitudu osnovnog harmonika kada frekvencija signala odstupa od pretpostavljene frekvencije u algoritmima (6) i (7). Kada se signali kontinualno obrađuju, amplitude osnovnih harmonika napona i struje osciluju između maksimalnih i minimalnih vrednosti sa frekvencijom ( $2\mathbf{w}$ ). Kako se ( $P_f$ ) i ( $Q_f$ ) dobijaju kao proizvodi komponenti napona i struje i one osciluju između minimalne i maksimalne vrednosti sa frekvencijom ( $2\mathbf{w}$ ). Ova činjenica je iskorišćena za modifikaciju Fourierovog algoritma za merenje ( $P$ ) i ( $Q$ ) osnovnih harmonika napona i struje. Kako amplitude ( $P_f$ ) i ( $Q_f$ ) osciluju sa ( $2\mathbf{w}$ ), za dobijanje boljih rezultata dovoljno je vršiti usrednjavanje rezultata na periodu dužine jedne poluperiode osnovnog harmonika. Drugim rečima, ako se signal obrađuje sa ( $m$ ) tačaka u periodu osnovnog harmonika, dovoljno je naći srednju vrednost  $\frac{m}{2}$  rezultata. Ovo usrednjavanje izaziva kašnjenje konačnog rezultata obrade signala od jedne poluperiode osnovnog harmonika. Međutim, svako filtriranje izaziva kašnjenje, te se mora prihvatiti kompromis između stepena filtriranja i kašnjenja rezultata obrade signala.

Kada je frekvencija signala različita od pretpostavljene  $\frac{m}{2}$  odbiraka ne definiše tačno poluperiodu osnovnog harmonika, te rezultat usrednjavanja nije konstantan, već i on osciluje sa  $(2w)$ , ali sa znatno manjom amplitudom u odnosu na rezultat algoritma bez usrednjavanja. Oscilovanje srednje vrednosti može se smanjiti ako se izvrši još jedno usrednjavanje srednjih vrednosti, takođe na periodu jednakom polovini periode osnovnog harmonika. Ovo usrednjavanje unosi dodatno kašnjenje od jedne poluperiode osnovnog harmonika. Ukupno kašnjenje algoritma sa dva usrednjavanja jednako je periodu osnovnog harmonika. Dvostruko usrednjavanje daje veoma „mirne” vrednosti ( $P_f$ ) i ( $Q_f$ ) sa veoma malom greškom, ako se frekvencija obrađivanog signala menja u opsegu od 47 Hz do 53 Hz, što je za potrebe merenja u elektroenergetici sasvim dovoljan opseg, jer frekvencija u elektroenergetskom sistemu retko odstupa više od 3 Hz u odnosu na 50 Hz. Kašnjenje od jedne periode je prihvatljivo za sve strujne releje, te je algoritam primenljiv u relejnoj zaštiti za određivanje smeru. Za praktičnu primenu relacija (6) i (7) potrebno je formirati pomoćne vektore  $COS$ ,  $SIN$ , (9) i (10), odbiraka napona i struje dužine ( $m$ ) i pomoćne vektore snaga i srednjih vrednosti snaga dužine  $\frac{m}{2}$ . Vektori odbiraka napona i struje su:

$$UODB = u_1, u_2, u_3, \dots, u_m \quad T \quad i$$

$$IODB = i_1, i_2, i_3, \dots, i_m \quad T \quad (12)$$

Nakon uzimanja novih odbiraka  $u_{novo}$  i  $i_{novo}$  aktualizuju se vektori (12) reindexiranjem članova na sledeći način:

$$u_1 = u_2, u_2 = u_3, \dots, u_m = u_{novo} \quad i_1 = i_2, i_2 = i_3, \dots, i_m = i_{novo}.$$

Tako se dobija „klizeći” prozor a odbirci signala tretiraju se kao skalari. Za svaki prozor podataka relacije (6) i (7) daju: ( $UC_f$ ,  $US_f$ ,  $IC_f$  i  $IS_f$ ). Zatim se primeni relacija (11) i odrede ( $P_f$ ) i ( $Q_f$ ). Za određivanje srednje vrednosti ( $P_f$ ) i ( $Q_f$ ) osnovnog harmonika signala treba formirati pomoćne vektore dužine  $\frac{m}{2}$ :

$$PP = P_{f1}, P_{f2}, P_{f3}, \dots, P_{f \frac{m}{2}} \quad T \quad i$$

$$QP = Q_{f1}, Q_{f2}, Q_{f3}, \dots, Q_{f \frac{m}{2}} \quad T \quad (13)$$

Nakon izračunavanja novih  $P_{fnovo}$  i  $Q_{fnovo}$  pomoću (6) i (7) treba aktualizovati vektore (13) re-

meracijom članova, odbacivanjem prvog člana i dodavanjem nove vrednosti, odnosno:

$$P_{f1} \quad P_{f2}, P_{f2} \quad P_{f3}, \dots, P_{f \frac{m}{2}} \quad P_{fnovo} \quad i$$

$$Q_{f1} \quad Q_{f2}, Q_{f2} \quad Q_{f3}, \dots, Q_{f \frac{m}{2}} \quad Q_{fnovo}.$$

Nakon ove procedure nađu se:

$$PS = \frac{2}{m} P_{f1} \quad P_{f2} \quad \dots \quad P_{f \frac{m}{2}} \quad i$$

$$QS = \frac{2}{m} Q_{f1} \quad Q_{f2} \quad \dots \quad Q_{f \frac{m}{2}} \quad (14)$$

Postupak dalje teče na isti način za svaki novi par ( $P_f$ ) i ( $Q_f$ ). Za usrednjavanje srednjih snaga treba formirati pomoćne vektore srednjih snaga dužine  $\frac{m}{2}$ :

$$PPS = PS_1, PS_2, PS_3, \dots, PS_{\frac{m}{2}} \quad T \quad i$$

$$QPS = QS_1, QS_2, QS_3, \dots, QS_{\frac{m}{2}} \quad T \quad (15)$$

Nakon izračunavanja novih srednjih vrednosti snaga  $PS_{novo}$  i  $QS_{novo}$  pomoću (14), treba aktualizovati vektore (15) renumeracijom članova, odbacivanjem prvog člana i dodavanjem nove vrednosti, odnosno:

$$PS_1 \quad PS_2, PS_2 \quad PS_3, \dots, PS_{\frac{m}{2}} \quad PS_{novo} \quad i$$

$$QS_1 \quad QS_2, QS_2 \quad QS_3, \dots, QS_{\frac{m}{2}} \quad QS_{novo}.$$

Nakon ove procedure nađu se:

$$PSS = \frac{2}{m} PS_1 \quad PS_2 \quad \dots \quad PS_{\frac{m}{2}} \quad i$$

$$QSS = \frac{2}{m} QS_1 \quad QS_2 \quad \dots \quad QS_{\frac{m}{2}} \quad (16)$$

Postupak dalje teče na isti način za svaki novi par srednjih snaga. Za praktičnu primenu modifikovanog Fourierovog algoritma, pri izračunavanju aktivne i reaktivne snage monofaznog kola, potrebna su četiri vektora dužine ( $m$ ) i četiri vektora dužine

$\frac{m}{2}$ , što znači da su potrebni veoma mali memo-

rijski resursi. Algoritam je jednostavan i dovoljno brz za primenu u relejnoj zaštiti.

### 3. TESTIRANJE ALGORITMA

Prikazani algoritam testiran je pomoću računarski generisanih signala, poznate amplitude i frekvencije i poznatog sadržaja viših harmonika. Svi signali napona i struje imali su sledeći sadržaj harmonika u procentima (u odnosu na osnovni harmonik): treći 5 % i peti 5 %. Signal struje, u [A], kasni signalu napona, u [V], za  $45^\circ$ , te je  $P > 0$  a  $Q < 0$  ( $|P| = |Q|$ ). Amplitude signala su izabrane tako da pri  $f = 50$  Hz bude  $P = 707$  W i  $Q = -707$  var (što su tačne vrednosti za  $P$  i  $Q$ ). Greška pri merenju prezentovanim algoritmom je definisana kao:

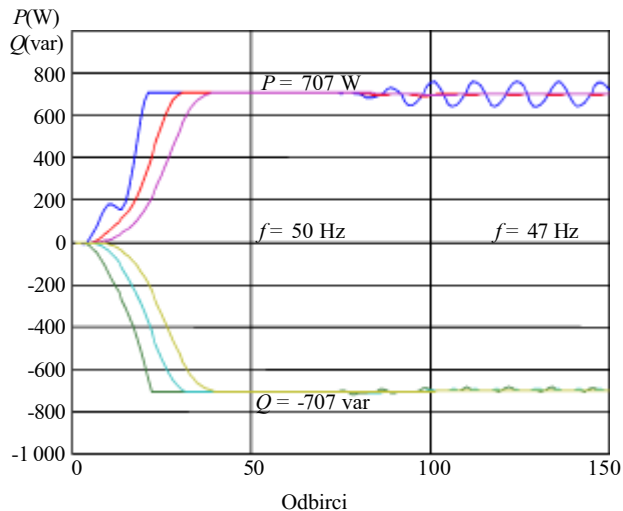
$$\frac{\text{izmerena vrednost} - \text{tačna vrednost}}{\text{tačna vrednost}} \cdot 100 \%$$

Pretpostavljena frekvencija u Fourierovom algoritmu bila je 50 Hz, a broj odbiraka u prozoru procesiranog signala 22. Drugim rečima, perioda odabiranja je bila  $\frac{1}{mf_f} = \frac{1}{22 \cdot 50} = 0,99999$  ms. Broj odbiraka u periodu nije kritičan. Dobri rezultati dobijaju se sa brojem odbiraka po periodu od 10 do 40. Sve slike sadrže aktivnu ( $P$ ) i reaktivnu ( $Q$ ) snagu osnovnih harmonika napona i struje, neusrednjene, jednom usrednjene i dva puta usrednjene vrednosti. Prividna snaga nije prikazivana, jer se jednostavno dobija kao  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ .

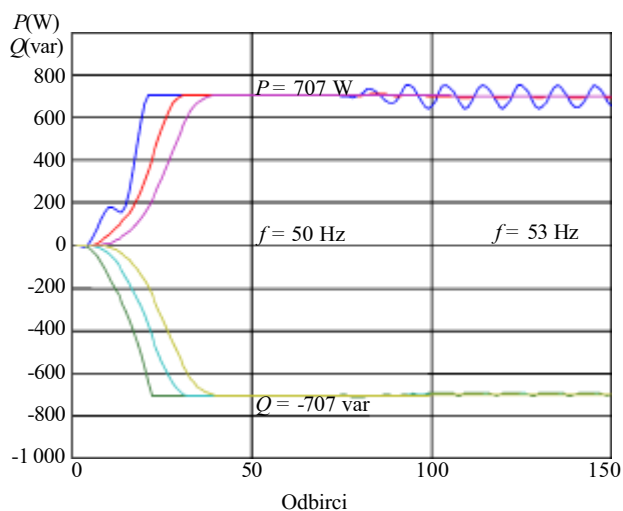
Na slici 1, prikazani su rezultati za signale koji na polovini svog trajanja menjaju učestanost sa  $f = 50$  Hz na  $f = 47$  Hz. Dok je  $f = 50$  Hz,  $P = 707$  W i  $Q = -707$  var i ne menjaju se u vremenu. Kada se učestanost smanji na  $f = 47$  Hz ( $P$ ) i ( $Q$ ) počinju da osciluju. ( $P$ ) osciluje sa znatno većom amplitudom nego ( $Q$ ). Dva puta usrednjene ( $P$ ) i ( $Q$ ), pri  $f = 47$  Hz su:  $P = 699,2$  W i  $Q = 698,1$  var. ( $P$ ) je određena sa greškom od  $-1,1\%$  a ( $Q$ ) sa greškom od  $-1,25\%$ . Pri odstupanju frekvencije za manje od 3 Hz greške su znatno manje.

Na slici 2, prikazani su rezultati za signale koji na polovini svog trajanja menjaju učestanost sa  $f = 50$  Hz na  $f = 53$  Hz. Dok je  $f = 50$  Hz,  $P = 707$  W i  $Q = -707$  var i ne menjaju se u vremenu. Kada se učestanost poveća na  $f = 53$  Hz, ( $P$ ) i ( $Q$ ) počinju da osciluju. Svi rezultati su identični onima pri smanjenju učestanosti na 47 Hz.

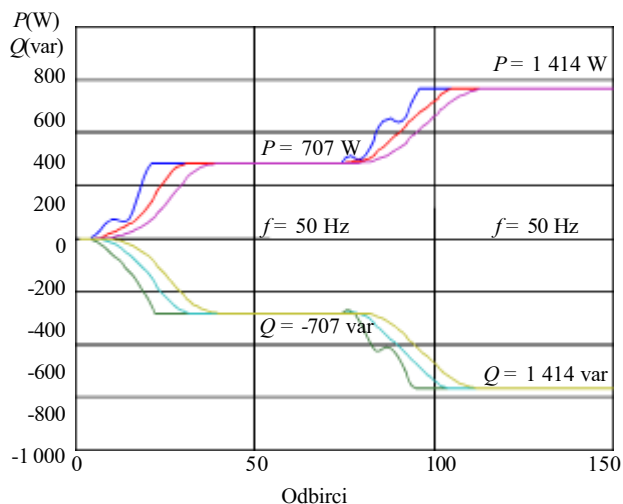
Na slici 3, prikazani su rezultati za signale koji na polovini svog trajanja menjaju amplitude tako da se ( $P$ ) i ( $Q$ ) dupliraju. Učestanost signala je stalno  $f = 50$  Hz. Za prvu polovinu signala su:  $f = 50$  Hz,  $P = 707$  W i  $Q = -707$  var. Za drugu polovinu signala su:  $f = 50$  Hz,  $P = 1414$  W i  $Q = -1414$  var. Ova slika



Slika 1. ( $P$ ) i ( $Q$ ) signala učestanosti 50 Hz i 47 Hz



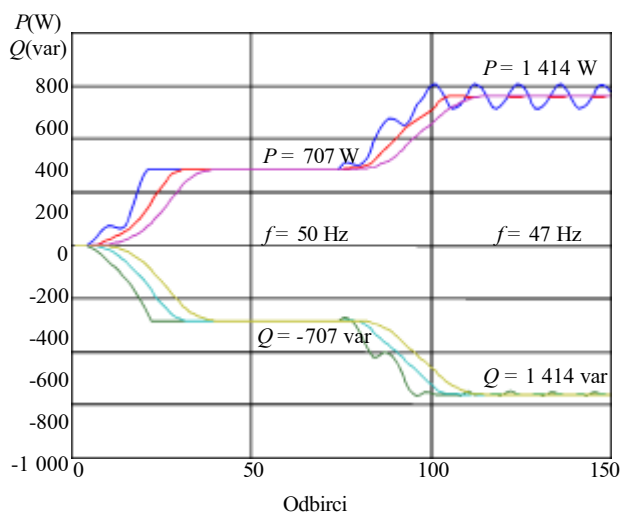
Slika 2. ( $P$ ) i ( $Q$ ) snaga signala učestanosti 50 Hz i 53 Hz



Slika 3. Konvergenција algoritma pri nagloj promeni ( $P$ ) i ( $Q$ )

pokazuje dobru konvergenciju algoritma pri nagloj promeni snage.

Na slici 4, prikazani su rezultati za signale koji na polovini svog trajanja menjaju amplitude, tako da se ( $P$ ) i ( $Q$ ) dupliraju, a učestanost se sa 50 Hz smanjuje na  $f=47$  Hz. Za prvu polovinu signala su:  $f=50$  Hz,  $P=707$  W i  $Q=-707$  var. Za drugu polovinu signala su:  $f=47$  Hz,  $P=1414$  W i  $Q=-1414$  var. Ova slika pokazuje dobru konvergenciju algoritma pri nagloj promeni snage. Tačnost određivanja ( $P$ ) i ( $Q$ ) pri  $f=47$  Hz 1,1 % i -1,25 %, odnosno ista kao ranije (ne zavisi od tačne vrednosti frekvencije).

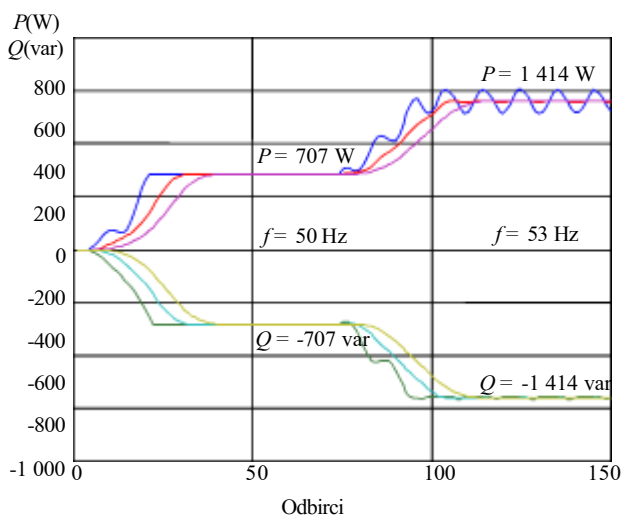


Slika 4. Konvergencija algoritma pri nagloj promeni ( $P$ ), ( $Q$ ) i frekvencije

Na slici 5, prikazani su rezultati za signale koji na polovini svog trajanja menjaju amplitude, tako da se ( $P$ ) i ( $Q$ ) dupliraju, a učestanost se sa 50 Hz povećava na  $f=53$  Hz. Za prvu polovinu signala su:  $f=50$  Hz,  $P=707$  W i  $Q=-707$  var. Za drugu polovinu signala su:  $f=53$  Hz,  $P=1414$  W i  $Q=-1414$  var. Ova slika pokazuje dobru konvergenciju algoritma pri nagloj promeni snage. Tačnost određivanja ( $P$ ) i ( $Q$ ) pri  $f=53$  Hz je 1,1 % i -1,25 %, odnosno ista kao ranije.

#### 4. ZAKLJUČAK

Rekurzivni Fourierov algoritam, uz dodatak dvostrukog usrednjavanja, izračunava aktivnu ( $P$ ) i reaktivnu ( $Q$ ) snagu procesiranih signala frekvencije različite od pretpostavljene sa greškom manjom od 1,25 %, ako frekvencija leži u opsegu 47 Hz do 53 Hz. Ovo je tačnost koja omogućava da se algoritam upotrebi u mernim uređajima i zaštitnim digital-



Slika 5. Konvergencija algoritma pri nagloj promeni ( $P$ ), ( $Q$ ) i frekvencije

nim relejima. Brzina algoritma pri izračunavanju je velika, te je prihvatljiv za primenu u relejnoj zaštiti, jer proces dvostrukog usrednjavanja ne zahteva mnogo računskih operacija. Sa priloženih slika vidi se da algoritam pri promeni vrednosti i amplitude signala konvergira monotono, bez preskoka, ka novoj vrednosti, što ga preporučuje za primenu u relejnoj zaštiti. Algoritam je primenljiv i za digitalne merne instrumente za merenje ( $P$ ), ( $Q$ ) i ( $S$ ). Autori su svesni činjenice da je u radu izbegnuto traženje vektora napona i struje i njihovo usrednjavanje, jer bi to tražilo realizaciju dva korenovanja u svakom koraku kao i traženje ugla za svaki signal, ali i usrednjavanje uglova, a to bi za potrebe zaštite bio preveliki broj operacija za on-line primenu. Zbog toga je i primenjeno u radu prezentovano algoritamsko rešenje koje je manje precizno, ali zato znatno brže. Algoritam je primarno i namenjen za potrebe usmerene zaštite, gde se u merenju aktivne i reaktivne snage ne traži velika tačnost, već pre svega velika brzina. Prezentovani algoritam je uspešno implementiran u okviru mikroprocesorske zaštite distributivnog izvoda, gde glavni akcenat nije na tačnosti već na brzini i jednostavnosti (i iz tog razloga algoritam nije upoređivan sa drugim algoritmima za merenje snage).

#### 5. ZAHVALNOST

Autori zahvaljuju recenzentima, a naročito recenzentu A, na pažljivom čitanju prve verzije rada i veoma korisnim primedbama (autori su ih prihvatili) koje su dosta doprinele da kvalitet rada bude bolji.

## 6. LITERATURA

[1] M. Đurić, RELEJNA ZAŠTITA, Beopres, Beograd, 2003.

[2] V. Terzija, M. Đurić, DIGITALNE METODE ZA MERENJE FREKVENCije NISKOFREKVENTNIH SIGNALA, Beopres, Beograd, 1998.

Rad je primljen u uredništvo 06. 09. 2004. godine



**Milenko B. Đurić** rođen je u Sarajevu 1948. godine. Elektrotehnički fakultet u Beogradu završio je 1973, gde je magistrirao 1977. i doktorirao 1985. godine. Redovni je profesor na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Bavi se relejnom zaštitom, elektroenergetskim postrojenjima, stabilnošću i regulacijom EES-a.



**Goran Č. Đukić** rođen je u Doboju, Republika Srpska, 1968. godine. Diplomirao je i magistrirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, gde trenutno radi kao asistent na Katedri za elektroenergetske sisteme. Uže stručne oblasti interesovanja su relejna zaštita, razvodna postrojenja, sistemi upravljanja u elektroenergetici, racionalizacija potrošnje električne energije, kvalitet električne energije.

---

Goran Č. Đukić i Zoran Stojanović

# Modernizacija sistema zaštite i upravljanja hidroelektrane „Đerdap I”

Stručni rad  
UDK: 621.31.21

---

Rezime:

U radu je prikazano jedno rešenje integrisanog sistema zaštite i upravljanja hidroelektrane „Đerdap I”. Prikazano rešenje je bazirano na računarski distribuiranom sistemu upravljanja, a u skladu sa osnovnim smernicama za savremeni koncept automatizacije rada hidroelektrana koji je preporučen u IEEE Standard 1249-1996. Predloženo savremeno rešenje je predviđeno uz zadržavanje postojećeg sistema upravljanja (završetkom revitalizacije svih šest agregata i tri blok transformatora egzistirajuće samo nov sistem) i koncipirano je tako da se nivo pouzdanosti upravljanja objektima hidroelektrane „Đerdap I” maksimalno povećava a pogonskom osoblju značajno olakšava rad. Modernizacijom će sistem zaštite i upravljanja ostati otvoren i za neke buduće funkcije, poboljšanja i proširenja.

**Ključne reči: upravljanje, SCADA, MMI**

---

Abstract:

MODERNIZATION OF PROTECTION AND CONTROL SYSTEM  
OF HYDROPOWER PLANT „DJERDAP 1”

This paper presents one possible solution of integrated protection and control system of the hydropower plant "Djerdap 1". Presented solution is based on computing distributive system, regarding IEEE Standard 1249-1996. Suggested contemporary solution predicts parallel work with (till the end of revitalization works when only the new solution will exist) existing control system and provides higher reliability of control system and makes work much easier for plant employees. After modernization, protection and control system will be opened for novel functions, improvements and expanding.

**Key words: control, SCADA, MMI**

---

## 1. UVOD

Pojam „upravljanje” u širem smislu obuhvata: nadzor (signalizacija, merenje, i dr.), zaštitu, komandovanje, regulaciju i vođenje procesa. Današnje generacije sistema za upravljanje se mogu okarakterisati kao *integrirani, distribuirani i otvoreni sistemi*,

a sastoje se od skupova međusobno povezanih, mikroprocesorski baziranih uređaja (MBU). Komunikacija između takvih uređaja se odvija putem komunikacionih mreža (sabirnica) koje, ako odgovaraju otvorenom modelu, omogućavaju proširivanje i prestrukturiranje sistema i povezivanje sa drugim sistemima. Distribuiranost sistema za upravljanje podra-

---

Mr Goran Č. Đukić, dipl. ing. el. – Elektrotehnički fakultet, 11 000 Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73  
Zoran Stojanović, dipl. ing. el. – Energoprojekt-Hidroinženjering, 11 070 Novi Beograd, Bulevar Mihaila Pupina 12

zumeva da se delovi upravljačkog sistema mogu locirati bliže objektu kojim se upravlja i da se struktura uređaja i funkcije upravljanja mogu prilagoditi strukturi procesa kojim se upravlja. Ovo je od posebne važnosti i pogodnosti u slučajevima gde je proces postojeći i u kome se u okviru njegove revitalizacije/modernizacije uvodi novi sistem upravljanja. Sistem upravljanja mora u svemu da sledi utvrđene *hijerarhijske nivoe upravljanja* i omogućiti izvršavanje definisanih funkcija na svakom od nivoa upravljanja, kao i zahtevani način komunikacije između pojedinih nivoa upravljanja.

## 2. NIVOI, NAČINI I IZBOR MESTA UPRAVLJANJA HE „ĐERDAP 1”

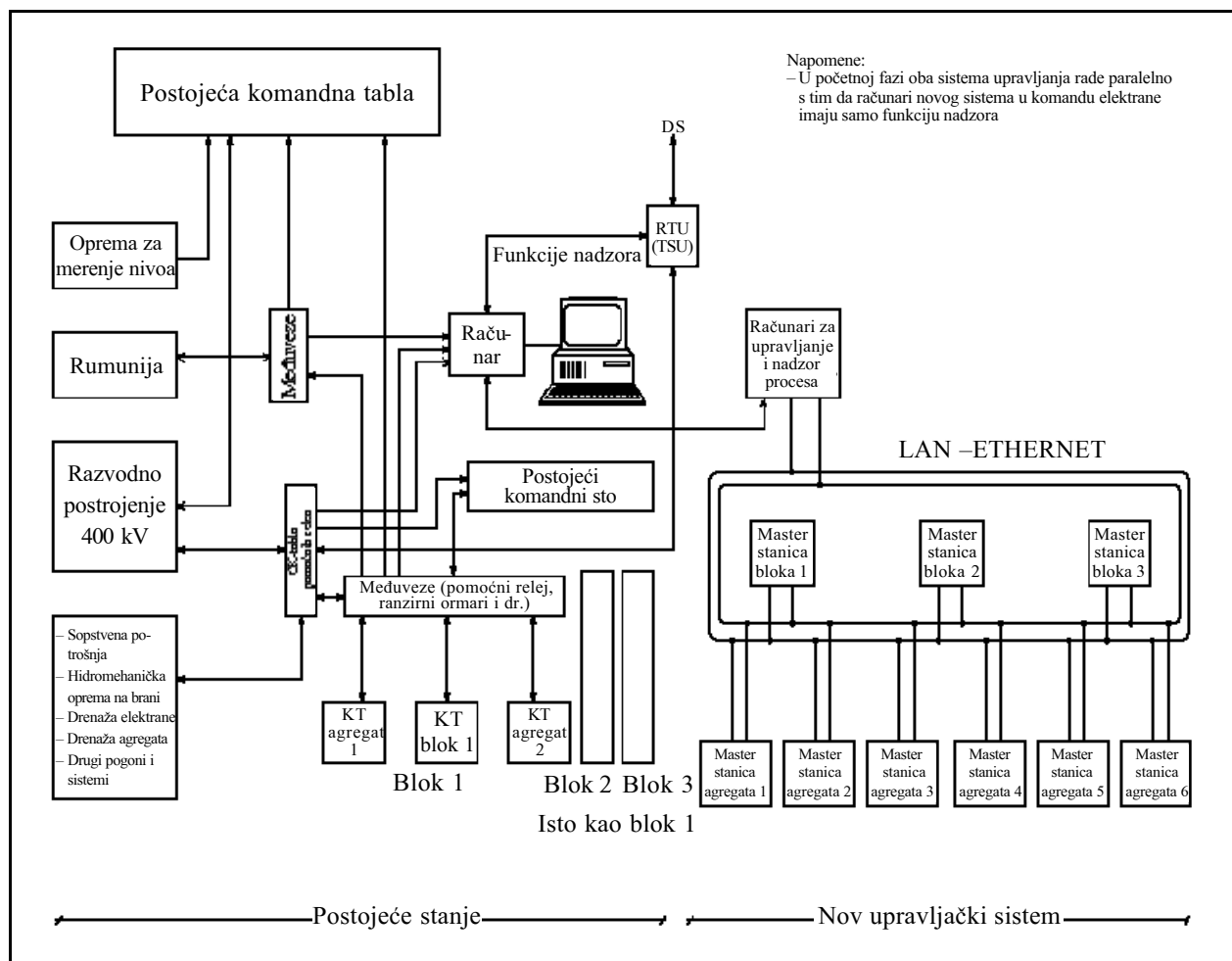
Sa gledišta upravljanja, hidroelektrana (HE) se može predstaviti kao skup funkcionalnih celina i grupa, hijerarhijski organizovanih i tehnološki međusobno povezanih. Hijerarhijska struktura upravljanja hidroelektranama omogućava selekciju i redukciju informacija i upravljačkih akcija koje se raz-

menjuju između pojedinih nivoa. Ako se ovo ima u vidu, a posmatra konkretan objekat HE „Đerdap 1”, onda se predviđaju sledeći nivoi upravljanja:

- nivo funkcionalne grupe,
- nivo agregata, odnosno transformatorskog bloka,
- nivo elektrane i
- nivo dispečerskog centra.

Kada je reč o načinu upravljanja, predviđaju se sledeće mogućnosti:

- direktno ručno upravljanje,
  - ručno upravljanje,
  - poluautomatsko upravljanje i
  - automatsko upravljanje,
- dok se izbor mesta upravljanja opremom vrši sa sledećih lokacija:
- preklopke na ormanima funkcionalnih grupa,
  - tastatura operatorskih panela inteligentnih digitalnih jedinica (IDJ),
  - tastatura master stanice (MS) agregata na komandnoj tabli agregata, odnosno na komandnoj tabli bloka (PLC) i



Slika 1. Novi sistem upravljanja „Đerdap 1”, uz prikaz postojećeg stanja



– tastatura računara (PC) u centralnoj komandi elektrane.

*Direktno ručno upravljanje* realizuje se tasterima, prekidačima, preklopkama i signalnim sijalicama sa ormana funkcionalnih grupa korišćenjem relejne tehnike ili IDJ-a, i posebnih uređaja za ručno upravljanje pojedinim funkcionalnim grupama agregata (turbinska regulacija, sistem regulacije pobude, pomoćna oprema generatora i sinhronizacija). U direktnom ručnom režimu moguće je kompletno izvršavanje svih sekvenci pokretanja, zaustavljanja, sinhronizacije i rada agregata na mreži.

*Ručno upravljanje* ostvaruje se uključanjem pojedinih delova opreme sa operatorskih panela IDJ-a. Pri ručnom upravljanju, iz IDJ-a upravlja se opremom na osnovu ručnih naloga uz programski realizovane zaštite i blokade.

U terminologiji upravljanja termin „korak” se koristi za upravljačku celinu u kojoj se izdaje komandni nalog pojedinačnom pogonu, odnosno izvršava se samo jedna operacija u nizu. Pri tome nalog za izvršavanje naredne operacije sleduje tek po uspešnom kompletiranju prethodne operacije.

*Poluautomatsko upravljanje* („korak po korak”) ostvaruje se sa master stanice agregata izdavanjem ručnih naloga digitalnim jedinicama za pojedinačnu ili grupnu inicijalizaciju određenih sekvenci. Izvršavanje svake sekvence inicijalizuje se posebnim nalogom. IDJ upravlja opremom na osnovu svih naloga i sopstvenog programa.

*Automatsko upravljanje* ostvaruje se iz IDJ-a i master stanice agregata. Pri automatskom upravljanju IDJ upravlja opremom na osnovu sopstvenog programa, master stanica agregata automatski izdaje zahteve digitalnim jedinicama za inicijalizaciju određenih sekvenci. Parametri i referentne vrednosti za automatski rad zadaju se ručno sa master stanice agregata. Pored toga omogućeno je i komandovanje sa postojeće opreme u komandi elektrane. Ovo komandovanje će postojati sve dok se ne realizuje novi sistem upravljanja na nivou elektrane (slika 1).

### 3. RAZMENA PODATAKA SA PROCESOM

Razmena podataka između upravljačkog sistema i procesa ostvaruje se preko IDJ-a. IDJ-i formiraju interfejs sa procesom, preko I/O modula vezanih za senzore i aktuator. Analogna merenja električnih veličina se po pravilu prihvataju kao signali sa odgovarajućih pretvarača merenih veličina. Električna merenja se prihvataju preko digitalnih mernih blokova, direktno sa mernih transformatora.

IDJ-i i blok-transformatora i agregata obezbeđuju hronološku registraciju događaja u procesu i njihovo prosleđivanje ka MS-u i dalje ka komandi

elektrane. Svakom događaju u procesu koji se hronološki registruje pridodaju se vreme nastanka i vrsta događaja.

### 3.1. Komunikacione funkcije

Primenjuje se sistem otvorene komunikacije usklađen sa međunarodnim standardima. Komunikacija na nivou funkcionalne grupe obuhvata komunikaciju između IDJ-a i operatorskih panela, kao i između mastera digitalnih mernih blokova i digitalnih mernih blokova. Ostvaruje se standardnim vezama za ovaj nivo: RS-232, RS-422, RS-485, itd. Komunikacija na nivou agregata i blok-transformatora obuhvata komunikaciju MS-a sa IDJ-ima.

Master stanice agregata i transformatora bloka razmenjuju podatke odgovarajućim komunikacionim vezama sa računarima, serverima i drugim MS-ima. Ova komunikacija je udvojena računarska mreža tipa Ethernet, sa optičkim kablovima, sa brzinom prenosa 10 Mbs ili većom, korišćenjem TCP/IP protokola.

### 3.2. Vremenska sinhronizacija

Vremenska sinhronizacija svih IDJ-a, MS-a i računara ostvaruje se posredstvom GPS prijemnika. Predviđena je i rezervna mogućnost sinhronizacije preko drugih davača signala tačnog vremena.

## 4. RAČUNARI ZA UPRAVLJANJE, NADZOR PROCESA I KONFIGURISANJE SISTEMA (SCADA) NA NIVOU HIDROELEKTRANE „ĐERDAP 1”

U prvoj fazi realizacije sistema upravljanja ovi računari obezbeđuju sledeće funkcije:

- akvizicija podataka iz master stanice agregata i transformatora bloka,
- obrada alarma,
- obrada merenja i generisanje dijagrama mernih veličina,
- arhiviranje relevantnih podataka iz procesa,
- prikaz i potvrda događaja u sistemu,
- prikaz slika na ekranu,
- generisanje korisničkih izveštaja i prikaz izveštaja,
- izbor režima rada (nadzor, upravljanje, obuka, programiranje, održavanje),
- zadavanje naloga za promenu aktivne i reaktivne snage agregata (pojedinačno i grupno),
- prihvatanje i prosleđivanje naloga iz dispečerskog centra i
- komunikacija u LAN mreži.

Ostavlja se mogućnost kasnijeg proširenja i hardvera i funkcija (zidni ekranski sistem, računari za

dijagnostiku i optimizaciju, računari za planiranje i analize,...). Grafički prikaz funkcija upravljačko-informacionog sistema na hidroelektrani „Đerdap 1” prikazan je na slici 2.

#### 4.1. Softver upravljačko-informacionog sistema agregata i transformatora bloka

Softver upravljačko-informacionog sistema obuhvata sledeće podsisteme:

- sistem za automatizaciju koji obuhvata akviziciju signala i upravljanje procesom preko digitalnih jedinica i
- sistem za nadzor i upravljanje procesom, koji obuhvata nadzor preko monitora, kao i interakciju operatera sa procesom preko tastature računara u centralnoj komandi ili master stanice agregata.

#### 4. 2. Osnovni zahtevi za komunikaciju čoveka sa procesom (MMI interfejs)

Prezentacija podataka obavlja se na monitorima i operatorskim panelima. Predviđeno je da se inicijalizacija prikazivanja obavlja na sledeće načine:

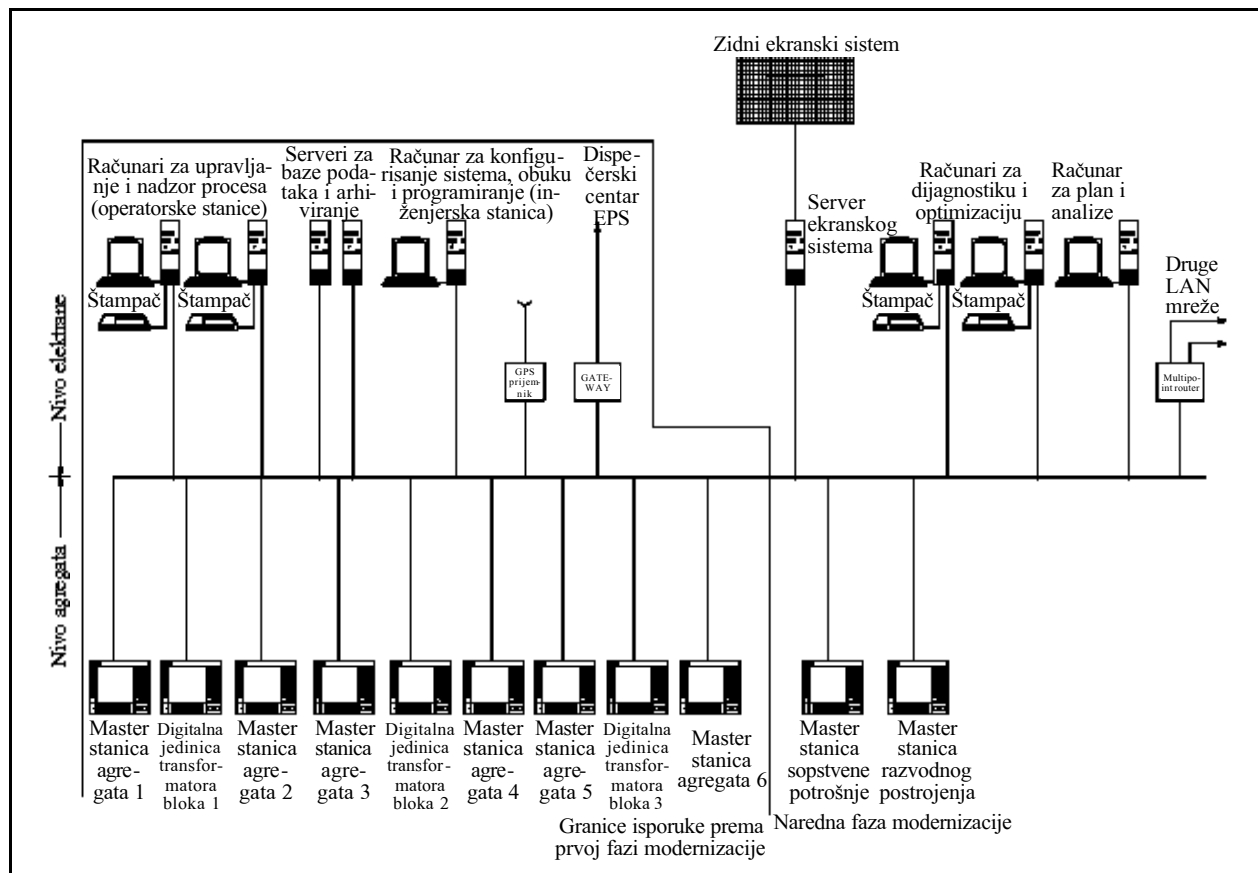
- na zahtev operatera,
- spontano na osnovu nastanka određenih događaja u procesu ili upravljačko-informacionom sistemu i
- periodično u unapred zadatim vremenskim intervalima koji su promenljivi tokom eksploatacije na bazi intervencije operatera.

Svaki ekranski prikaz sadrži sledeća područja (zone) kao minimum:

- sistemsku zonu sa podacima o vremenu i datumu, oznakom aktivnog prikaza i oznakom o statusu osvežavanja prikaza,
- zonu za poruke koje razmenjuju korisnik i sistem,
- glavnu zonu koja sadrži aktuelni prikaz,
- zonu događaja i
- zonu menija.

Na ekranskim prikazima nalaze se sledeći podaci:

- formati (fiksni deo prikaza),
- sistemski parametri,
- podaci o režimima i mestima upravljanja,
- podaci o režimima rada, parametrima i referentnim vrednostima,
- svi procesni podaci,
- ručno uneti podaci,
- izračunati podaci i



Slika 2. Grafički prikaz funkcija upravljačko-informacionog sistema na hidroelektrani „Đerdap 1” posle revitalizacije

– podaci o statusu i radu procesnog sistema.

Podsistem za interakciju čoveka sa procesom sastoji se iz nekoliko standardnih skupova funkcija:

- prikaz slika na ekranu,
- prikaz alarma i događaja i potvrda alarma u sistemu,
- prikazivanje trendova,
- izdavanje komandi u sistemu,
- prikaz i modifikacija parametara sistema i
- pregledi listi alarma i događaja.

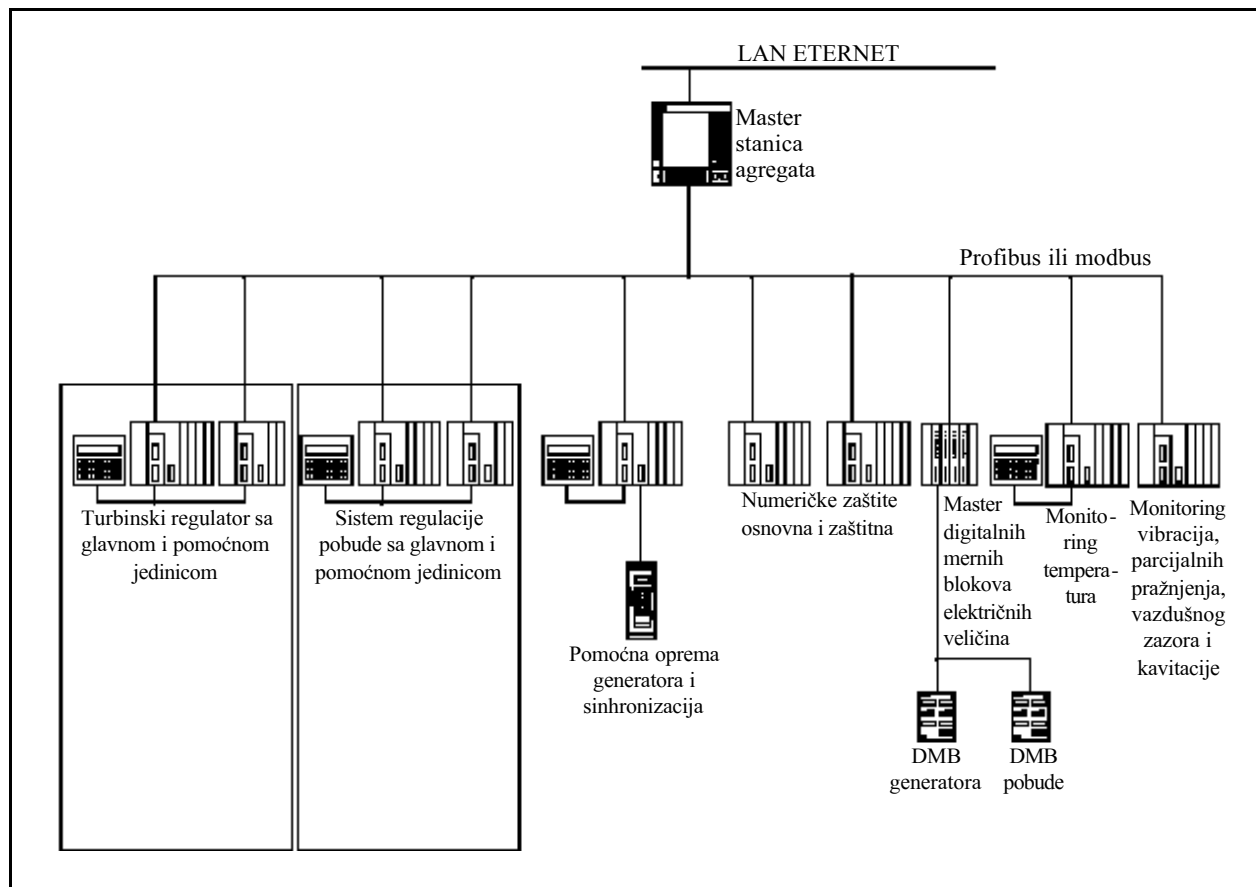
## 5. NIVO AGREGATA

Sa nivoa agregata predviđeni su sledeći načini upravljanja:

- poluautomatsko upravljanje preko master stanice (MS) agregata i
- automatsko upravljanje preko MS-a agregata, dok je sa nivoa funkcionalne grupe predviđeno:
- direktno ručno upravljanje, realizovano izvan inteligentnih digitalnih jedinica (IDJ),
- ručno upravljanje preko IDJ-a i operatorskih panela i
- automatsko upravljanje preko IDJ-a.

U orman master stanice agregata (slika 3) ugrađuje se MS realizovana kao industrijski PC računar sa integrisanim monitorom, tastaturom na prednjoj strani ormara, kao i komunikaciona oprema potrebna za povezivanje MS-a sa sledećim uređajima (funkcionalnim grupama):

- glavni i pomoćni IDJ turbinske regulacije,
- glavni i pomoćni IDJ sistema regulacije pobude i
- IDJ pomoćne opreme generatora (nadzor i upravljanje rasklopnom opremom generatora, rastavljačem za električno kočenje, ventilima rashladne vode generatora i ležaja) i sinhronizacije (ručna i automatska),
- osnovni i rezervni IDJ električnih zaštita, a to su:
  - 100 % zaštita od zemljospoja statora,
  - 90 % zaštita od zemljospoja statora,
  - prenaponska zaštita,
  - zaštita od gubitka pobude (asinhronog rada),
  - zaštita od povratne snage (motornog režima),
  - prekostrujna zaštita (sa vremenskim zatezanjem i trenutna),
  - impedantna zaštita,
  - zaštita od nepravilnog rukovanja rasklopnom opremom,



Slika 3. Nivo agregata sa pripadajućim funkcionalnim grupama

- zaštita od preopterećenja statora,
- zaštita od nesimetričnog opterećenja,
- zaštita od otkaza prekidača,
- diferencijalna zaštita generatora,
- zaštita od kratkog spoja navojaka statora,
- zaštita od zemljospoja rotora,
- nadzor isključnih krugova,
- master digitalnih mernih blokova ili direktno sa digitalnim mernim blokovima,
- IDJ za monitoring temperatura i
- IDJ za monitoring (vibracije, parcijalna pražnjenja, vazdušni zazor, kavitacija).

Osim toga ugrađuje se i komunikaciona oprema, potrebna za povezivanje MS-a sa računarima u komandi elektrane, u vidu Ethernet mreže sa TCP/IP protokolom, dok se komunikacija između funkcionalne celine i grupa ostvaruje preko Modbus-a, Profibus-a ili tvrdog ožičenja. MS, u slučaju prekida komunikacije sa komandom elektrane, nastavlja svoje funkcionisanje i agregat radi u lokalnom automatskom radu.

## 6. NIVO TRANSFORMATORA BLOKA

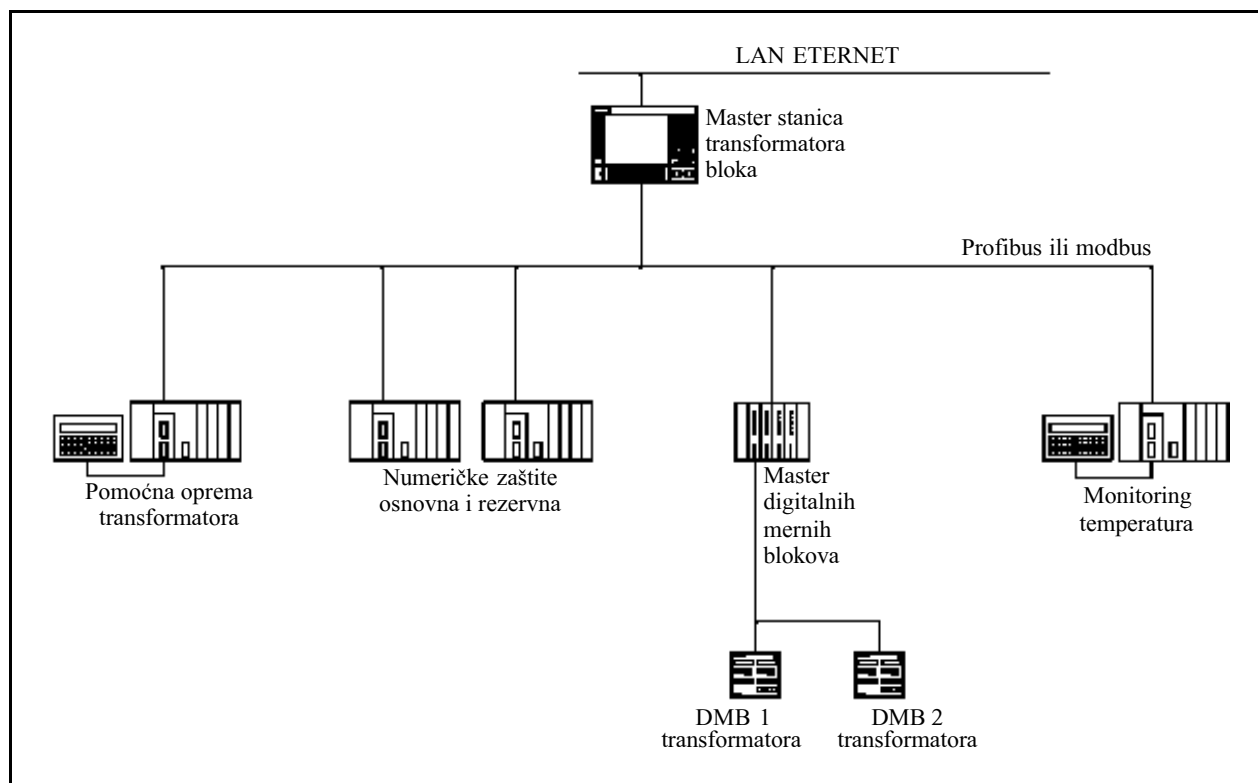
Sa nivoa transformatora bloka predviđeni su sledeći načini upravljanja:

- poluautomatsko upravljanje preko MS-a transformatora bloka i

- automatsko upravljanje preko MS-a transformatora bloka.

U orman master stanice transformatora (slika 4) bloka ugrađuje se MS realizovana kao industrijski PC računar sa integrisanim monitorom, tastaturom na prednjoj strani ormara, IDJ za nadzor i upravljanje sabirničkim prekidačem i ventilima rashladne vode transformatora bloka, master digitalnog mernog bloka, kao i komunikaciona oprema potrebna za povezivanje MS-a sa prethodno navedenim jedinicama i sa:

- IDJ-om za monitoring temperature transformatora bloka i sinhronizaciju visokonaponskog prekidača i
- osnovnim i rezervnim IDJ-om električnih zaštita, a to su:
  - prekostrujna zaštita transformatora bloka (sa vremenskim zatezanjem i trenutna),
  - prekostrujna zaštita nulte komponente struje transformatora bloka,
  - zaštita od preopterećenja transformatora bloka,
  - diferencijalna zaštita transformatora bloka,
  - zemljospojna zaštita sekundara transformatora bloka,
  - prekostrujna zaštita transformatora sopstvene potrošnje,
  - zaštita od preopterećenja transformatora sopstvene potrošnje i



Slika 4. Nivo transformatora bloka sa pripadajućim funkcionalnim grupama

– diferencijalna zaštita transformatora sopstvene potrošnje.

Osim toga, ugrađuje se i komunikaciona oprema, potrebna za povezivanje MS-a sa računarima u komandi elektrane, u vidu Ethernet mreže sa TCP/IP protokolom, dok se komunikacija između funkcionalne celine i grupa ostvaruje preko Modbus-a, Profibus-a ili tvrdog ožičenja. MS, u slučaju prekida komunikacije sa komandom elektrane, nastavlja svoje funkcionisanje i agregat radi u lokalnom automatskom radu.

## 7. ZAKLJUČAK

*U radu su razmotreni detaljno svi nivoi upravljanja u okviru hidroelektrane „Đerdap 1”, zatim načini upravljanja kao i mesta upravljanja opremom na pomenutoj hidroelektrani. Takođe je definisana i potrebna razmena podataka centralnog mesta upravljanja hidroelektranom sa fizičkim procesima, i u tom kontekstu definisane su i sve potrebne komunikacione funkcije, vremenska sinhronizacija. Detaljno su prikazane osnovne funkcije koje se zahtevaju od centralnog-SCADA računara kao i implementiranog softvera upravljačko-informacionog sistema. Na kraju su navedeni i osnovni zahtevi koji se postavljaju za MMI, u ovom konkretnom slučaju, na centralnom upravljačkom mestu.*

## 8. LITERATURA

- [1] HIDROENERGETSKI I PLOVIDBENI SISTEM „ĐERDAP 1”, REVITALIZACIJA POSTOJEĆIH AGREGATA SA POVEĆANJEM SNAGE, knjiga V, deo VIII-posebni tehnički uslovi za elektroopremu, Energoprojekt-Hidroinženjering A. D., Beograd, januar 2000.
- [2] HYDRO-POWER PLANT „ĐERDAP 1”, Alstom, May 2003.
- [3] IEEE APPLICATION GUIDE FOR DISTRIBUTED DIGITAL CONTROL AND MONITORING FOR POWER PLANTS, IEEE Std 1046-1991, October 1991.
- [4] IEEE GUIDE FOR COMPUTER-BASED CONTROL FOR HYDROELECTRIC POWER PLANT AUTOMATION, IEEE Std 1249-1996, May 1997.
- [5] M. Đurić, A. Čukarić, ELEKTRANE, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1998.
- [6] M. Filipović, D. Pamučar, UVOĐENJE TSU U HE ĐERDAP 1-PRIKAZ USVOJENIH REŠENJA, VIII Savetovanje o upravljanju i informatici u Elektroprivredi Jugoslavije, 1990.
- [7] LISTA SIGNALIZACIJA I PRIKLJUČNA TABLA DIGITALNIH ULAZA RTU-a PO DI MODULIMA-HE VIŠEGRAD, EPI, Beograd, 1999.
- [8] C. Brauner, LATEST DEVELOPMENTS IN INTEGRATED HYDRO POWER PLANT AND SUBSTATION CONTROL SYSTEM, Proceedings on International Conference of Energy Managements and Power Delivery (EMPD) '95, 1995.
- [9] J. Wacker, K. Zadeh, HYDRO AUTOMATION TAKES COORDINATED CONTROL, IEEE Computer Applications in Power, October 1997.
- [10] T. Dy-Liacco, MODERN CONTROL CENTERS AND COMPUTER NETWORKING, IEEE Computer Applications in Power, October 1994.
- [11] PROJECTS WITH HYDRO APPLICATIONS, El-sag Bailey Process Automation/Bailey Network Management, 1999.
- [12] IEEE TUTORIAL COURSE-COMMUNICATION PROTOCOLS, IEEE Communications Committee and IEEE Power Engineering Society, 1995.
- [13] COMPUTER MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR MACEDONIA KOZJAK HYDRO-POWER PLANT, Executive Schedules, IWHR, June 2003.
- [14] HE/RHE „BAJINA BAŠTA”, KONCEPCIONO REŠENJE UPRAVLJANJA I NADZORA, Energoprojekt-Hidroinženjering A. D., jun 2003.

Rad je primljen u uredništvo 06. 09. 2004. godine



**Goran Č. Đukić** rođen je u Doboju, Republika Srpska, 1968. godine. Diplomirao je i magistrirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, gde trenutno radi kao asistent na Katedri za elektroenergetske sisteme. Uže stručne oblasti interesovanja su relejna zaštita, razvodna postrojenja, sistemi upravljanja u elektroenergetici, racionalizacija potrošnje električne energije, kvalitet električne energije.



**Zoran Stojanović** rođen je u Požarevcu 22. 07. 1979. godine. Gimnaziju je završio u Svi-lajncu 1998. godine. Diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na smeru Elektroenergetski sistemi 2003. godine. Trenutno je zaposlen u projektnom birou u Energoprojektu/Hidroinženjering, gde je angažovan na projektu revitalizacije sistema upravljanja i zaštite HE Đerdap 1.

ELEKTROPRIVREDA, br. 1, 2005.

# Indikatori kvaliteta napona nekih nelinearnih potrošača na području JP „Elektrodistribucija” Niš

Stručni rad

UDK: 621.3.015.3; 621.3.011.72; 621.3.023

---

## Rezime:

U radu su prikazani rezultati merenja napona i struja nekih niskonaponskih nelinearnih prijemnika (računara, televizora, fluorescentnih svetiljki, živinih svetiljki i pogona sa regulisanom brzinom) koji su poznati kao značajniji izvori harmonika. Da bi se stekao uvid u uticaj ovih prijemnika na kvalitet napona u JP „Elektrodistribucija” – Niš, izvršena su merenja harmonika struje i napona u transformatorskim stanicama TS 10/0,4 kV/kV koje snabdevaju neke karakteristične potrošače: fakultet, tržni centar i stambenu potrošnju. Indikatori nivoa harmonika struje i napona su upoređeni sa graničnim vrednostima koje su specificirane međunarodnim standardima. Pored harmonika napona, tokom merenja posmatrani su još neki parametri kvaliteta napona kao sto su: varijacija efektivne vrednosti napona, varijacija frekvencije, nesimetrija i fluktuacija napona. Odgovarajući indikatori kvaliteta napona su statistički analizirani i upoređeni sa graničnim vrednostima koje propisuju međunarodni standardi.

**Ključne reči:** kvalitet električne energije, harmonici, distributivne mreže

---

## Abstract:

### POWER QUALITY INDICES OF SOME NONLINEAR LOADS IN THE AREA OF PUBLIC ENTERPRISE „ELEKTRODISTRIBUCIJA NIŠ”

Measurement results of voltages and currents of some low voltage nonlinear devices (computer, television set, fluorescent, mercury lamps and variable frequency drive) that are known as significant harmonic sources are presented in this paper. Current and voltage harmonic measurements are performed in transformer stations TS 10/0,4 kV/kV that supply some characteristic consumers: faculty, shopping mall and residential load to obtain the insight of mentioned device influence on power quality in Public Enterprise „Elektrodistribucija” Niš. Along with voltage harmonics, some other power quality factors such as: voltage rms variation, frequency variation, unbalance and voltage fluctuation are observed during the measurements. Corresponding power quality indices are statistically analyzed and compared with international standard limits.

**Key words:** power quality, harmonics, distribution networks

---

## 1. UVOD

Sa pokretanjem procesa deregulacije elektroprivrede i konkurencije među distributerima pitanje

kvaliteta električne energije je postalo naročito aktuelno. U uslovima deregulisanog tržišta električne energije, ova energija se tretira kao roba pod čijim se kvalitetom najčešće podrazumeva tehnički kvalitet

---

Mr Lidija Korunović, dipl. ing., prof. dr Dobrivoje Stojanović, dipl. ing., – Elektronski fakultet, 18 000 Niš, Aleksandra Medvedeva 14

koji se posmatra kroz kvalitet isporuke i kvalitet isporučene električne energije [1]. Kvalitet isporuke električne energije obuhvata probleme pouzdanosti i sigurnosti napajanja, što su osnove funkcionisanja svakog elektroenergetskog sistema. Problem kvaliteta isporučene električne energije, koji se često zove i kvalitet napona, vezan je za stabilnost rada sistema, poremećaje u radu i međusobne uticaje sistem-potrošač. Ovaj problem je postao posebno aktuelan sa pojavom takozvanih „osetljivih potrošača” kao što su računari, procesna oprema u industriji, složeni uređaji i sklopovi koji su upravljani mikroprocesorima, itd.

Pitanje kvaliteta napona u svetu i kod nas zauzima sve veću pažnju naučne i stručne javnosti: objavljuju se brojni radovi i knjige o ovoj problematiki [1–12], donose se standardi i preporuke [13–16], održavaju simpozijumi, otvaraju konsultantske firme, proizvode uređaji i adekvatna merna oprema za kontrolu i poboljšanje kvaliteta napona.

Naime, prilikom korišćenja električne energije, elektroenergetski sistem, instalacije i električni uređaji generišu, ili su izloženi čitavom nizu smetnji različite prirode i uzroka koje se nazivaju elektromagnetske smetnje [2]. Dominantan uticaj na kvalitet napona imaju nelinearni potrošači, tranzijentne pojave usled komutacija i kvarova u sistemu, atmosferski prenaponi, rad elektroenergetskog sistema na granici mogućnosti, velike varijacije opterećenja na perifernim delovima itd.

Narušavanje kvaliteta napona se manifestuje kroz degradaciju osnovnih parametara i izobličenje talasnog oblika, pa se i činioci (parametri) kvaliteta mogu podeliti na one koji se odnose na osnovne parametre napona i one koji se odnose na deformacije talasnih oblika.

Prva grupa parametara kvaliteta napona definiše pravilan rad sistema i tu spadaju:

- varijacija efektivne vrednosti napona,
- varijacija frekvencije i
- pojava nesimetrije u mreži.

Druga grupa parametara kvaliteta napona se može podeliti na tri podgrupe na osnovu dužine njihovog trajanja:

- tranzijente (impulsi i oscilacije),
- prelazne režime sistema (propadi, premašenja, podnaponi, prenaponi i beznaponske pauze) i
- ustaljeno stanje sistema (DC offset, harmonici, interharmonici, urezi, fluktuacije napona i šum).

Distributivni sistemi su projektovani za napone i struje sinusoidalnog talasnog oblika. Nesinusoidalne struje mogu nastati zbog nesinusoidalnog napona generatora, rada nelinearnih uređaja u mreži i nelinearnih prijemnika. Uopšteno govoreći, generisani napon koji se potom transformiše na prenosni nivo

je veoma blizak sinusoidi i ima malu deformaciju. Prenosni vodovi i transformatori su prilično linearni i uzrokuju malu deformaciju talasnih oblika napona ili struja. Međutim, pogoni sa regulisanom brzinom, izvori besprekidnog napajanja i neki prijemnici su nelinearni [3–9]. Oni mogu uzrokovati ozbiljne probleme, kao što su porast gubitaka snage i energije u vodovima i transformatorima, kvarove kondenzatora, nepravilan rad elektronske opreme i prekidača.

Povod za istraživanje, prezentovano u ovom radu, je to što su autori rada merenjima utvrdili da pored toga što efektivna vrednost napona u nekim kancelarijama i stanovima značajno varira tokom dana i talasni oblik tog napona je izobličen.

U cilju utvrđivanja koji nelinearni prijemnici su uzročnici deformacije napona, snimani su talasni oblici i nivoi harmonika struje različitih niskonaponskih (NN) prijemnika koji se koriste u administrativnim zgradama, visokoškolskim ustanovama, trgovačkoj, stambenoj potrošnji i industriji. Tako su u ovom radu najpre navedeni rezultati merenja struje računara, televizora, fluorescentnih, živinih svetiljki i elektromotornog pogona sa regulisanom brzinom.

Da bi se stekao uvid u uticaj velikog broja ovih potrošača relativno male nazivne snage na kvalitet napona, snimane su ukupne struje i naponi na 0,4 kV nivou transformatorskih stanica na području JP „Elektrodistribucija” Niš. Izabrane su transformatorske stanice koje napajaju karakteristične potrošače: fakultet (reprezent visokoškolskih ustanova, koje imaju sličan sastav potrošnje kao administrativne zgrade), tržni centar (predstavnik trgovačke potrošnje) i stambenu potrošnju.

Pored harmonika struje i napona, posmatrani su varijacija efektivne vrednosti napona, varijacija frekvencije, nesimetrija i fluktuacija napona. Vrednosti indikatora navedenih parametara kvaliteta napona su statistički analizirani i upoređeni sa graničnim vrednostima (limitima) koje definišu međunarodni standardi.

Merenja su vršena analizatorom snage Chauvin Arnoux C. A 8332 tokom letnjeg perioda.

## 2. INDIKATORI KVALITETA NAPONA

Korišćeni analizator snage daje veliki broj indikatora parametara kvaliteta električne energije. Oni opisuju ili kvantifikuju nivo odstupanja napona od željenog ili nominalnog, čime se kompleksne promene u vremenskom i frekventnom domenu izražavaju brojem na osnovu odgovarajuće matematičke formule. Njihov način računanja i merenja je standardizovan, pa se mogu međusobno uporediti.

Uopšteno govoreći, svaki nesinusoidalni periodični talasni oblik se može predstaviti sumom jedno-

smerne komponente i sinusoidalnih talasnih oblika različitih amplituda i faznih pomeraja i frekvencija koje su celobrojni umnošci osnovne frekvencije – harmonika. Tako se svaki periodični napon  $U(t)$  može izraziti sumom:

$$U(t) = U_0 + \sum_{h=1}^N U_h \sin(h \omega t + \varphi_h). \quad (1)$$

Slična jednačina se može napisati za talasni oblik struje  $I(t)$ . Tada se efektivna vrednost struje dobija na osnovu efektivnih vrednosti svakog harmonika struje:

$$I_{eff} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^N I_h^2}. \quad (2)$$

Za opisivanje nivoa viših harmonika, u radu je korišćena ukupna harmonijska distorzija napona i struje

$$THDU = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N U_h^2}}{U_1} \cdot 100 \%,$$

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \cdot 100 \% \quad (3)$$

kao i individualna harmonijska distorzija

$$HDU_h = \frac{U_h}{U_1} \cdot 100 \%, \quad HDI_h = \frac{I_h}{I_1} \cdot 100 \%. \quad (4)$$

Takođe su mereni i drugi indikatori kvaliteta napona: krest faktori napona i struje,

$$CFU = \frac{U_{max}}{U_{eff}}, \quad CFI = \frac{I_{max}}{I_{eff}}, \quad (5)$$

faktori distorzije napona i struje,

$$DFU = \frac{\frac{1}{2} \sum_{h=2}^N U_h^2}{U_{eff}^2},$$

$$DFI = \frac{\frac{1}{2} \sum_{h=2}^N I_h^2}{I_{eff}^2} \quad (6)$$

i K faktor struje

$$KF = \frac{\sum_{h=1}^N h^2 I_h^2}{I_1^2}, \quad (7)$$

od kojih su, zbog ograničenog obima ovog rada, kod rezultata merenja u transformatorskim stanicama dati samo opsezi vrednosti krest faktora napona.

Nesimetrija trofaznih mreža je prikazana faktorom nesimetrije napona i struje

$$U_{unb} = \frac{|U_i|}{|U_d|}, \quad I_{unb} = \frac{|I_i|}{|I_d|}, \quad (8)$$

gde indeks  $i$  označava inverznu, a indeks  $d$  direktnu komponentu napona, odnosno struje.

Posmatrano je i odstupanje efektivne vrednosti napona i vrednosti frekvencije od svojih nominalnih vrednosti u toku merenja.

Pored toga, analizator snage daje i kratkotrajni fliker faktor ( $P_{st}$ ) na bazi statističke obrade odbiraka napona. Ovaj faktor opisuje subjektivni utisak ljudi o treperenju osvetljaja koje se javlja usled fluktuacije napona.

### 3. MERENJA KOD NELINEARNIH NISKONAPONSKIH PRIJEMNIKA

U svakodnevnom životu često se koriste nelinearni prijemnici, a sa sve većom upotrebom računara i pogona sa regulisanom brzinom njihovo učešće u ukupnoj potrošnji ubrzano raste. Nelinearni prijemnici u domenu svojih primena mogu se odlikovati veoma dobrim performansama. Međutim, sa stanovišta indikatora kvaliteta napona koji opisuju nivo viših harmonika, oni mogu biti veoma nepovoljni, što potvrđuju i rezultati merenja prikazani u ovom odeljku.

Merenja su izvršena na različitim prijemnicima, a dati su rezultati samo za one nelinearne prijemnike kod kojih je utvrđeno da je nivo harmonika struje značajan:

1. računar,
2. televizor,
3. fluorescentne svetiljke,
4. živina svetiljka i
5. pogon sa regulisanom brzinom.

Rezultati su dati u tabeli 1: talasni oblik struje ovih prijemnika i napojni napon u ustaljenom stanju, karakteristične veličine napona i struje, kao i nivoi harmonika struje do dvadesetpetog.

Merenja struje računara su pokazala da je talasni oblik struje veoma izobličen usled njegovog nelinearnog rada,  $THDI$  iznosi 96,5 %, a  $CFI$  2,44, uz prisustvo trećeg, petog, sedmog i ostalih neparnih harmonika sve do dvadesetpetog. Sa druge strane, istoimene karakteristične veličine napona su bile relativno niske:  $THDU=2,5$  % i  $CFU=1,37$ , respektivno.

Televizori spadaju u značajne izvore viših harmonika, što pokazuje talasni oblik struje ( $CFI=3,01$ ) ovog prijemnika, kao i  $THDI$  koji iznosi 126,6 %. Prisustvo svih neparnih harmonika je još veće nego kod računara. Na mestu priključenja televizora



$THDU$  je iznosio 1,8 %, a  $CFU$  1,37 što su relativno dobre vrednosti.

Fluorescentne svetiljke rade na principu električnog pražnjenja u gasovima. Tom prilikom dolazi do stvaranja električnog luka u gasu što izaziva negativan uticaj na kvalitet napona. Na osnovu rezultata merenja se može zaključiti da je prisustvo viših harmonika struje fluorescentnih svetiljki dosta manje u odnosu na njihovo prisustvo kod računara i televizora,  $THDI=23,3$  %, a  $CFI=1,45$ . Međutim, kako se fluorescentne svetiljke upotrebljavaju u velikom broju u administrativnim zgradama, tržišnim centrima i obrazovnim ustanovama, očekuje se da će njihov negativni efekat na nivo harmonika struje i napona u transformatorskim stanicama koje ih napajaju biti značajan.

Merenja na živinim svetiljkama su pokazala da je nivo viših harmonika struje kod njih manji u odnosu na fluorescentne svetiljke,  $THDI=11,2$  %,  $CFI=1,54$ .

Upotreba frekvencijskih pretvarača uzrokuje pojavu viših harmonika u mreži. Ovo je potvrđeno merenjima za vreme rada regulisanog pogona pumpe za vodu koja su dala  $THDI$  od čak 108,9 % i  $CFI=2,67$ , uz naročito izraženi peti, sedmi i jedanaesti harmonik. Istovremeno merenje napona je dalo  $THDU$  od 1,8 %.

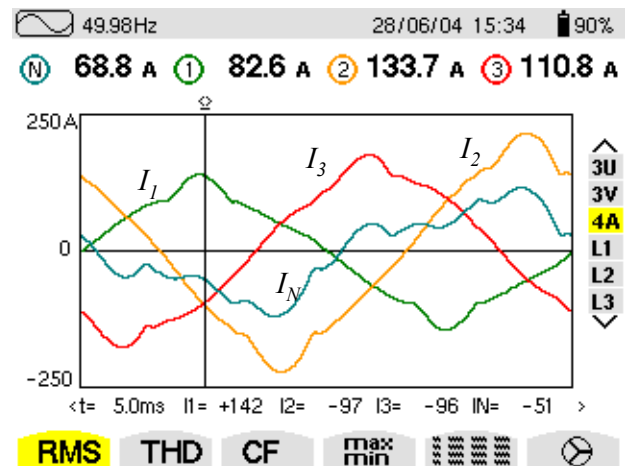
Na osnovu rezultata iz tabele 1 može se zaključiti da posmatrani parametri kvaliteta napona, koji su vezani za ustaljeno stanje, prvenstveno zavise od trenutnih prilika u mreži, to jest od broja, vrste i rasporeda prijemnika koji su u trenutku merenja priključeni na mrežu. Zato su merenja izvršena tokom nedelju dana u nekim transformatorskim stanicama koje napajaju veliki broj nelinearnih prijemnika relativno male nazivne snage, čime je pokazan njihov zbirni efekat kako na prisustvo harmonika u ukupnoj struji, tako i na kvalitet napona.

#### 4. MERENJA U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA

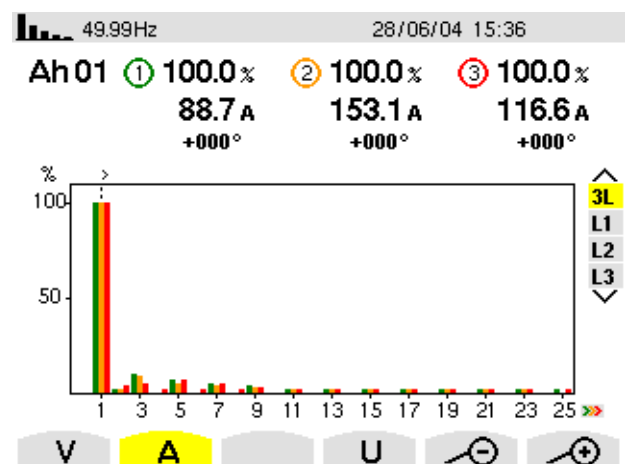
##### 4. 1. Fakultet

Merenja kvaliteta napona u TS 10/0,4 kV/kV koja napaja Elektronski fakultet u Nišu su vršena zbog toga što se na ovom fakultetu nalazi veliki broj računara i fluorescentnih svetiljki koji predstavljaju jedne od značajnijih izvora harmonika u niskonaponskim mrežama. Merenja su izvršena tokom nedelju dana u letnjem periodu, kada je udeo rezistivne potrošnje u ukupnoj potrošnji znatno manji u odnosu na onaj tokom zimskih meseci. Iz ove transformatorske stanice se napaja i veći broj živinih svetiljki za spoljašnje osvetljenje koje su takođe izvori harmonika.

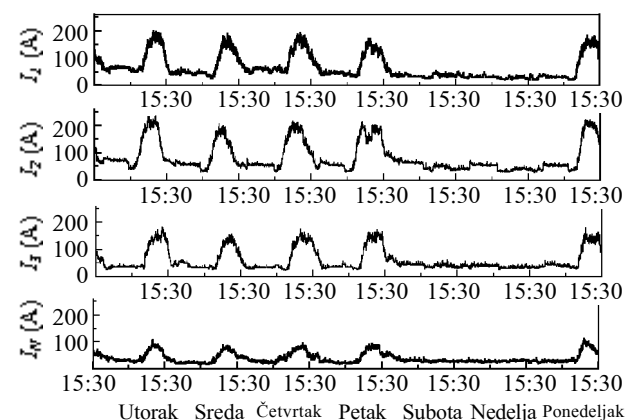
Na slici 1 su prikazani talasni oblici faznih struja ukupne potrošnje na 0,4 kV nivou u toku radnog vremena kada je veliki broj računara uključen. Izob-



Slika 1. Talasni oblici struja ukupne potrošnje fakulteta



Slika 2. Harmonijski spektar ukupnih struja fakulteta



Slika 3. Vremenska promena ukupnih struja fakulteta

Tabela 1.

## Rezultati merenja struje i napona nelinearnih prijemnika

|                          | Talasnici napona i struje  | Karakteristične veličine   | Harmonici struje  |
|--------------------------|--|--|---|
| Računar                  | <p>50.00Hz 16/06/04 12:10 100%</p> <p>V 221.5 v A 3.7 A</p> <p>340V 10A</p> <p>0</p> <p>-10 -340</p> <p>&lt;t= 5.0ms V1= +303 II= +4</p> <p>RMS THD CF max min</p> | <p>50.05Hz 16/06/04 12:34 100%</p> <p>V A</p> <p>RMS 221.8 v= 36.3 A~</p> <p>DC -0.2 v=</p> <p>THD 2.4 % 96.5 %</p> <p>CF 1.37 2.44</p> <p>PST 0.32 KF 9.96</p> <p>DF 2.4 % 69.3 %</p> <p>RMS THD CF max min</p> | <p>50.03Hz 16/06/04 12:36 100%</p> <p>Ah01 100.0% 26.2 A +000°</p> <p>max 100.0 % min 100.0 %</p> <p>THD 96.5 %</p> <p>%</p> <p>100</p> <p>50</p> <p>0</p> <p>1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25</p> <p>V A</p>  |
| Televizor                | <p>50.04Hz 30/09/04 10:58 90%</p> <p>V 234.3 v A 0.4 A</p> <p>360V 2A</p> <p>0</p> <p>-2 -360</p> <p>&lt;t= 5.1ms V1= +323 II= +1</p> <p>RMS THD CF max min</p>    | <p>50.05Hz 30/09/04 10:50 90%</p> <p>V A</p> <p>RMS 234.3 v= 0.4 A~</p> <p>DC -0.2 v=</p> <p>THD 1.8 % 126.6 %</p> <p>CF 1.38 3.01</p> <p>PST 0.00 KF 20.96</p> <p>DF 1.7 % 94.9 %</p> <p>RMS THD CF max min</p> | <p>50.04Hz 30/09/04 10:50 90%</p> <p>Ah01 100.0% 0.3 A +000°</p> <p>max 100.0 % min 100.0 %</p> <p>THD 126.4 %</p> <p>%</p> <p>100</p> <p>50</p> <p>0</p> <p>1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25</p> <p>V A U</p> |
| Fluorescentna svjetiljka | <p>49.98Hz 16/06/04 15:04 80%</p> <p>V 224.8 v A 2.6 A</p> <p>350V 5A</p> <p>0</p> <p>-5 -350</p> <p>&lt;t= 5.0ms V1= +308 II= +3</p> <p>RMS THD CF max min</p>    | <p>49.98Hz 16/06/04 15:04 80%</p> <p>V A</p> <p>RMS 225.1 v= 2.5 A~</p> <p>DC -0.2 v=</p> <p>THD 2.5 % 23.3 %</p> <p>CF 1.37 1.45</p> <p>PST 0.26 KF 1.42</p> <p>DF 2.5 % 23.3 %</p> <p>RMS THD CF max min</p>   | <p>49.92Hz 16/06/04 15:07 80%</p> <p>Ah03 22.9% 0.5 A -040°</p> <p>max 22.9 % min 22.7 %</p> <p>THD 22.9 %</p> <p>%</p> <p>100</p> <p>50</p> <p>0</p> <p>1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25</p> <p>V A</p>       |
| Živina svjetiljka        | <p>50.00Hz 16/06/04 16:12 70%</p> <p>V 226.0 v A 1.3 A</p> <p>350V 3A</p> <p>0</p> <p>-3 -350</p> <p>&lt;t= 5.0ms V1= +310 II= +1</p> <p>RMS THD CF max min</p>    | <p>50.00Hz 16/06/04 16:12 70%</p> <p>V A</p> <p>RMS 226.2 v= 1.3 A~</p> <p>DC -0.2 v=</p> <p>THD 2.5 % 11.2 %</p> <p>CF 1.37 1.54</p> <p>PST 0.22 KF 1.11</p> <p>DF 2.5 % 11.2 %</p> <p>RMS THD CF max min</p>   | <p>50.02Hz 16/06/04 15:44 80%</p> <p>Ah03 17.1% 0.9 A -009°</p> <p>max 17.4 % min 16.9 %</p> <p>THD 18.2 %</p> <p>%</p> <p>100</p> <p>50</p> <p>0</p> <p>1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25</p> <p>V A</p>       |
| Regulisani pogon         | <p>50.07Hz 16/06/04 14:27 90%</p> <p>V 225.0 v A 3.0 A</p> <p>350V 8A</p> <p>0</p> <p>-8 -350</p> <p>&lt;t= 5.0ms V1= +311 II= +0</p> <p>RMS THD CF max min</p>    | <p>50.05Hz 16/06/04 14:28 90%</p> <p>V A</p> <p>RMS 224.8 v= 2.9 A~</p> <p>DC -0.2 v=</p> <p>THD 1.8 % 108.9 %</p> <p>CF 1.38 2.67</p> <p>PST 0.41 KF 25.18</p> <p>DF 1.8 % 71.3 %</p> <p>RMS THD CF max min</p> | <p>50.05Hz 16/06/04 14:29 90%</p> <p>Ah01 100.0% 1.9 A +000°</p> <p>max 100.0 % min 100.0 %</p> <p>THD 109.8 %</p> <p>%</p> <p>100</p> <p>50</p> <p>0</p> <p>1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25</p> <p>V A</p>   |

ličenje ovih struja je tada veliko, kao i prisustvo viših harmonika (slika 2).

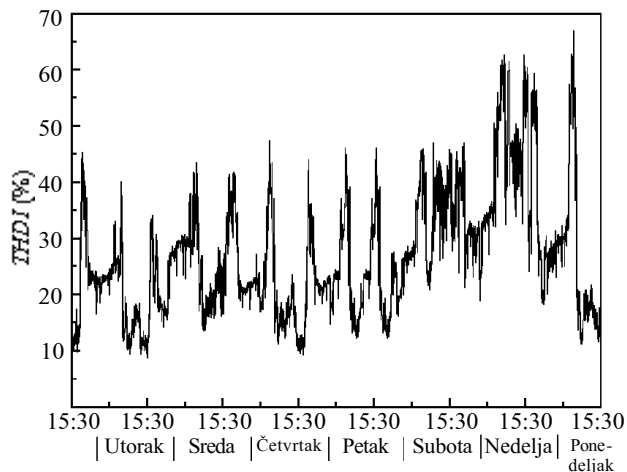
Izrazita nesimetrija po fazama se uočava kako na slici 1, tako i na slici 3, gde su prikazane efektivne vrednosti struja u toku nedelju dana. Pored velike nesimetrije struja (maksimalna vrednost  $I_{unb}$  je bila 28,6 %), sa slike 3 se uočava da je leti transformatorska stanica ( $S_n = 630$  kVA) opterećena znatno ispod svoje naznačene snage i da je odnos maksimalne i minimalne struje u posmatranom periodu veoma velik, čak 12,1.

Slika 4 pokazuje da se u toku nedelju dana  $THDI$  struje faze sa najvećim sadržajem harmonika kretao od 8,8 % do 67 %. Naredna, slika 5, prikazuje za istu fazu, individualnu harmonijsku distorziju trećeg harmonika ( $HDI_3$ ) koja je dostigla vrednost od čak 53,1 %. Struja petog harmonika doseže vrednost 32,5 % struje osnovnog harmonika, sedmog 18,5 %, devetog 16,6 %, itd.

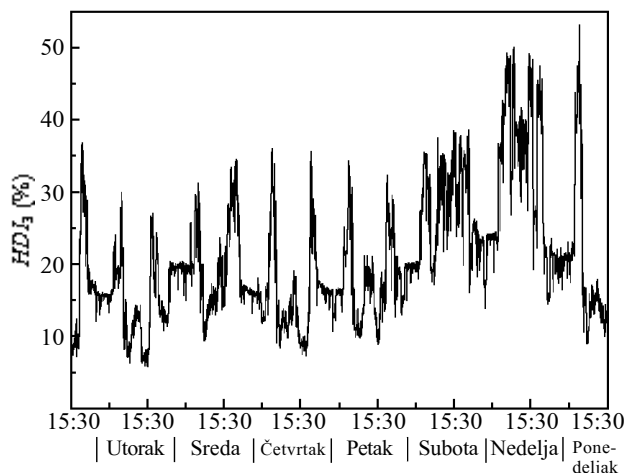
Standard IEEE 519 limitira nivo harmonika s obzirom na lokaciju zajedničke spojne tačke i iznos maksimalne struje opterećenja u toj tački ( $I_L$ ) za koju se preporučuje da se dobije kao srednja vrednost maksimalnih struja u prethodnih dvanaest meseci. Razmatrana TS 10/0,4 kV/kV se napaja preko relativno dugih deonica 10 kV vodova iz TS 35/10 kV/kV, a ona pomoću 35 kV kablovskog voda preseka  $95 \text{ mm}^2$  i dužine 3,52 km iz TS 110/35 kV/kV „Niš 3”. Velika impedansa napajanja transformatorske stanice s jedne strane, ali i prilično mala maksimalna struja opterećenja s druge, dovodi do toga da se odnos struje trolnog kratkog spoja ( $I_{sc}$ ) i  $I_L$  u zajedničkoj spojnoj tački nalazi unutar intervala od 50 do 100.

Na slici 6 su prikazani  $THDI$ , spektar harmonika struje faze sa najvećim sadržajem harmonika i odgovarajući IEEE limiti (granične vrednosti). Vrednosti  $THDI$  i harmonici do devetog, koji se pojavljuju sa 95 % verovatnoćom u toku nedelju dana, prevazilaze limite iz standarda IEEE 519. Ovo se može objasniti pre svega velikim brojem računara koji su najznačajniji izvori harmonika na fakultetu, kao i isključivom upotrebom fluorescentnih svetiljki za unutrašnje osvetljenje. Kako je nivo harmonika struje na fakultetu višestruko veći od onog što IEEE standard specificira, to bi uvođenje sličnog dokumenta za naše mreže značilo potrebu ugradnje harmonijskih filtera. Ugradnja harmonijskih filtera kod ovog i svakog drugog potrošača sa sličnim sastavom prijemnika zahteva prethodnu tehničko-ekonomsku analizu opravdanosti.

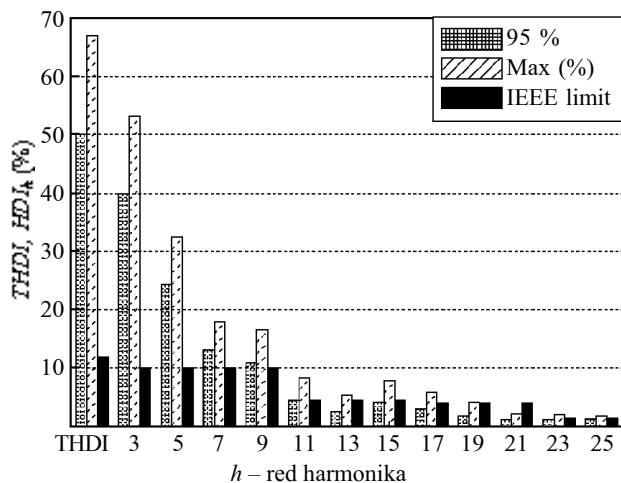
Sa druge strane, kada su u pitanju poremećaji vezani za napon u posmatranom periodu, po standardu IEC 61000-2-4 i klasu 2 (koja predstavlja sabirnice prema javnoj mreži), svi su bili unutar gra-



Slika 4. Vremenska promena  $THDI$  ukupne struje fakulteta



Slika 5. Vremenska promena nivoa trećeg harmonika ukupne struje fakulteta



Slika 6.  $THDI$  i spektar ukupne struje fakulteta

ničnih vrednosti. Frekvencija se menjala od 49,87 do 50,12 Hz, to jest odstupanja od nominalne vrednosti su bila manja od  $\pm 0,26$  %. To je znatno ispod graničnih vrednosti od  $\pm 1$  % koje daje ovaj standard.

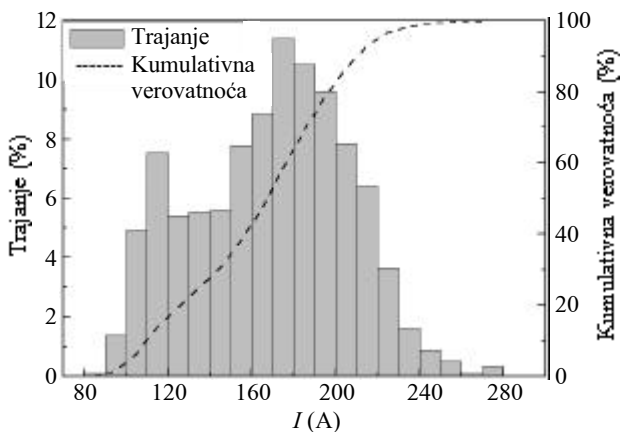
Uprkos velikim varijacijama struje tokom nedelju dana, čije trajanje i kumulativna verovatnoća za najopterećeniju fazu su prikazani na slici 7, nivo napona u istom periodu se kretao u granicama od 378,8 V (petak 21:18 i ponedeljak 12:34) do 414,4 V (nedelja 6:16). To znači da su varijacije napona bile između  $-5,3 \%U_n$  i  $+3,6 \%U_n$ . Po gore navedenom standardu granična vrednost varijacije napona za klasu 2 iznosi  $\pm 10 \%$ . Trajanje i kumulativna verovatnoća jednog od međufaznih napona su prikazani na slici 8.

Nesimetrija faznih napona je iznosila najviše 0,3 % uprkos velikoj nesimetriji struja i nalazila se u okviru graničnih vrednosti od 2 % po istom standardu.

Fazni naponi su bili izobličeni, ali je maksimalna vrednost  $THDU$  bila svega 3 % (sreda 21:56), što je ispod 5 %, koliko propisuje IEEE 519, kao i većina nacionalnih standarda za niskonaponske distributivne mreže. Ovaj standard je nešto stroži od IEC standarda koji  $THDU$  limitira na 8 %. Na slici 9 su prikazani  $THDU$ , harmonijski spektar napona, kao i IEEE, IEC i CIGRE donji limit. Sa ove slike se vidi da su sve 95 % vrednosti harmonika napona, kao i  $THDU$ , bili ispod limita navedenih standarda.

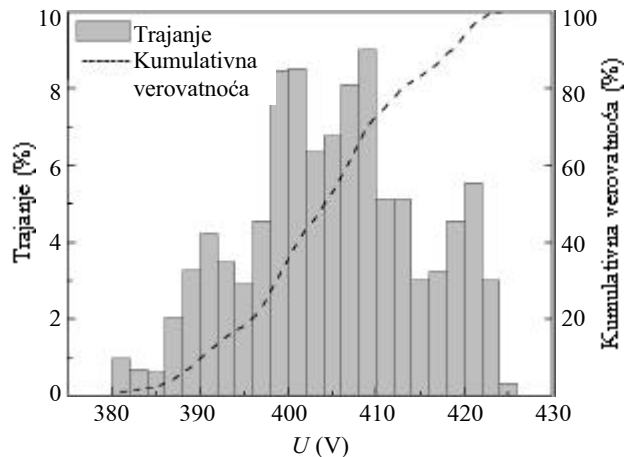
$CFU$  faznog napona se u toku merenja kretao od 1,36 do 1,39.

Kratkotrajni fliker faktor ( $P_{st}$ ) je bio u proseku 0,232, ali je nekoliko puta u toku radnih dana prevazišao jedinicu koja se smatra podnošljivom vrednošću. Međutim, 99 % verovatnoća  $P_{st}$  u toku nedelju dana je bila ispod jedinice što je granična vrednost koju propisuje IEEE 61000-2-12 standard.

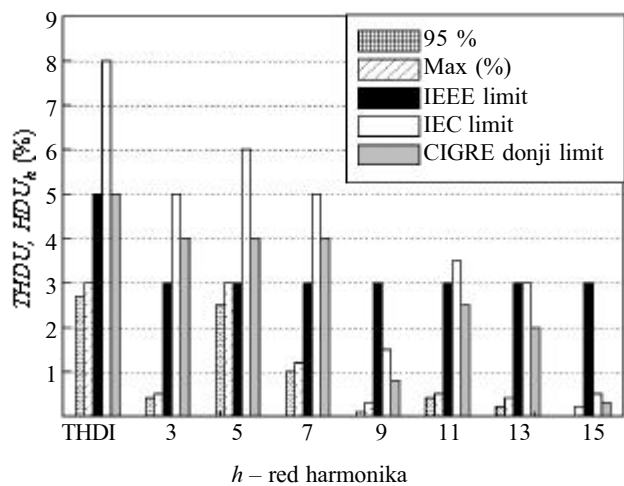


Slika 7. Trajanje i kumulativna verovatnoća ukupne struje fakulteta

Svi ovi podaci govore da je napojna mreža dovoljno jaka, da zadrži osnovne parametre napona u okviru graničnih vrednosti uprkos velikom izobličenju i nesimetriji struja ukupne potrošnje. Navede-



Slika 8. Trajanje i kumulativna verovatnoća napojnog napona fakulteta



Slika 9.  $THDU$  i spektar napojnog napona fakulteta

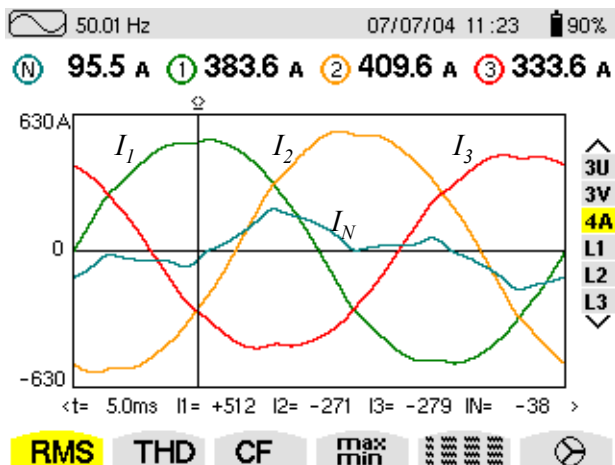
ni podaci o vrednostima indikatora kvaliteta napona u posmatranoj transformatorskoj stanici mogu se iskoristiti za potrebe proširenja mreže.

## 4. 2. Tržni centar

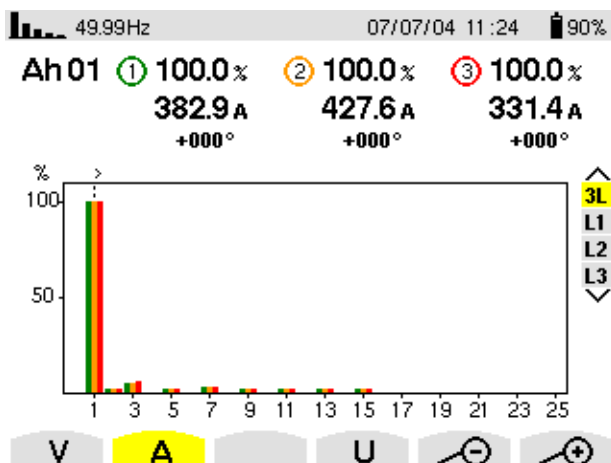
Merenja struje i napona su vršena u tržnom centru „Kalča” u letnjem periodu i to na 0,4 kV nivou dva transformatora – jednog koji napaja lokale i drugog koji napaja centralnu klimatizaciju. Transformatorska stanica u ovom tržnom centru nalazi se u neposrednoj blizini TS 35/10 kV/kV koja se napaja preko dva paralelna kablovska voda preseka  $95 \text{ mm}^2$  i dužine 2,8 km iz TS 110/35 kV/kV „Niš 3”. Zbog ovakve lokacije transformatorske stanice, odnos struje kratkog spoja i maksimalne struje opterećenja u zajedničkoj spojnoj tački se nalazi između dvadeset i pedeset.

Za lokale tržnog centra je karakteristična upotreba fluorescentnih svetiljki, ali i sobnih klima uređaja koje ima u proseku svaki treći lokal. Tako je ta-

lasni oblik ukupnih struja lokala manje izobličen nego onaj na fakultetu, slika 10. Nesimetrija struja je takođe manja. Nivo harmonika struje je manji nego u slučaju visokoškolske ustanove, što se vidi sa slike 11 na kojoj je prikazan harmonijski spektar struje sve tri faze.



Slika 10. Talasni oblici struja ukupne potrošnje lokala tržnog centra



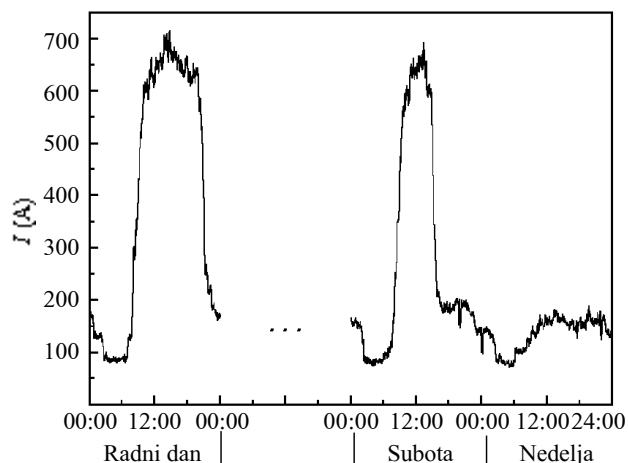
Slika 11. Harmonijski spektar struja ukupne potrošnje lokala tržnog centra

Na slici 12 je prikazana promena efektivne vrednosti struje sa najvećim sadržajem harmonika jednog radnog dana, subote i nedelje, a na slici 13 *THDI* ove struje, čija je najveća vrednost dosegla 11,3 % u noćnom periodu kada je dominantna upotreba fluorescentnih svetiljki. Maksimalni iznos trećeg harmonika tokom ovog perioda je bio 9,8 %, petog 7 %, sedmog 3,4 %, devetog 2,6 %, jedanaestog 1,7 % itd. Na slici 14 su prikazane maksimalne vrednosti, 95 % verovatnoća i IEEE granične vrednosti harmonika struje. Vrednosti *THDI* i trećeg harmonika koje se imaju sa 95 % verovatnoćom prevazilaze granične vrednosti standarda IEEE 519.

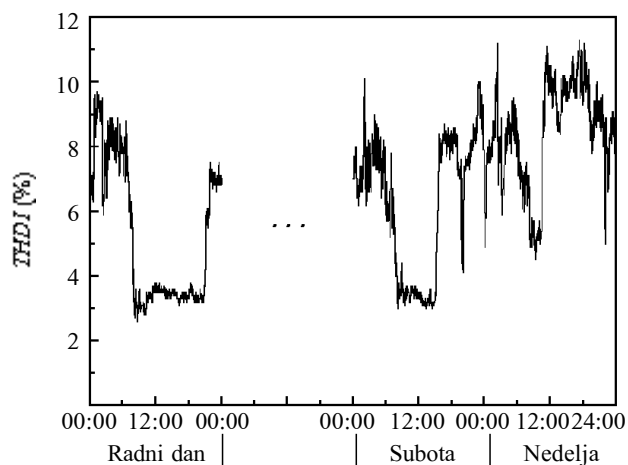
U posmatranom periodu varijacije frekvencije su bile male, do  $\pm 0,28\%$ , slično kao i za vreme merenja na fakultetu. Nivo napona se kretao u granicama od 392,7 u sredu u 9:39, do 425,2 V u ponedjeljak u 4:44, što znači da su varijacije napona bile između  $-1,86\% U_n$  i  $+6,3\% U_n$ . Na slici 15 prikazani su trajanje i kumulativna verovatnoća struje u toku nedelju dana. Sa ove slike se uočava da je struja u najvećem periodu vremena imala dva nivoa, niži i viši, koja su u približnom odnosu 1:6. Istovremeno, napon se kretao u relativno uskim granicama (slika 16) zbog lokacije ove transformatorske stanice blizu napojne TS 35/10 kV/kV.

Nesimetrija napona je iznosila 0,6 %, što je znatno ispod granične vrednosti faktora nesimetrije napona od 2 % po IEC 61000-2-4.

Maksimalna vrednost *THDU* bila je 2,7 %, a *CFU* faznog napona se kretao između 1,36 i 1,38. Na slici 17 su prikazane maksimalne, 95 % vrednosti i limiti standarda IEEE, IEC i CIGRE za *THDU* i nivo harmonika napona. Sa ove slike se vidi da su

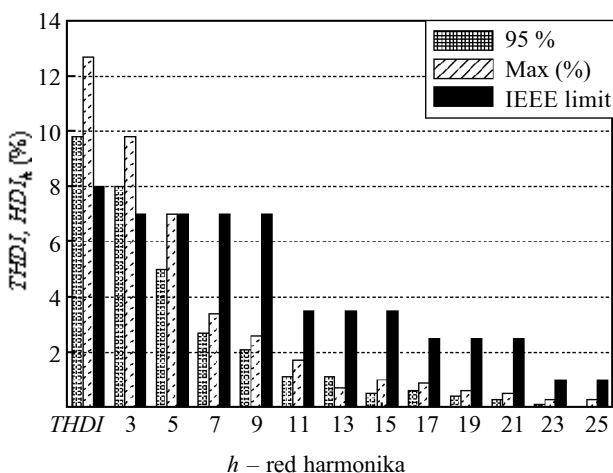


Slika 12. Ukupna struja lokala tržnog centra tokom radnog dana i vikenda

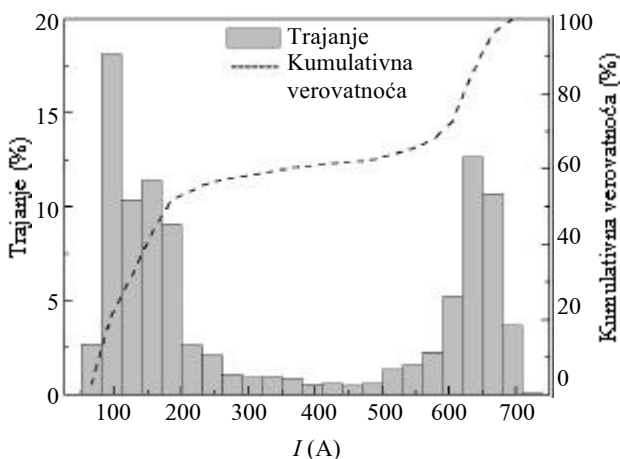


Slika 13. *THDI* ukupne struje lokala tržnog centra tokom radnog dana i vikenda

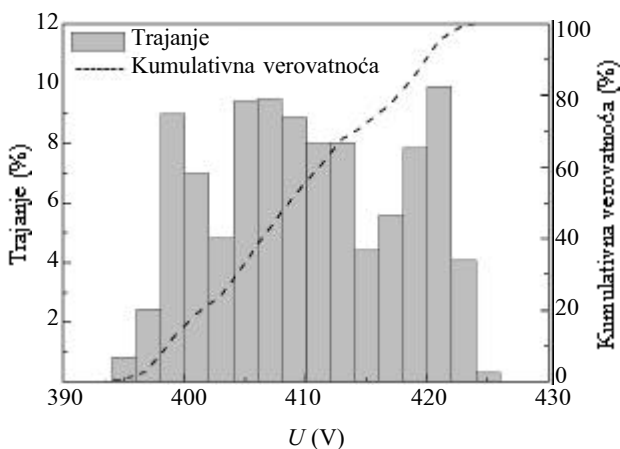
sve razmatrane veličine ispod navedenih limita uprkos prisustvu trećeg harmonika struje koji prevazilazi graničnu vrednost po IEEE standardu.



Slika 14. THDI i spektar ukupne struje lokala tržnog centra

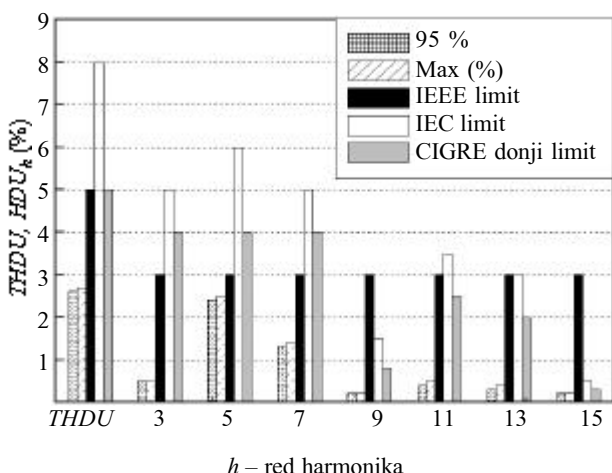


Slika 15. Trajanje i kumulativna verovatnoća ukupne struje lokala tržnog centra



Slika 16. Trajanje i kumulativna verovatnoća napojnog napona lokala tržnog centra

Srednja vrednost  $P_{st}$  za sve tri faze tokom merenja je bila manja od 0,2, a 99 % verovatnoća  $P_{st}$  manja od jedan.



Slika 17. THDU i spektar napojnog napona lokala tržnog centra

Merenja na niskonaponskom nivou transformatora koji napaja centralnu klimatizaciju su pokazala da su, usled simetrične potrošnje, ukupne struje takođe simetrične. One su skoro bez izobličenja, THDI iznosi 3,7 %.

Vrednost napojnog napona je varirala u granicama od 373,1 do 402,6 V, to jest od -6,72 %  $U_n$  do +0,65 %  $U_n$ . Iznos THDU je bio najviše 1,7 %, dok je nesimetrija napona bila svega 0,3 %.

#### 4. 3. Stambena potrošnja

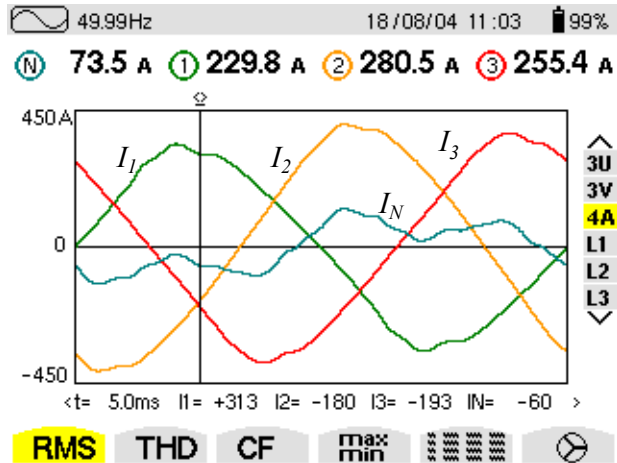
Merenja su izvršena i u transformatorskoj stanici „Medijana 2” koja napaja isključivo stambenu potrošnju i prva je u nizu od pet transformatorskih stanica koje napajaju potrošnju istog tipa.

Ova transformatorska stanica je u blizini TS 35/10 kV/kV, koja se preko pretežno kablovskih vodova ukupne dužine 3 km napaja iz TS 110/35/10 kV/kV/kV „Niš 13”. Uzimajući u obzir sve impedanse elemenata preko kojih se TS „Medijana 2” napaja, dobija se da je odnos struje kratkog spoja i maksimalne struje opterećenja u zajedničkoj spojnoj tački, kao i kod tržnog centra, između dvadeset i pedeset.

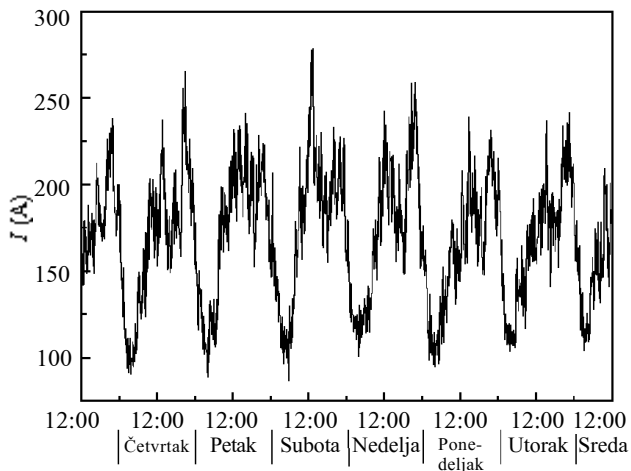
Za stambenu potrošnju je, pored rezistivne potrošnje koja je linearna, karakteristična i upotreba nelinearnih prijemnika kao što su televizori, video rekorderi, frižideri, usisivači i u mnogo manjoj meri računari. Pored toga, iz razmatrane transformatorske stanice se napaja i ulična rasveta sa živinim svetiljkama.

Na slici 18 je prikazan talasni oblik struja opterećenja ove transformatorske stanice sa koje se uo-

čava značajna nesimetrija. Efektivna vrednost jedne od faznih struja tokom nedelju dana je prikazana na slici 19. Sa ove slike se vidi da je transformator nedovoljno opterećen tokom leta i da odnos maksimalna/minimalna struja za ovih nedelju dana iznosi 3,39. Maksimalno opterećenje nastaje u subotu u 13:10, a minimalno u ponedeljak u 4:30.



Slika 18. Talasni oblici struja stambene potrošnje



Slika 19. Vremenska promena struje stambene potrošnje

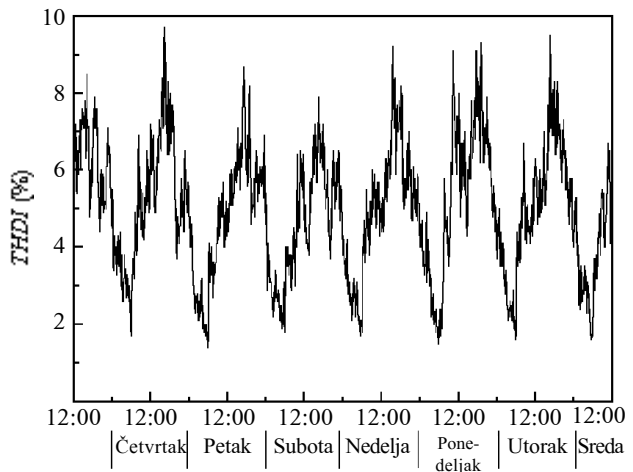
U toku ovog perioda, *THDI* varira kao na slici 20 i u ponedeljak u 17:05 doseže vrednost od 10,2 %, što se može objasniti velikom upotrebom televizora u poslepodnevnom periodu. Maksimalan iznos trećeg, petog i sedmog harmonika struje je 9,4 %, 3,7 % i 2,4 %, respektivno.

Na slici 21 su prikazane maksimalne i 95 % vrednosti *THDI* i harmonika struje, kao i odgovarajući IEEE limiti. Nijedna od prikazanih 95 % vrednosti nije prevazišla limit, a individualna harmonijska distorzija trećeg harmonika struje je dosegla graničnu vrednost.

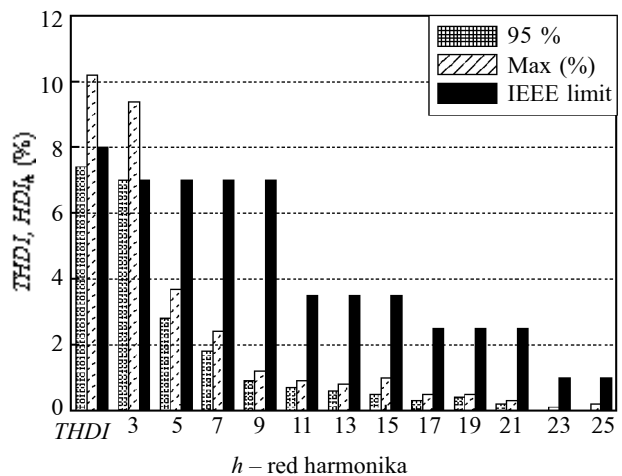
Sa druge strane, *THDU* faznog napona nije prevazišao 3,7 %, tokom nedelju dana merenja, ali je pri-

ustvo petog harmonika imalo vrednost veću od 3 % što je limit po standardu IEEE 519. On se kretao od 3 do 3,5 % u periodu od 16 do 23:30, svakoga dana osim subote. To je, međutim, ispod CIGRE donjeg limita ovog harmonika napona, koji je nešto blaži i iznosi 4 %, i ispod IEC limita koji iznosi 6 %. Maksimalne i 95 % vrednosti *THDU* i individualne harmonijske distorzije su prikazane na slici 22. Na istoj slici su i limiti po IEEE, IEC standardu i donji CIGRE limit. Jedino 95 % verovatnoća petog harmonika prevazilazi IEEE graničnu vrednost. *CFU* faznog napona se kretao između 1,35 i 1,37.

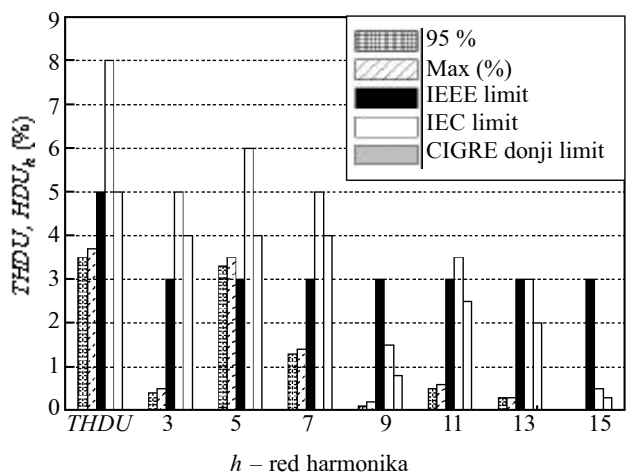
Na slici 23 su prikazani trajanje i kumulativna verovatnoća struje najopterećenije faze. Dok je struja varirala u širokom opsegu, napon je bio u okviru limita IEC standarda. Varijacija napona u posmatranom periodu je bila u opsegu od -4,125 %  $U_n$  do +7,25 %  $U_n$ . Na slici 24 su prikazani trajanje i kumulativna verovatnoća napona u razmatranom periodu. Više vrednosti napona na histogramu sa slike 24 odgovaraju noćnom periodu od 22 h do 7 h ujutro kada je potrošnja mala, a niže vrednosti preostalim delovima dana.



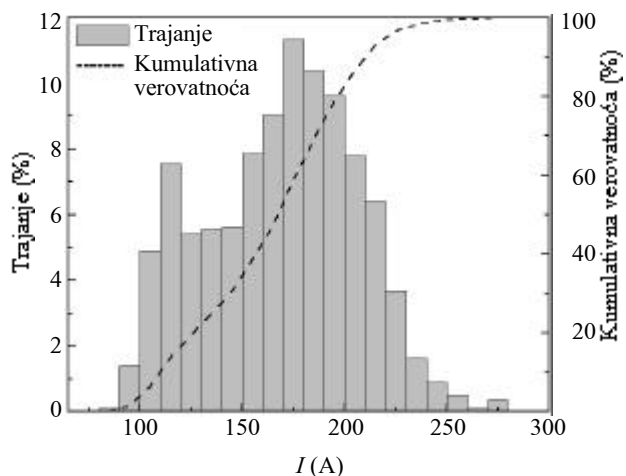
Slika 20. Vremenska promena THDI stambene potrošnje



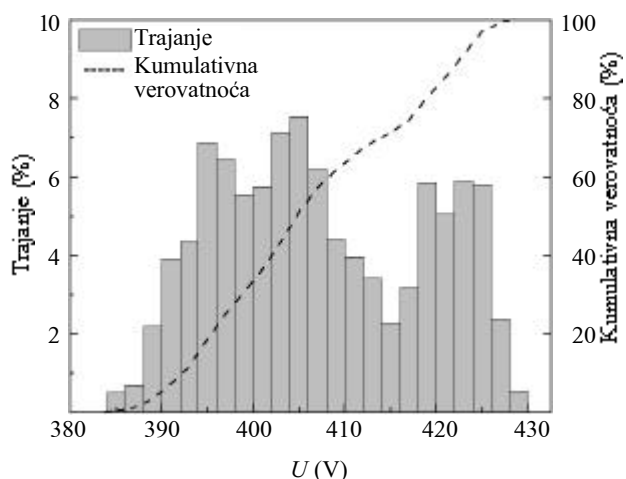
Slika 21. THDI i spektar struje stambene potrošnje



Slika 22. THDU i spektar napojnog napona stambene potrošnje



Slika 23. Trajanje i kumulativna verovatnoća struje stambene potrošnje



Slika 24. Trajanje i kumulativna verovatnoća napojnog napona stambene potrošnje

Varijacija frekvencije je bila kao i u prethodnim slučajevima, nesimetrija napona 0,5 %, a maksimal-

na vrednost  $P_{st}$  je iznosila 0,62. Sve ove vrednosti su u okviru vrednosti limita postojećih standarda.

Na osnovu navedenih rezultata merenja, može se zaključiti da su posmatrani indikatori kvaliteta napona u ispitivanim transformatorskim stanicama JP „Elektrodistribucija” Niš unutar limita postojećih standarda. Nivo harmonika napona u mreži je uglavnom znatno ispod graničnih vrednosti i mreža je dovoljno jaka za postojeći stepen harmonijskog zagađenja. Sličan zaključak je izveden u [1] za JP „Elektrovovodina”. Nešto veći nivo petog harmonika napona je izmeren u TS u Nišu koja napaja stambenu potrošnju, što je verovatno usled istovremenog rada velikog broja televizora. Međutim, on je ispod limita IEC standarda i ispod CIGRE donjeg limita.

## 5. ZAKLJUČAK

Talasnici i karakteristične vrednosti struja pojedinih nelinearnih prijemnika koji su dati u ovom radu potvrđuju da su ovi značajan izvor harmonika. Terenskim merenjima u letnjem periodu je potvrđeno da je njihov uticaj na harmonijski spektar struje izraženiji u onim transformatorskim stanicama i onim delovima dana u kojima im je učešće u ukupnoj potrošnji veće. Rezultati pokazuju da će sa uvođenjem normativnih akata kod nas vezanih za prisustvo harmonika struje, koji su slični postojećem međunarodnom IEEE standardu, biti neophodno da se preispitaju uslovi za priključenje pojedinih uređaja ili da se razmotre mogućnosti ugrađivanja harmonijskih filtera u pojedinim transformatorskim stanicama.

Sa druge strane, pokazano je da je nivo harmonika napona u izabranim napojnim čvorovima niskonaponske mreže u JP „Elektrodistribucija” Niš u okviru graničnih vrednosti po IEC standardu i CIGRE donjih limita. Osnovni parametri napona u svim razmatranim čvorovima variraju u relativno uskim granicama uprkos velikim varijacijama struje u posmatranom periodu i ispod su limita koje propisuje IEC standard.

Slična merenja treba nastaviti u drugim godišnjim dobima i transformatorskim stanicama koje su locirane u krajnjim čvorovima sredjenaponske distributivne mreže i onima koje napajaju specifične nelinearne potrošače. Rezultati ovih merenja se mogu iskoristiti za potrebe planiranja i proširenja distributivne mreže.

## 6. LITERATURA

- [1] Katić V., KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE – VIŠI HARMONICI, monografija, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2002.
- [2] International Electrotechnical Commission, ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY – THE RO-



- LE AND CONTRIBUTION OF IEC STANDARDS, IEC, 2001.
- [3] Embriz-Santander E., Domijan A. and Williams C. W., A COMPREHENSIVE HARMONIC STUDY OF ELECTRONIC BALLAST AND THEIR EFFECT ON A UTILITY'S 12kV, 10MVA FEEDER, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995, pp. 1591-1599.
- [4] Tolbert L., Hollis H. and Hale P., SURVEY OF HARMONICS MEASUREMENTS IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS, IEEE IAS Annual Meeting, pp. 2333-2339, San Diego, CA, 1996.
- [5] Petronijević M., Jeftenić B., Mitrović N., ISTRAŽIVANJE UTICAJA FREKVENTNIH PRETVARAČA NA DISTRIBUTIVNU MREŽU, 26. Savetovanje JUKO CIGRE, Banja Vrućica, 25-30 maj, 2003, R14-08.
- [6] Katić V., Gerić Lj., Jevremović Lj., KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE U INDUSTRIJSKIM POGONIMA, Elektroprivreda, br. 2, 1997, str. 88-93.
- [7] Katić V., ISTRAŽIVANJE VIŠIH HARMONIKA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI – KRATAK PREGLED I ISKUSTVA, Elektroprivreda, br. 3, str. 72-79, 2001.
- [8] Stojanović D., Korunović L., Dočić M., Kostić V., ANALYSIS OF HARMONICS IN LOW-VOLTAGE DEVICE CURRENTS, ICEST 2002, Niš, 1-4 October 2002, pp. 539-542.
- [9] Predenzi A., A NOVEL PROCEDURE BASED ON LAB TESTS FOR PREDICTING SINGLE-PHASE POWER ELECTRONICS-BASED LOADS HARMONIC IMPACT ON DISTRIBUTION NETWORKS, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 2, April 2004, pp. 702-707.
- [10] Li C., Xu W. and Tayjasanant T., A „CRITICAL IMPEDANCE”-BASED METHOD FOR IDENTIFYING HARMONIC SOURCES, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 2, April 2004, pp. 671-678.
- [11] Chang G. W., Wang H.-L. and Chu S.-Y., STRATEGIC PLACEMENT AND SIZING OF PASSIVE FILTERS IN A POWER SYSTEM FOR CONTROLLING VOLTAGE DISTORTION, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 3, July 2004, pp. 1204-1211.
- [12] Dell'Aquila A., Marinelli M., Monopoli V. G. and Zanchetta P., NEW POWER-QUALITY ASSESSMENT CRITERIA FOR SUPPLY SYSTEMS UNDER UNBALANCED AND NONSINUSOIDAL CONDITIONS, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 2, July 2004, pp. 1284-1290.
- [13] IEEE P1433/D5A, DRAFT STANDARD GLOSSARY OF POWER QUALITY TERMINOLOGY, July 1999.
- [14] IEEE Standard 519, IEEE RECOMMENDED PRACTICES AND REQUIREMENTS FOR HARMONIC CONTROL IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, USA, 1993.
- [15] IEC Standard 61000-2-4, ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC), PART 2 ENVIRONMENT, SECTION 4: COMPATIBILITY LEVELS IN INDUSTRIAL PLANTS FOR LOW FREQUENCY CONDUCTED DISTURBANCES, IEC, Geneva, 1994.
- [16] Joint Working Group Cigre C4.07 / Cired, POWER QUALITY INDICES AND OBJECTIVES, Final WG Report, January 2004.

## 7. ZAHVALNOST

Autori zahvaljuju rukovodstvu JP „Elektrodistribucija” Niš i zaposlenima u Službi energetike koji su dozvolili i pomogli merenja u objektima ovog preduzeća.

Rad je primljen u uredništvo 08. 11. 2004. godine



**Lidija Korunović** je rođena 1971. godine u Pirotu. Diplomirala je 1996. godine na Elektromotorskom fakultetu u Nišu na smeru za Industrijsku energetiku. Magistrirala je 2002. godine na istom fakultetu, gde radi kao asistent iz predmeta Prenos i distribucija električne energije i Eksploatacija elektroenergetskih mreža. Do sada je bila angažovana na nekoliko naučnih projekata. Autor je 36 naučnih i stručnih radova i jedne zbirke zadataka. Oblasti interesovanja su joj analiza i eksploatacija distributivnih mreža.



**Dobrovoje Stojanović** (1946) je diplomirao 1971. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini, magistrirao 1978. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Skoplju i doktorirao 1985. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini. Zaposlen je na Elektromotorskom fakultetu u Nišu, gde predaje Prenos i distribuciju električne energije i Elektroenergetski postrojenja. Kao autor ili koautor, objavio je dve zbirke zadataka i 102 rada koji su prezentirani u časopisima i na domaćim i inostranim konferencijama. Učestvovao je u realizaciji 9 naučno-istraživačkih projekata. Realizovao je preko 50 stručnih radova u oblasti eksperimentalne i analitičke verifikacije uslova bezbednosti u elektroenergetskim postrojenjima. Oblast interesovanja je analiza prenosnih i distributivnih mreža.

# Uticaj distribuirane proizvodnje na padove napona, tokove snaga i gubitke snage u radijalnoj distributivnoj mreži

Stručni rad  
UDK: 621.31

---

## Rezime:

U radu je analiziran uticaj distribuiranih generatora na naponske prilike, tokove snaga i gubitke u radijalnoj distributivnoj mreži srednjeg napona. Proračun je vršen za slučajeve primene asinhronog i sinhronog generatora. Razmatrana je mogućnost nalaženja optimalnog angažovanja distribuiranih generatora u cilju minimizacije gubitaka u sistemu uvažavajući propisana naponska ograničenja. Predstavljene su rezultati proračuna na konkretnoj mreži Elektrodistribucije Zaječar, reon Zvezdan-Gamzigrad, sa dve mini hidroelektrane.

**Ključne reči:** distribuirana proizvodnja, mini hidroelektrane, distributivna mreža, napon, snaga, gubici snage

---

## Abstract:

*THE EFFECT OF DISTRIBUTED GENERATION ON THE VOLTAGE DROP, POWER FLOW AND POWER LOSSES IN A DISTRIBUTION NETWORK*

The effect of distributed generation on the voltage regime, power flow and power losses in a radial medium voltage distribution network is given in the paper. The calculation is done in the cases of induction and synchronous generator use. The possibility of optimal generated power for minimal power losses in distribution system was considered. The results of calculation were presented for existing distribution network – Elektrodistribucija (Power Distribution) Zajecar, region Zvezdan-Zajecar, which includes two mini hydro power stations.

**Key words:** distributed generation, mini-hydro, distribution network, voltage, power, power losses

---

## 1. UVOD

Poslednjih nekoliko godina u svetu vlada veliko interesovanje za mogućnost direktnog priključivanja generatora na distributivnu mrežu. Radi se o malim elektranama baziranim na korišćenju obnovljivih izvora energije, kao što su energija vetra, sunca, vode, biomase, efikasnom korišćenju tzv. izgubljene toplote u termoelektranama (CHP program) [1].

U našoj zemlji se distribuiranom proizvodnjom mogu nazvati mikro, mini i male hidroelektrane, snaga od 25 kVA do 16 MVA, koje su direktno priključene na distributivnu mrežu srednjeg ili niskog napona [2]. Distribuirana proizvodnja se može proširiti i povećati eventualnom izgradnjom novih mini hidroelektrana tamo gde je to moguće, kao i razvojem programa za korišćenje izgubljene toplote u termoelektranama za pokretanje malih generatorskih

---

Mr Jordan Radosavljević, prof. dr Miroljub Jevtić -  
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, 38 220 Kosovska Mitrovica, Kneza Miloša 7

jedinica, koje bi se povezivale direktno na lokalnu distributivnu mrežu ili napajale sopstvenu potrošnju termoelektrane (tzv. kogeneracija).

Kao generatorske jedinice u mini i mikro hidroelektranama (MHE) koriste se, pored sinhronih generatora (SG), i asinhrona mašine, tj. asinhroni generatori (AG). Njihove prednosti su jednostavnost, čvrstina konstrukcije, manja cena, lakše održavanje. Glavni nedostatak je povezanost aktivne i reaktivne snage, tj. nemogućnost direktne regulacije reaktivne snage, kao kod sinhronih generatora.

Mogućnost direktnog priključenja generatora na distributivnu mrežu niskog ili srednjeg napona, nameće pitanje njegovog uticaja na napone i tokove snaga u toj mreži. Poznato je da su distributivne mreže 10 kV, 20 kV i 35 kV radijalno napajane. Protok aktivne energije je jednosmeran.

Međutim, postojanje distribuirane proizvodnje u distributivnoj mreži, omogućava da energija ide dvosmerno. Na naponske prilike u pojedinim tačkama mreže kao i na tokove snaga po vodovima i gubitke, pored nivoa i strukture potrošnje, utiče i režim rada i tip generatora. Distribuiranu proizvodnju u našoj zemlji uglavnom čine MHE sa AG. Stepent uticaja generatora na tokove snaga a time i gubitke, zavisi, pre svega, od konfiguracije distributivne mreže, lokacije generatora i snage koju predaje.

Pored najvažnije uloge izvora, distribuirani generatori su svojevrsni regulatori stanja u distributivnoj mreži i faktori povećanja pouzdanosti napajanja lokalnih potrošača.

Kao pokazatelj stanja u jednoj mreži, mogu se uzeti naponske prilike u pojedinim karakterističnim tačkama i veličina gubitaka na pojedinim elementima i u celoj distributivnoj mreži. S obzirom na strogo definisane okvire napona, kao i značajne gubitke električne energije u distributivnoj mreži, predloženi kriterijumi su relevantni za ocenu uticaja distribuirane proizvodnje.

## 2. PRORAČUN NAPONA, TOKOVA SNAGA I GUBITAKA U RADIJALNOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI SA DISTRIBUIRANIM GENERATORIMA

U radu je kao polazna osnova za proračun napona, struja, snaga i gubitaka, korišćen Shirmohammadjev metod [3]. Pri tome je pretpostavljeno da je distributivna mreža trofazna i uravnotežena. Uvedene su i sledeće pretpostavke i uprošćenja:

- vodovi su modelovani preko svojih rednih impedansi, dok su otočne admitanse zanemarene,
- transformatori su modelovani rednom impedansom sa nominalnim odnosom transformacije.

Najpre se formira graf mreže i numerišu čvorovi, po jednom od dva načina:

**Po nivoima:** izvrši se podela čitave distributivne mreže na nivoe, a zatim se vrši označavanje čvorova redom po nivoima.

**Po ograncima:** prvo se označe svi čvorovi najdužeg ogranka (sa najvećim brojem čvorova) a zatim po ostalim ograncima, počev od ogranka koji je najudaljeniji od izvornog čvora.

Zatim se može pristupiti proračunu, koji se odvija po sledećem algoritmu:

### 1. Zadavanje inicijalnih napona čvorova

Obično se u početnoj (0-toj) iteraciji pretpostave nazivne vrednosti faznih napona u svim čvorovima sa nultim faznim stavom.

### 2. Iterativni proračun zamenu unazad struja injektiranja u čvorovima u $k$ -toj iteraciji, koristeći vrednosti napona u čvorovima iz prethodne iteracije

Proces izračunavanja počinje od poslednjeg  $N$ -tog čvora (zamena unazad). Kompleksna struja koja ulazi u čvor  $i$  po grani  $l=i$  u iteraciji  $k$  je:

$$I_{ui}^{(k)} = I_{Pi}^{(k)} + I_{Gi}^{(k)} + I_{Ci}^{(k)} + \sum_{l=i}^{i_l} I_{ul}^{(k)}; \quad (1)$$

$$i=N, N-1, \dots, 0;$$

gde su:

$I_{Pi}^{(k)}$  – kompleksna struja potrošača priključenog u  $i$ -tom čvoru, u  $k$ -toj iteraciji;

$I_{Gi}^{(k)}$  – kompleksna struja distribuiranog generatora priključenog u  $i$ -tom čvoru, u  $k$ -toj iteraciji;

$I_{Ci}^{(k)}$  – kompleksna struja kondenzatora priključenog otočno u  $i$ -tom čvoru u  $k$ -toj iteraciji, (baterija za kompenzaciju reaktivne energije);

$I_{ul}^{(k)}$  – kompleksna struja na ulazu u  $l$ -tu granu koja je incidenta  $i$ -tom čvoru, u  $k$ -toj iteraciji;

$i_l$  – ukupan broj grana incidentnih čvoru  $i$ .

Kompleksne stuje potrošača  $I_{Pi}^{(k)}$  i kondenzatora  $I_{Ci}^{(k)}$  zavise od načina modelovanja potrošača i kondenzatora. U ovom radu su potrošači i kondenzatori modelovani preko modela konstantne snage, tako da izrazi za struje:

$$I_{Pi}^{(k)} = \frac{P_{Pi} + jQ_{Pi}}{\sqrt{3}U_i^{*(k-1)}}; \quad P_{Pi} = const.; \quad Q_{Pi} = const. \quad (2)$$

$$I_{Ci}^{(k)} = \frac{jQ_{Ci}}{\sqrt{3}U_i^{*(k-1)}}; \quad P_{Ci} = 0; \quad Q_{Ci} = const. \quad (3)$$

gde su:

$P_{Pi}, Q_{Pi}$  – aktivna i reaktivna snaga potrošača u čvoru  $i$ ;

$Q_{Ci}$  – reaktivna snaga kondenzatorske baterije u čvoru  $i$ ;

$U_i^{(k-1)}$  – kompleksni napon čvora  $i$  u prethodnoj ( $k-1$ ) iteraciji.

Distribuirani generatori su takođe modelovani preko modela konstante snage, tako da je kompleksna struja generatora:

$$I_{Gi}^{(k)} = \frac{P_{Gi} - jQ_{Gi}}{\sqrt{3}U_i^{*(k-1)}}; P_{Gi} = \text{const.}, Q_{Gi} = \text{const.} \quad (4)$$

gde su:

$P_{Gi}, Q_{Gi}$  – aktivna i reaktivna snaga distribuiranog generatora u čvoru  $i$ .

U suštini, distribuirani generatori su modelovani kao „negativna” potrošnja.

### 3. Iterativni proračun napona čvorova u $k$ -toj iteraciji zamenom unapred, koristeći struje injektiranja izračunate u koraku 2

Proračun se sprovodi počev od prvog čvora (zamenom unapred) i svodi se na određivanje pada napona u granama između susednih čvorova. Pri tome se mora voditi računa o prenosnim odnosima transformatora u granama u kojima postoje transformatori, kako bi se dobile stvarne vrednosti napona u tim čvorovima.

### 4. Provera kriterijuma konvergencije

Kao kriterijum konvergencije može da se koristi razlika modula napona čvorova u dve uzastopne iteracije:

$$\left| U_i^{(k)} - U_i^{(k-1)} \right| \leq \epsilon, i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots \quad (5)$$

Kada se na ovaj način dobiju naponi čvorova i struje po granama mreže, mogu se izračunati tokovi snaga i gubici po svim elementima (granama) distributivne mreže.

Kod ovakvih proračuna distributivnih mreža, glavni problem je određivanje vrednosti snaga potrošnje ( $P_{Pi}, Q_{Pi}$ ). Snage potrošača se neprestano menjaju i prostorno i vremenski. Prostorne promene se dešavaju zbog uključenja/isključenja pojedinih elemenata, popravki i rekonstrukcija u mreži. Za određivanje vremenskih fluktuacija snage potrošača, neophodno je vršiti veliki broj merenja na svim transformatorskim stanicama u realnom vremenu. Međutim, u praksi se detaljno merenje snage i energije vrši samo na kupoprodajnim mestima, dok se na ostalim mestima obavljaju samo neka najneophodnija merenja i to samo u nekim karakterističnim trafostanicama. Na osnovu ovih merenja u dužem vremenskom periodu, kao i tipa potrošača, moguće je za dati trenutak ili period proceniti snagu potrošača u svim čvorovima mreže [4]. Međutim, pošto ovaj rad ima za cilj da prikaže kvalitativan uticaj distribuirane proizvodnje na stanje u distributivnoj mreži, dovoljno je i približno poznavanje snaga potrošača. Za primer distributivne mreže koji je obrađen u test primeru, snage opterećenja po-

jedinih transformatora su uzete u elektrodistribuciji, na osnovu njihove procene za dati dan.

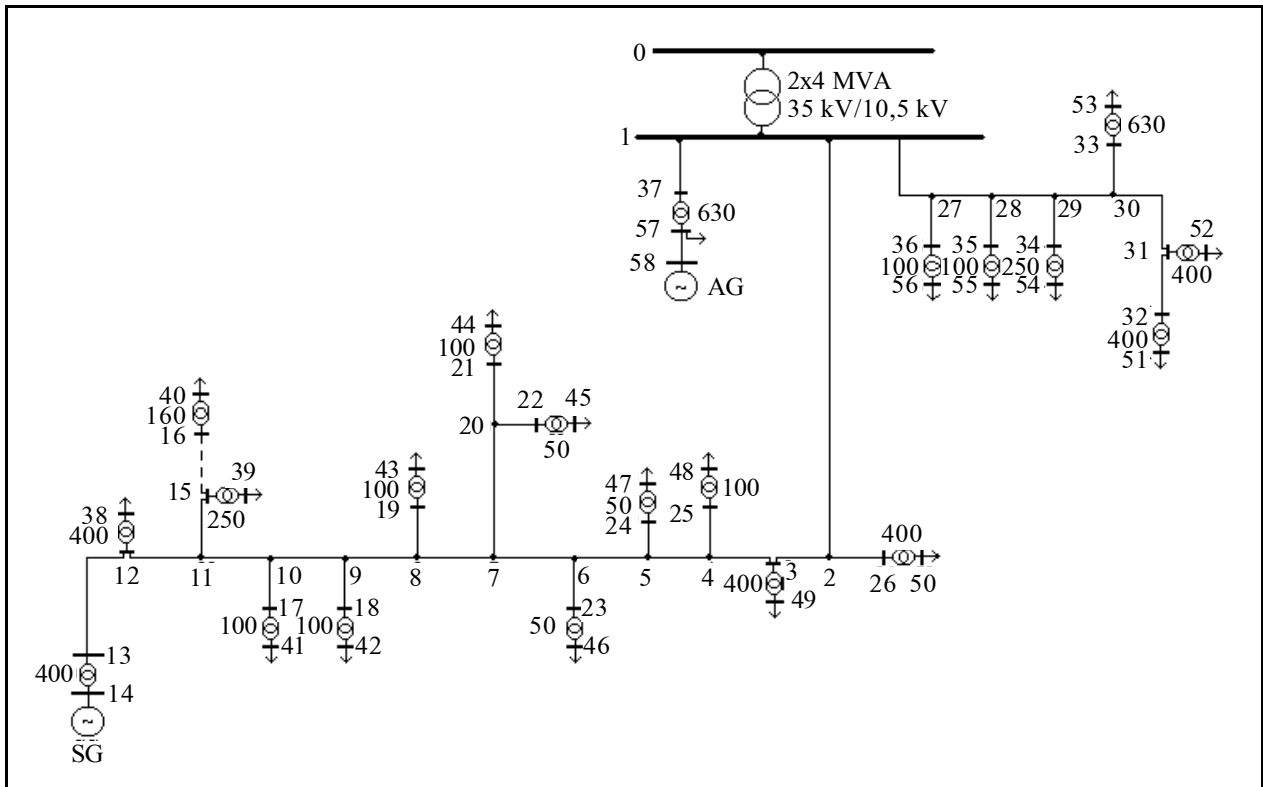
### 3. TEST PRIMER

U distributivnoj mreži Elektrodistribucije (ED) Zaječar, na području Zvezdan-Gamzigrad, priključena je jedna minihidroelektrana sa dva sinhrona generatora nominalnih snaga od po 160 kVA faktora snage 0,7. U fazi izgradnje je još jedna minihidroelektrana, u kojoj će se ugraditi dva asinhrona generatora od po 30 kW pri  $\cos\phi = 0,85$  i jedan od 40 kW pri  $\cos\phi = 0,87$ .

Tabela 1.

Parametri vodova distributivne mreže sa slike 1

| Vod   | Tip                     | Dužina (m) |
|-------|-------------------------|------------|
| 1-2   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 170        |
| 2-3   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 180        |
| 3-4   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 460        |
| 4-5   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 720        |
| 5-6   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 180        |
| 6-7   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 680        |
| 7-8   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 1 390      |
| 8-9   | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 490        |
| 9-10  | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 300        |
| 10-11 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 100        |
| 11-12 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 150        |
| 12-13 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 330        |
| 11-15 | AlFe-35 mm <sup>2</sup> | 230        |
| 15-16 | XHE49A3'50              | 253        |
| 10-17 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 60         |
| 9-18  | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 200        |
| 8-19  | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 250        |
| 7-20  | AlFe-25 mm <sup>2</sup> | 900        |
| 20-21 | AlFe-25 mm <sup>2</sup> | 50         |
| 20-22 | AlFe-35 mm <sup>2</sup> | 920        |
| 6-23  | AlFe-25 mm <sup>2</sup> | 600        |
| 5-24  | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 180        |
| 4-25  | AlFe-25 mm <sup>2</sup> | 400        |
| 2-26  | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 350        |
| 1-27  | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 110        |
| 27-28 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 1 145      |
| 28-29 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 640        |
| 29-30 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 300        |
| 30-31 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 1 130      |
| 31-32 | IP013-A3'150            | 890        |
| 30-33 | AlFe-35 mm <sup>2</sup> | 80         |
| 30-33 | IP013-A3'150            | 50         |
| 29-34 | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 440        |
| 28-35 | AlFe-35 mm <sup>2</sup> | 120        |
| 27-36 | AlFe-35 mm <sup>2</sup> | 105        |
| 1-37  | AlFe-50 mm <sup>2</sup> | 300        |
| 57-58 | IP013-A3'120            | 100        |



Slika 1. Srednjenaponska (10 kV) distributivna mreža ED Zaječar, na reonu Zvezdan-Gamzigrad

Tabela 2.

Podaci o transformatorima

| $T$   | $S_n$<br>(kVA) | $m_T$<br>(kV/kV) | $u_k$<br>(%) | $P_{Cun}$<br>(kW) |
|-------|----------------|------------------|--------------|-------------------|
| 0-1   | 4 000          | 35/10,5          | 6            | 33                |
| 37-57 | 630            | 10/0,4           | 6,6          | 8,3               |
| 33-53 | 630            | 10/0,4           | 6,6          | 8,3               |
| 13-14 | 400            | 10/6             | 5,6          | 5,5               |
| 12-38 | 400            | 10/0,4           | 5,6          | 5,5               |
| 19-43 | 400            | 10/0,4           | 5,6          | 5,5               |
| 3-49  | 400            | 10/0,4           | 5,6          | 5,5               |
| 26-50 | 400            | 10/0,4           | 5,6          | 5,5               |
| 31-52 | 400            | 10/0,4           | 5,6          | 5,5               |
| 32-51 | 400            | 10/0,4           | 5,6          | 5,5               |
| 15-39 | 250            | 10/0,4           | 4,2          | 4,3               |
| 34-54 | 250            | 10/0,4           | 4,2          | 4,3               |
| 16-40 | 160            | 10/0,4           | 4            | 3                 |
| 17-41 | 100            | 10/0,4           | 4            | 2                 |
| 18-42 | 100            | 10/0,4           | 4            | 2                 |
| 21-44 | 100            | 10/0,4           | 4            | 2                 |
| 25-48 | 100            | 10/0,4           | 4            | 2                 |
| 36-56 | 100            | 10/0,4           | 4            | 2                 |
| 35-55 | 100            | 10/0,4           | 4            | 2                 |
| 22-45 | 50             | 10/0,4           | 4            | 1,2               |
| 23-46 | 50             | 10/0,4           | 4            | 1,2               |
| 24-47 | 50             | 10/0,4           | 4            | 1,2               |

Tabela 3.

Snage potrošačkih čvorova u distributivnoj mreži sa slike 1, na dan 30. 03. 2004. godine

| Broj čvora | $P_P$<br>(kW) | $Q_P$<br>(kvar) |
|------------|---------------|-----------------|
| 38         | 120           | 54              |
| 39         | 75            | 36              |
| 40         | 48            | 23              |
| 41         | 30            | 15              |
| 42         | 30            | 15              |
| 43         | 120           | 58              |
| 44         | 30            | 15              |
| 45         | 15            | 7               |
| 46         | 15            | 7               |
| 47         | 15            | 7               |
| 48         | 49            | 23              |
| 49         | 91            | 44              |
| 50         | 122           | 59              |
| 51         | 265           | 21              |
| 52         | 129           | 60              |
| 53         | 129           | 62              |
| 54         | 123           | 31              |
| 55         | 33            | 16              |
| 56         | 33            | 16              |
| 57         | 274           | 56              |

Na slici 1 je prikazana 10 kV distributivna mreža na pomenutom području. U tabelama 1 i 2 dati su podaci o vodovima i transformatorima u sistemu, respektivno. U tabeli 3 navedene su snage potrošačkih čvorova.

Primenom postupka koji je opisan u tački 2, izvršeni su proračuni u datoj mreži, pri snagama potrošača zadatim u tabeli 3. Razmatrano je 5 karakterističnih slučajeva. Najpre je izvršen proračun rada mreže bez distribuirane proizvodnje, tj. sa isključenim mini hidroelektranama (MHE). Ovo stanje je uzeto kao referentno, u odnosu na koje se porede rezultati u ostala 4, i to:

- Priključena samo MHE u čvoru 14, sa sinhronim generatorima.
- Priključene obe MHE, u čvoru 14 (sa SG) i u čvoru 58 (sa AG).
- Priključena MHE u čvoru 58 koja ima AG, bez kompenzacije reaktivne snage AG
- Priključena MHE u čvoru 58 koja ima AG, sa kompenzacijom reaktivne snage AG.

#### 4. REZULTATI

Proračun je sproveden uz pretpostavku da je napon referentnog čvora (0) konstantan i da iznosi 35 kV. Snage potrošača date u tabeli 3 su konstantne u svim razmatranim režimima.

Deo rezultata proračuna je prikazan u tabeli 4. Dati su ukupni gubici aktivne snage u 10 kV distributivnoj mreži  $SP_{gub}$ , zatim gubici aktivne snage u transformatoru 37-57  $P_{gubT57}$ , moduo struje koja protiče kroz transformator 37-57  $|I_{57}|$  (na strani 0,4 kV), gubici aktivne snage na niskonaponskom vodu 57-58,  $P_{gubV57-58}$ . U devetoj koloni tabele 4 dat je moduo struje koja teče po vodu 1-2,  $|I_{1-2}|$ . Prikazani su i moduli napona u dve karakteristične tačke distributivne mreže. To su čvor 51 i čvor 44, koji se nalaze na periferiji distributivnog sistema. Na kraju tabele 4 data je prividna snaga kojom su u razmatranim režimima rada opterećeni paralelni transformatori između čvorova 0 i 1, preko kojih se napaja posmatrana 10 kV mreža.

Pri proračunu, nisu uzeti u obzir gubici u gvožđu transformatora. Ovi gubici su konstantni i ne zavise od snage opterećenja niti snaga generatora distribuirane proizvodnje, tako da su irelevantni za

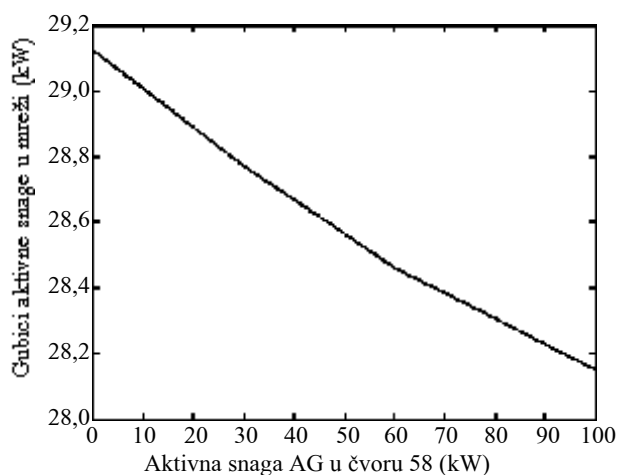
Tabela 4.

Rezultati proračuna

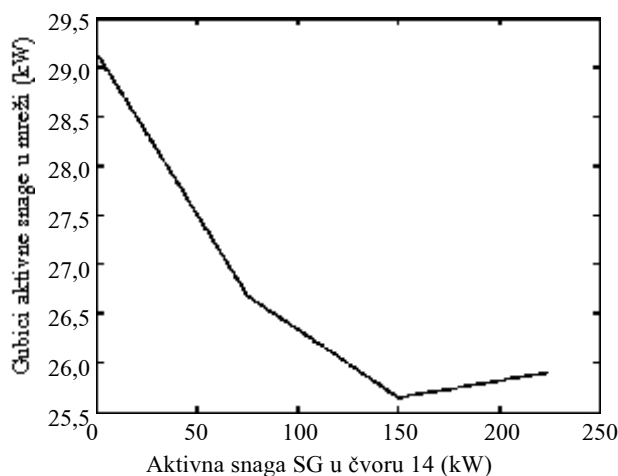
| $P_{AG58}$<br>(kW) | $Q_{AG58}$<br>(kvar) | $P_{SG14}$<br>(kW) | $Q_{SG14}$<br>(kvar) | $SP_{gub}$<br>(kW) | $P_{gubT57}$<br>(kW) | $ I_{57} $<br>(A) | $P_{gubV57-58}$<br>(kW) | $ I_{1-2} $<br>(A) | $ U_{51} $<br>(V) | $ U_{44} $<br>(V) | $S_0$<br>(kVA) |
|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 0                  | 0                    | 0                  | 0                    | 29,12              | 1,54                 | 391,4             | 0                       | 47,6               | 407,3             | 409,1             | 1 775+j698     |
| 0                  | 0                    | 75                 | 77                   | 26,68              | 1,54                 | 391,1             | 0                       | 41,9               | 407,6             | 410,1             | 1 698+j618     |
| 0                  | 0                    | 150                | 154                  | 25,65              | 1,54                 | 390,8             | 0                       | 36,5               | 407,6             | 411,0             | 1 621+j542     |
| 0                  | 0                    | 225                | 231                  | 25,90              | 1,54                 | 390,6             | 0                       | 31,3               | 408,1             | 411,9             | 1 547+j469     |
| 30                 | -18                  | 75                 | 77                   | 26,32              | 1,29                 | 357,3             | 0,18                    | 41,9               | 407,5             | 410,0             | 1 668+j634     |
| 60                 | -36                  | 150                | 154                  | 25,01              | 1,08                 | 327,4             | 0,72                    | 36,5               | 407,8             | 410,9             | 1 562+j575     |
| 100                | -58                  | 225                | 231                  | 24,94              | 0,87                 | 294,5             | 1,95                    | 31,3               | 408               | 411,7             | 1 448+j522     |
| 30                 | -18                  | 0                  | 0                    | 28,77              | 1,28                 | 357,5             | 0,18                    | 47,6               | 407,2             | 409,1             | 1 745+j714     |
| 60                 | -36                  | 0                  | 0                    | 28,46              | 1,08                 | 327,9             | 0,72                    | 47,6               | 407,2             | 409,0             | 1 715+j731     |
| 100                | -58                  | 0                  | 0                    | 28,15              | 0,87                 | 295,1             | 1,95                    | 47,6               | 407,1             | 409,0             | 1 676+j751     |
| 30                 | -18                  | 0                  | 0                    | 28,69              | 1,24                 | 351,3             | 0,13                    | 47,6               | 407,3             | 409,1             | 1 745+j699     |
| 60                 | -36                  | 0                  | 0                    | 28,29              | 0,98                 | 312,3             | 0,53                    | 47,6               | 407,3             | 409,1             | 1 715+j700     |
| 100                | -58                  | 0                  | 0                    | 27,86              | 0,70                 | 263,8             | 1,46                    | 47,6               | 407,3             | 409,1             | 1 675+j705     |

analizu uticaja generatora distribuirane proizvodnje na prilike u distributivnoj mreži.

Ukoliko se za globalne pokazatelje razmatranih režima rada distributivne mreže uzmu ukupni gubici aktivne snage i naponi u pojedinim karakterističnim čvorovima, može se uočiti da se oni malo razlikuju u analiziranim slučajevima. Međutim, primetan je trend smanjenja ukupnih gubitaka i izvesno smanjenje padova napona sa povećanjem snaga distribuiranih generatora. Očigledno je da od svih razmatranih slučajeva, najpovoljniji rezultati se dobijaju kada su uključene obe jedinice distribuirane proizvodnje. Konkretno, pri radu obe MHE sa instalisanim snagama, (osma vrsta tabele 4), ukupni gubici aktivne snage u posmatranoj distributivnoj mreži se smanjuju za oko 14,5 % u odnosu na slučaj kada su obe MHE van pogona, (druga vrsta tabele 4).



Slika 2. Promena gubitaka aktivne snage u distributivnoj mreži sa promenom aktivne snage AG u čvoru 58, pri  $\cos \varphi_{AG} = 0,86$



Slika 3. Promena gubitaka aktivne snage u distributivnoj mreži sa promenom aktivne snage SG u čvoru 14, pri  $\cos \varphi_{SG} = 0,70$

Na slici 2 je prikazano kako se menjaju ukupni gubici aktivne snage u distributivnoj mreži sa promenom snage AG u čvoru 58, pri čemu je SG u čvoru 14 isključen iz mreže. Na slici 3 je data zavisnost ukupnih gubitaka u mreži sa promenom snage SG u čvoru 14 uz konstantni faktor snage, pri čemu je AG u čvoru 58 isključen.

Povećanjem aktivne snage AG u čvoru 58 smanjuju se ukupni gubici aktivne snage u distributivnoj mreži. To smanjenje nije veliko, jer je snaga AG relativno mala u odnosu na lokalno opterećenje u čvoru 57. Sa druge strane povećanje snage SG u čvoru 14, do jedne granice znatno smanjuje gubitke, a onda se trend menja i gubici rastu, pri čemu je njihova vrednost stalno manja od vrednosti kada MHE ne rade (bazni slučaj).

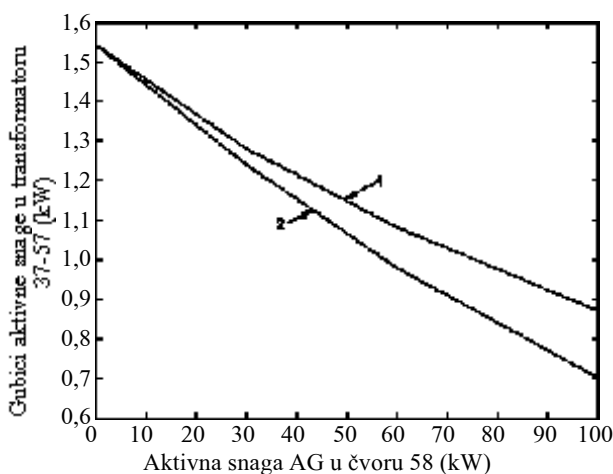
Stepen uticaja distribuiranih generatora je usko povezan sa lokacijom, tipom i veličinom angažovane snage. Analizom rezultata u tabeli 4, može se jasno uočiti da veći uticaj na distributivnu mrežu ima MHE priključena u čvor 14 nego MHE priključena u čvor 58. Razlozi su sledeći:

- MHE u čvoru 14 se nalazi na kraju duge razgranate distributivne linije, čime direktno doprinosi i učestvuje u napajanju lokalnih potrošača, u skladu sa snagom koju proizvodi i na taj način direktno deluje na nivo gubitaka u pojedinim vodovima i transformatorima u tom delu mreže. Posebno se to jasno može uočiti u središnjem delu mreže, npr. na vodu između čvorova 7-8, slika 5. Sa druge strane, MHE kod čvora 58 se nalazi u blizini glavne trafostanice i učestvuje u napajanju samo potrošača u čvoru 57, delujući pri tome na tokove snaga i gubitke samo u vodu 1-37 i transformatoru 37-57.
- MHE u čvoru 14 ima SG čime je mreža značajno rasterećena od proticanja reaktivne energije, dok se nekompenzovani AG u MHE kod čvora 58 ponašaju kao potrošači reaktivne energije.
- Treći, vrlo bitan razlog je snaga koju daju ove dve MHE. Instalirana snaga MHE u čvoru 14 je skoro 2,5 puta veća od instalirane snage MHE kod čvora 58.

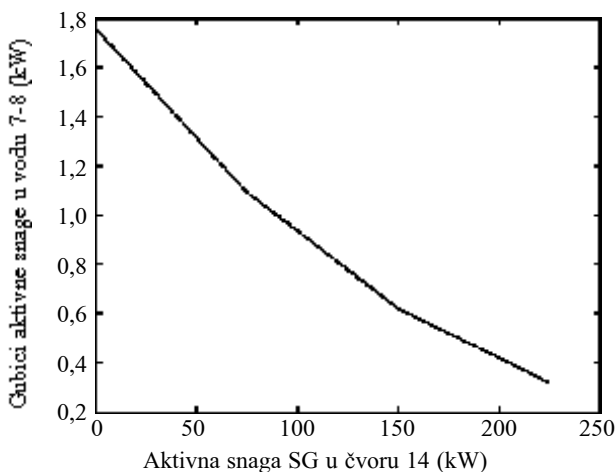
Za dati nivo snage potrošnje u distributivnoj mreži, rad obe MHE ne utiče značajno na vrednosti napona. Napon čvora 44 se vrlo malo menja i to samo u slučaju promene snage SG u čvoru 14. Rad AG u čvoru 58 ne utiče direktno na promene napona u delu distributivne mreže koji ne pripada subgrafu koji obuhvata AG. Indirektni uticaj generatora distribuirane proizvodnje, na napone i tokove snaga, ostvaruje se delovanjem na opterećenost napojnog transformatora 0-1 (kolona  $S_0$  u tabeli 4), odnosno pad napona na njemu, a time i na napon čvora 1 sa koga se napajaju svi delovi 10 kV distributivne mreže. U ovom konkretnom slučaju indirektni uticaj je

zanemarljiv, s obzirom na male vrednosti snaga distribuiranih generatora u odnosu na ukupnu snagu potrošnje. Očigledan dokaz je napon u čvoru 51, koji je praktično konstantan u svim razmatranim režimima rada distributivne mreže.

Pozitivni efekti su najizraženiji na elementima u neposrednoj blizini distribuiranih generatora. Ovde je kao karakterističan element uzet transformator između čvorova 37 i 57. Gubici u ovom transformatoru se znatno smanjuju sa povećanjem snage AG u čvoru 58. Naravno, to je uzrokovano smanjenjem snage koja se preko transformatora 37-57 uzima iz



Slika 4. Promena gubitaka aktivne snage u transformatoru 37-57 pri promeni snage AG u čvoru 57  
1-za slučaj nekompensovanja reaktivne snage AG,  $\cos \mathbf{j}_{AG} = 0,86$   
2-za slučaj kada je izvršena kompenzacija reaktivne snage AG,  $\cos \mathbf{j}_{AG} = 0,99$



Slika 5. Zavisnost gubitaka aktivne snage u vodu 7-8 u funkciji aktivne snage koju proizvodi SG u čvoru 14,  $\cos \mathbf{j}_{SG} = 0,70$

mreže, za iznos koji proizvede AG. Smanjenjem snage koja protiče kroz transformator, smanjuje se struja i gubici u njemu a time i zagrevanje, što direktno doprinosi produžetku njegovog veka. Pozitivni efekti kompenzacije reaktivne snage AG su u ovom primeru izraženi kroz smanjene gubitaka u transformatoru 37-57 i vodu 57-58, u odnosu na slučaj kada AG radi bez kompenzacije reaktivne snage. Izbor snage kondenzatora za kompenzaciju je izvršen prema referenci [4]. Na slici 4 su prikazane promene gubitaka aktivne snage kroz transformator 37-57, za slučaj nekompensovanog i za slučaj kompenzovanog AG.

Na slici 5 je prikazan dijagram promene gubitaka aktivne snage na vodu između čvorova 7 i 8 sa promenom snage SG u čvoru 14. Gubici u vodu 7-8 se smanjuju nekoliko puta u odnosu na bazni slučaj, kada je SG isključen sa distributivne mreže.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je na praktičnom primeru pokazan uticaj distribuirane proizvodnje na napone, struje, tokove snaga i gubitke u distributivnoj mreži. Opisan je način proračuna ovakvih sistema. Naznačeni su osnovni pokazatelji i mehanizmi uticaja. Utvrđeno je da je uticaj distribuirane proizvodnje (u konkretnom slučaju jedne mini hidroelektrane sa SG i jedne mini hidroelektrane sa AG) na pokazatelje režima rada elemenata u njoj neposrednoj blizini (gubitke aktivne snage i tokove snaga) značajan. Ukupni gubici električne energije u distributivnoj mreži sa distribuiranom proizvodnjom se mogu optimizirati odnosom proizvodnje i potrošnje.

## 6. LITERATURA

- [1] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirscher and G. Strbac, EMBEDDED GENERATION, The Institution of Electrical Engineers, London, UK, 2000.
- [2] Tehnička preporuka br. 16, OSNOVNI TEHNIČKI ZAHTEVI ZA PRIKLJUČENJE MALIH ELEKTRANA NA MREŽU ELEKTRODISTRIBUCIJE SRBIJE, JP „EPS” Direkcija za distribuciju električne energije Srbije, Beograd, 2003.
- [3] M. Čalović, A. Sarić, OSNOVI ANALIZE ELEKTROENERGETSKIH MREŽA I SISTEMA, Akademska Misao, Beograd, 2004.
- [4] D. Tasić, M. Stojanović, FAZI PRISTUPI PRORAČUNU GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA, Elektroprivreda, br. 3, 2003. str. 59-67.

Rad je primljen u uredništvo 15. 07. 2004. godine





**Jordan Radosavljević** (1973) je diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini 1998. godine, a magistrirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 2003. godine. Zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici u zvanju asistent. Oblast njegovog interesovanja je analiza prenosnih i distributivnih mreža i distribuirana proizvodnja.



**Miroljub Jevtić** je diplomirao 1980. godine, magistrirao 1987. godine, a doktorirao 1991. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Skoplju na smeru za elektroenergetske sisteme. Doktorirao je, takođe, na Sankt Peterburškom tehničkom univerzitetu 1989. godine na katedri za električnu izolaciju, kablove i kondenzatore. Bio je zaposlen u Fabrici kablova Zaječar (1981-1991) kao rukovodilac razvoja i kao organizator kontrole kablova, na Tehničkom Fakultetu u Boru (1991-1997) kao docent i vanredni profesor i na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini (sada Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica) kao vanredni i redovni profesor na smeru za elektroenergetske sisteme. Objavio je 70 naučnih i stručnih radova, među kojima je i veći broj u vodećim međunarodnim i domaćim časopisima.

---

Dimitrije P. Nikolajević

# Toplotne pumpe kao način racionalizacije potrošnje električne energije

Stručni rad  
UDK: 536.7; 621; 697

---

*Rezime:*

*Smanjenjem zaliha energenata povećana je potreba za novim izvorima energije. Današnji pravci istraživanja su orijentisani, pre svega, na obnovljive izvore energije. Kako je udeo tih izvora u ukupnoj proizvodnji električne energije još uvek mali, u svetu je dosta pažnje posvećeno uticaju takvih izvora na samu potrošnju električne energije. Jedan takav način racionalizacije električne potrošnje je korišćenje geotermalnih toplotnih pumpi u sistemima za rashlađivanje i grejanje. Njihov rad je baziran na osnovnim principima termodinamike, ali za razliku od konvencionalnih sistema za grejanje, ventilaciju i klimatizaciju, one poseduju daleko veću energetska efikasnost, pa i samim tim troše manje električne energije. Ovo se postiže korišćenjem termalnog kapaciteta Zemlje. Danas na svetskom tržištu postoji širok izbor različitih modela geotermalnih pumpi, a zemlje koje prednjače u korišćenju ove tehnologije su Amerika, Švajcarska, Švedska i Kina. Preporuke raznih energetska komisija su da treba raditi na promociji ovakve tehnologije.*

**Ključne reči:** obnovljivi izvori energije, geotermalne toplotne pumpe, energetska efikasnost

---

*Abstract:*

*HEAT PUMPS AS A WAY OF RATIONALIZATION OF ELECTRICAL CONSUMPTION*

*With reduction of energy stocks, the need for new kinds of energy sources is increased. Present directions of exploring are orientated towards renewable sources of energy above all. As the share of these sources in the whole production of electrical energy is still small, the world pays a lot of attention to the influence of such sources on the bare consumption of electrical energy. One rationalization method of electrical consumption is using of geothermal heat pumps (GTP) in cooling and heating systems. Their work is based on basic thermodynamic principles, but compared to conventional Heating, ventilation and air conditioning systems, they are much more energy efficient, and therefor the consumption of electrical energy is cut down. This effect is accomplished by using thermal capacity of the Earth. There is a wide choice of different geothermal heat pumps on the world market today, and leading countries in use of this technology are: USA, Switzerland, Sweden and China. Recommendations of different energy commissions are that this technology should be promoted.*

**Key words:** renewable resources of energy, geothermal heat pumps, energy efficiency

---

Dimitrije P. Nikolajević, ing. el.

– Apsolvent Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, 11 120 Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73

## 1. UVOD

Razvoj velikih sistema kao što je elektroenergetski je uvek utemeljen na dugoročnim strategijama. Jedan od ciljeva sa najvećom strateškom težinom je uvećanje efikasnosti iskorišćenja električne energije, jer je najjeftiniji i ekološki najpovoljniji oblik energije upravo ona energija koja je uštedena. Strategija razvoja elektroenergetskih sistema je usko vezana sa procenama budućih potreba za električnom energijom, a usvajajući optimistički scenario razvoja domaće privrede sigurno da se očekuje veća stopa rasta potrošnje. Tokom devedesetih godina prošlog veka naša potrošnja po glavi stanovnika nije zaostajala za potrošnjom razvijenih evropskih zemalja. Poređenja radi, 1997. godine ostvarena je potrošnja od 2 750 kWh po stanovniku, dok je u Grčkoj bila 3 199, u Italiji 4 155 ili u Francuskoj 6 177 kWh. Međutim, jedan od razloga ovako visoke potrošnje je bio u korišćenju električne energije za grejanje tokom zimskih meseci. O disproporciji električne potrošnje i društvenog proizvoda govori podatak da je potrošnja po jedinici društvenog proizvoda kod nas bila 1 600 kWh na 1 000 evra, dok je kod razvijenih zemalja ona reda 200 kWh na 1 000 evra [1]. Prelaskom na ekonomske cene struje, danas je uveliko smanjeno korišćenje električne energije za grejanje. Tu je i država pomogla aktivnim marketingom za korišćenje drugih energenata i prelaskom na sisteme centralnog grejanja uz povoljne kredite. Time je delimično smanjena drastična sezonska varijacija električne potrošnje koja je kvarila faktor opterećenja elektroenergetske mreže.

Analiza potrošnje u razvijenim zemljama pokazuje da je stopa rasta potrošnje električne energije u direktnoj vezi sa rastom društvenog proizvoda odnosno standardom. Iz tabele 1 se vidi da zemlje koje su još pre osamdesetih godina dostigle zavidan ekonomski standard imaju ujednačen porast potro-

šnje po glavi stanovnika, dok su zemlje koje su poslednjih nekoliko decenija ekonomski ojačale praktično udvostručile potrošnju po glavi stanovnika. Znači, postoji zakonitost: što je veći standard, veća je i potrošnja. Veća potrošnja je posledica potrebe za pretvaranjem električne energije u mehanički rad koji treba da se obavi u procesima proizvodnje u industriji, ali i korišćenjem novih kućnih i poslovnih aparata koji postaju dostupni sa rastom ekonomskog standarda.

Naša zemlja je, kao uostalom i Evropa, oskudna u bogatstvu energenata. U svetu su procenjene rezerve energenata na narednih 30-100 godina, zavisno od oblasti koje se trenutno eksploatišu. Zato se i traže alternativni izvori energije. Obnovljivi izvori energije su geografski neravnomerno raspoređeni i njihova raspoloživost je u smislu koncentracije energije mala, pa je time i cena investicije veća. Stoga se u bližoj budućnosti ne može očekivati da oni u značajnijoj meri zamene konvencionalne izvore u proizvodnji električne energije. Međutim, savremeni trendovi planiranja ih uzimaju u obzir prilikom analize potrošnje, odnosno njihovog udela u što efikasnijem korišćenju raspoloživih kapaciteta sistema. Napomenimo da su takve alternativne tehnologije za proizvodnju i optimizaciju potrošnje električne energije bazirane na korišćenju energije vetra, solarne, hidro i geotermalne energije, energije plime i oseke i biomasa.

## 2. TEHNIČKA DISKUSIJA RADA TOPLOTNIH PUMPI

### 2.1. Toplotne pumpe

Toplotne pumpe su uređaji koji vrše transfer toplote. U tom procesu koriste radni fluid, odnosno on je taj koji prenosi toplotu sa jednog mesta na drugo. Toplota prirodno prelazi sa toplijeg na hladnije telo,

Tabela 1.

Potrošnja električne energije po stanovniku u nekim zemljama Evrope [1]

|            | Podaci iz prošlosti (kWh/stanovniku) |        |        |        | Prognoze (kWh/stanovniku) |        |
|------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|---------------------------|--------|
|            | 1980.                                | 1990.  | 1998.  | 2000.  | 2010.                     | 2020.  |
| Danska     | 4 665                                | 5 998  | 6 516  | 6 660  | 7 012                     | 7 164  |
| Francuska  | 4 629                                | 6 177  | 7 222  | 7 473  | 8 360                     | 8 800  |
| Luksemburg | 9 863                                | 10 938 | 12 558 | 13 134 | 15 432                    | 16 360 |
| Švajcarska | 6 030                                | 7 401  | 7 458  | 7 736  | 8 757                     | 9 553  |
| Grčka      | 2 271                                | 3 199  | 4 201  | 4 461  | 6 148                     | 7 582  |
| Irska      | 2 793                                | 3 708  | 5 283  | 5 737  | 7 965                     | 9 035  |
| Italija    | 3 181                                | 4 145  | 4 856  | 5 148  | 6 360                     | 7 257  |

što definiše i II princip termodinamike, a u praktičnoj realizaciji često je potrebno uraditi upravo suprotno. Zbog toga toplotna pumpa mora da uloži energiju unetu spolja, da bi izvršila taj rad [2].

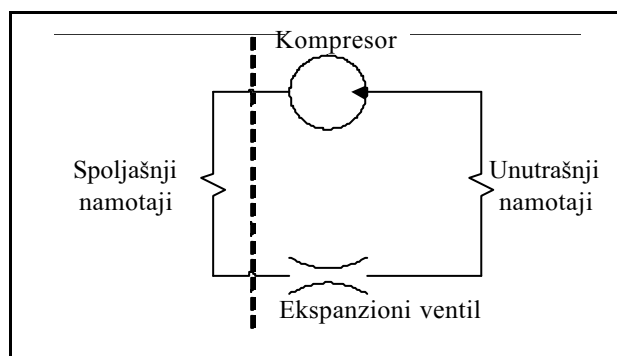
Kada toplotna pumpa uzima toplotu iz sredine temperature  $t_2$  i prenosi je u sredinu temperature  $t_1$ , odnos prenete toplote i utrošene električne energije pokazuje vrednost granične efektivnosti toplotne pumpe  $x_T$ :

$$x_T = \frac{(t_1 + 273 \text{ °C})}{(t_1 - t_2)} \quad (1)$$

Ovaj izraz je obrnut u odnosu na teorijski koeficijent korisnog dejstva toplotnih mašina:

$$h_T = \frac{(t_1 - t_2)}{(t_1 + 273 \text{ °C})} \quad (2)$$

U praksi se najčešće susrećemo sa klima aparatima vazduh-vazduh koji se danas smatraju konvencionalnim grejno-rashladnim uređajima. Njima je i izvor i odredište (radno telo) prilikom prenosa toplote vazduh. Takvi klima uređaji su zbog relativno niske cene veoma dostupni, pa se mnogi odlučuju za njihovo korišćenje. Međutim, oni za obavljanje svoje uloge traže poprilične količine električne energije koje su gotovo identične iznosima TA peći. Naime, leti je potrebno izvući toplotu iz prostora koji se hladi i preneti je spolja u atmosferu koja je već pretopla. Jasno je da je taj proces suprotan II principu termodinamike i da je zbog toga u njega potrebno uložiti dodatnu energiju koja je u ovom slučaju električna. Zimi se odvija suprotan proces, gde se iz već hladne atmosfere mora uzeti toplota i uneti u prostor koji se greje. Zbog ovog problema je leti razlika između spoljne i unutrašnje temperature ograničena, jer prema formuli (1)



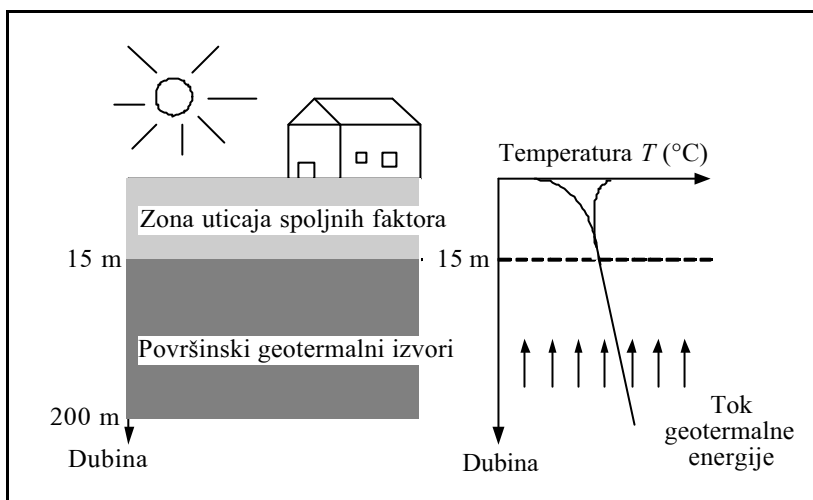
Slika 1. Princip rada toplotne pumpe

efektivnost toplotne pumpe opada sa rastom razlike ( $t_1 - t_2$ ) [3]. S druge strane, zimi, kada temperatura opadne na ispod 12-15 °C, uključuje se termogeni otpornik kao izvor toplote prilikom grejanja.

Princip rada toplotne pumpe je jednostavan. U slučaju rashlađivanja, radni fluid u unutrašnjim namotajima prima na sebe toplotu okoline i tako zagrejan odlazi u kompresor, gde pod pritiskom isparava. Para se zatim potiskuje dalje u spoljašnje namotaje. Tamo se radni fluid kondenzuje odajući toplotu radnom telu i na taj način snižava mu se sopstvena temperatura. Potom se vraća nazad u unutrašnje namotaje, prolazeći kroz ekspanzioni ventil koji smanjuje pritisak u instalaciji, te sada rashlađena tečnost prima na sebe ponovo toplotu sredine koju hladimo. Ovim se završava jedan ciklus. U slučaju grejanja, odvija se suprotan proces.

## 2.2. Geotermalne toplotne pumpe

Geotermalne toplotne pumpe (GTP) koriste umesto vazduha zemlju kao radno telo. Na ovaj na-



Slika 2. Zona uticaja spoljnih faktora sa podzemnom raspodelom temperature

čin se postiže veća energetska efikasnost. Naime, ispod pojasa od približno 15 m u kome postoji sezonska varijacija temperature prostire se pojas u kome temperatura raste gotovo linearno sa dubinom (u proseku 3 °C na svakih 100 m).

Zbog ovoga, pumpa ulaže manje snage, jer je leti potrebno toplotu sprovesti u hladniju zemlju, a zimi ju je potrebno uzeti iz zemlje koja je toplija od spoljnog vazduha. Zato je GTP upotrebljiva u daleko većem rasponu atmosferskih prilika nego što su konvencionalni grejno-rashladni uređaji i troši upola manje električne energije. Naravno sa ovakvim sistemom moguće je i grejanje vode u letnjim meseci-

ma, dok se u zimskim drastično smanjuje utrošak električne energije prilikom korišćenja bojlera, jer se vrši samo dogrevanje vode. Na slici 3 se vidi primer kuće u kojoj je GTP upotrebljena za grejanje. Ovakvi sistemi se najviše upotrebljavaju u Švedskoj i Švajcarskoj [4], [5].

Osnovna razlika sistema sa GTP u odnosu na konvencionalne je dakle u upotrebi izmenjivača toplote koji se postavljaju u zemljište. Kroz njih kao radni fluid teče voda ili voda izmešana sa antifrizom. Dakle sistemi sa GTP ne koriste supstance opasne po ozonski omotač i ne sagorevaju organske materije. Ovo je još jedna prednost, posebno sada kada se zahtevi za dodatnim ograničenjem emisije  $CO_2$  i drugih zagađivača povećavaju iz dana u dan.

Umesto zemljišta, kada je to moguće kao radni medij, mogu se koristiti vode iz jezera, bunara, reka ili podzemnih tokova, ukoliko se to pokaže opravdano ekonomskim i ekološkim analizama.

### 3. STANJE TEHNOLOGIJE SISTEMA SA GTP

Sistemi sa GTP se generalno dele na otvorene i zatvorene. Kod otvorenih sistema voda iz jezera ili bunara se koristi kao radno telo i kao rashladni fluid. Zatvoreni sistemi s druge strane podrazumevaju korišćenje izmenjivača toplote koji se postavljaju u tlo po različitim obrascima. Kroz njih cirkuliše radni fluid i prenosi toplotu.

Izmenjivači toplote su cevi najčešće od polietilena, polipropilena ili polibutilena. Ovi materijali imaju dug vek trajanja (50-ak godina) i zgodni su za instalaciju, jer se cevi i zglobovi spajaju grejanjem. Slične cevi se već odavno upotrebljavaju za razvod sanitarija.

#### 3.1. Otvoreni sistemi

Otvoreni sistemi su retki, jer zavise od mogućnosti raspolaganja vodom. Pored klasičnih bunara, jezera, reka i njihovih priobalja mogu se koristiti i vode iz rudnika. Ako se voda koristi za grejanje, nije racionalno upotrebljavati protočne podzemne vode. Ovakvi sistemi su, zbog kapaciteta, pogodni za veće instalacije. Najsnažniji sistem ovog tipa ikad napravljen, snage 10 MW, se nalazi u Luisvilu, Kentaki, SAD, gde se ELEKTROPRIVREDA, br. 1, 2005.

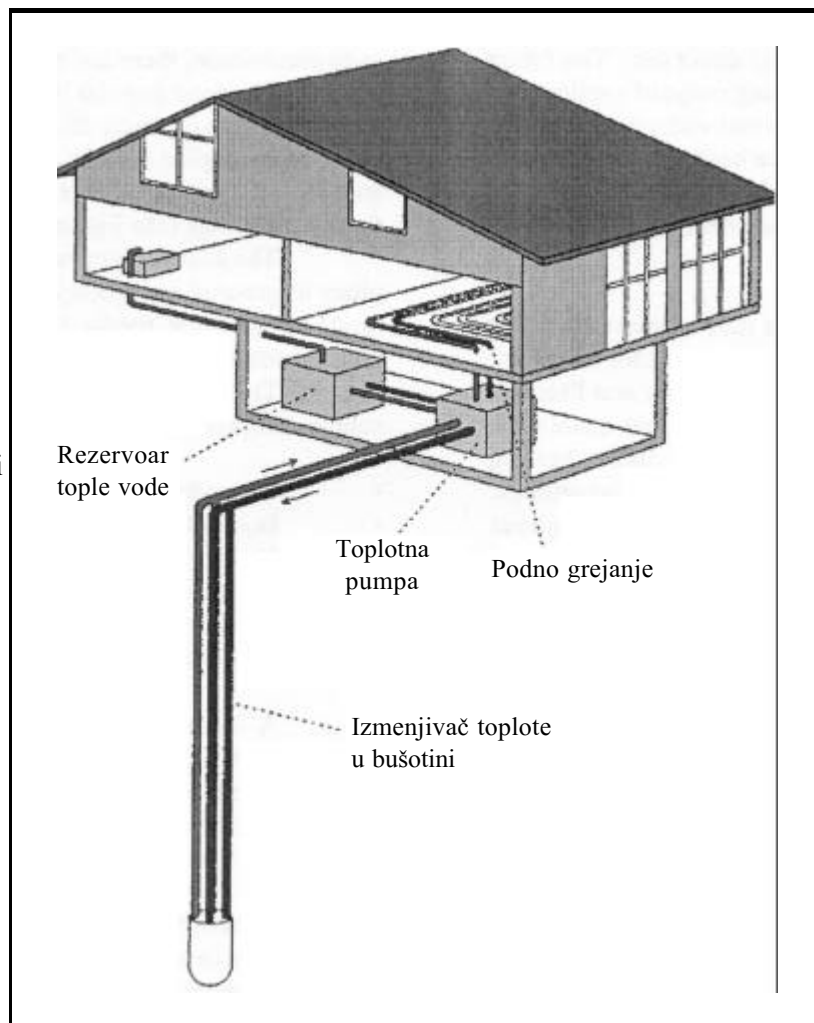
hlade i greju poslovni prostori i hoteli. Jedina mana otvorenih sistema je viša cena održavanja, jer je potrebno čistiti bunare i koristiti razne prečišćivače [6].

#### 3.2. Zatvoreni sistemi

Zatvoreni sistemi su u mnogo većoj upotrebi. To je zahvaljujući njihovoj lakoj prilagodljivosti za datim uslovima realizacije, a pored toga zahtevaju i manji obim razvoda instalacija. Kako geološke karakteristike zemljišta diktiraju mogućnosti postavljanja sistema sa GTP, može se reći da su upravo zatvoreni sistemi ti kod kojih je ostvaren veliki broj različitih pristupa, kako bi se dobile što bolje performanse. Njihova osnovna podela je na horizontalne i vertikalne zatvorene sisteme.

##### 3.2.1. Horizontalni

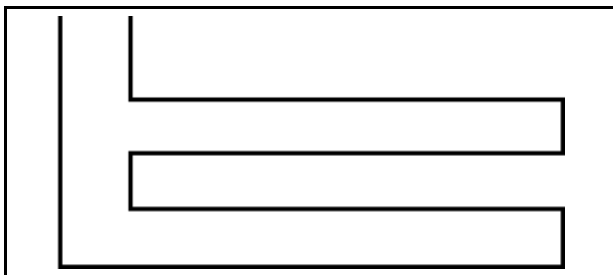
Najlakši način instaliranja dugačkih cevi izmenjivača toplote je horizontalan. Ovo je ujedno i



Slika 3. Toplotna pumpa sa duplim U cevima

najjeftiniji tip realizacije pošto nije potrebno ulagati značajnija sredstva za kopanje zemljišta. Uslov za postavljanje horizontalnih sistema je postojanje raspoloživog prostora u koji je moguće postaviti kompletnu instalaciju. Zato se ovakvi sistemi postavljaju uz kuće koje se nalaze van gradskog jezgra gde postoji veća raspoloživost zemljišnim prostorom, ili u gradskom jezgru, kada se grade nove zgrade, pa je unapred moguće isprojektovati raspored instalacije, kako bi se maksimalno iskoristio prostor. Horizontalni sistemi su upravo praktično rešenje kada je dominantan zahtev za rashlađivanjem, s tim da i dalje mogu da daju značajan doprinos grejanju. Oni se polažu u zemlju na dubinama od 1,2 - 1,8 m, pa se termalno obnavljanje vrši prevashodno solarnom energijom. Postoji nekoliko načina njihove realizacije. To su serijska, paralelna i solenoidna.

### Serijska



Slika 4. Serijski izmenjivač

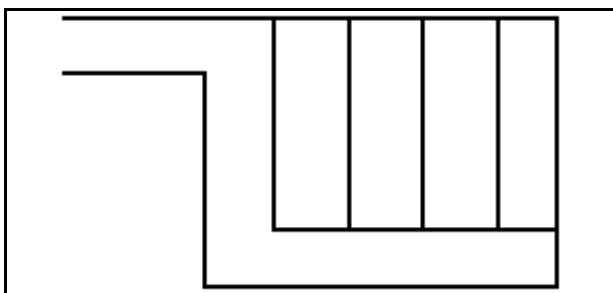
#### Prednosti:

- jednostruki tok kretanja fluida i veličina cevi i
- veće termičke performanse po metru cevi s obzirom na njihov veći dijametar.

#### Mane:

- veća količina radnog fluida zbog veličine cevi,
- veća cena po metru cevnog materijala,
- povećani troškovi postavljanja cevi i
- ograničena dužina cevi zbog pada pritiska u cevima, a pumpanje je upravo to što troši električnu energiju.

### Paralelna



Slika 5. Paralelni izmenjivač

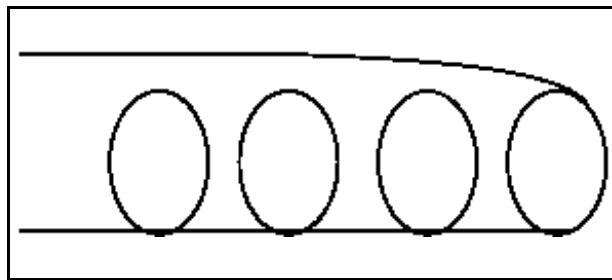
#### Prednosti:

- manja količina cevi s obzirom na njihov manji dijametar u odnosu na serijski izmenjivač toplote i
- manja količina radnog fluida.

#### Mane:

- posebna pažnja prilikom postavljanja instalacije mora da se obrati na istiskivanje svog vazduha iz cevi, jer je potrebno ostvariti izbalansiran protok kroz sve grane instalacije.

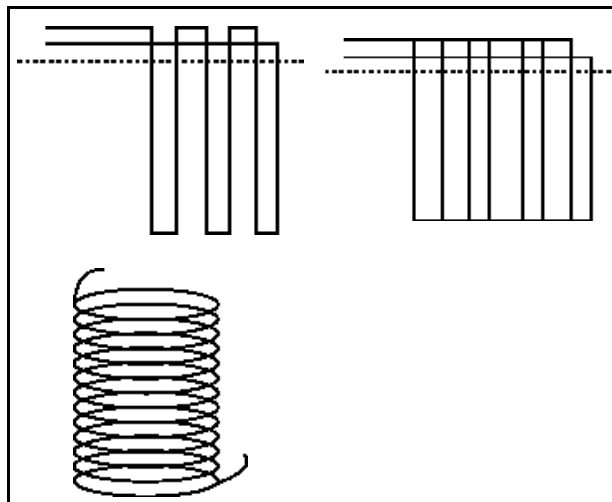
### Solenoidna



Slika 6. Solenoidni izmenjivač

- ovakav način postavljanja cevi je sve popularniji i izrazito je zastupljen u Americi. Ovo je, u principu, varijanta serijskog modela i suština ovakvog polaganja instalacije je u koncentrisanju površine predviđene za razmenu toplote u manji volumen. Druga prednost mu je kraća dužina cevi u odnosu na prethodne modele, u proseku za jednu do dve trećine! Sve ovo ga čini izrazito atraktivnim za fizička lica kao vlasnike objekata.

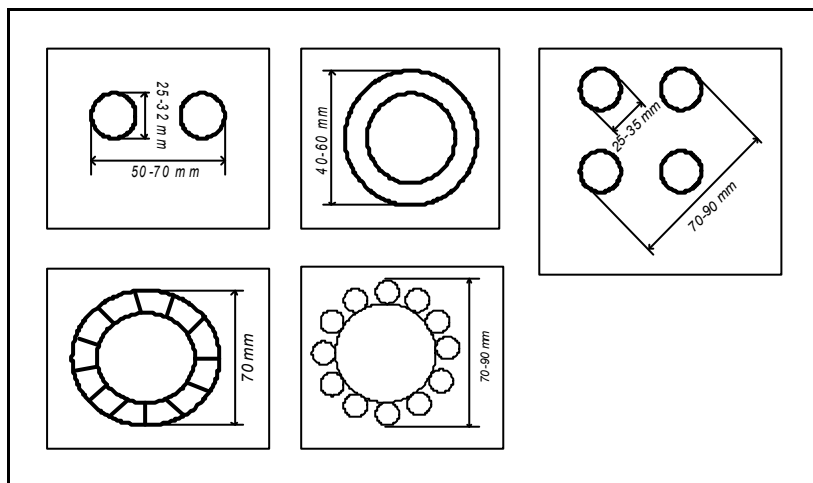
### 3.2.2. Vertikalni



Slika 7. Vertikalne vrste izmenjivača

Vertikalni sistemi su daleko većih mogućnosti od horizontalnih, zato što je temperatura zemlje već

na dubini ispod 15 m stabilna tokom godine, pa je izmenjivačima toplote na raspolaganju veći termalni kapacitet. Ponekad je nemoguće izvesti horizontalnu instalaciju zbog lošeg sastava zemljišta ili zbog neraspologanja dovoljnim prostorom, kao što je to slučaj u urbanim sredinama. Tada se vrši vertikalna realizacija. Najprostiji vid ovakvih rešenja je korišćenje tzv. *U*-cevi. U osnovi, to su dve paralelne cevi spojene na dnu zglobom. Složenija varijanta je dupla *U*-cevi (slika 3). Zbog malih troškova cevnog materijala, ovo je popularan način polaganja cevi u Evropi. Drugi modeli su indentični rešenjima za horizontalnu realizaciju. To su serijski, paralelni i solenoidni. Njihove prednosti i mane su istovetne onim kada se vrši horizontalno postavljanje. Sada se uveliko koriste drugačiji, kompleksniji, ali zato i mnogo skuplji oblici cevi izmenjivača toplote (slika 8). Takva rešenja su koncentrična (koaksijalna) cev, gde je cev manjeg dijametra u cevi većeg, ili još složenija tzv. kompleksna koaksijalna cev [7].



Slika 8. Poprečni preseki izmenjivača različitog oblika

#### 4. ENERGETSKA EFIKASNOST SISTEMA SA GTP

U istraživanjima koja su sprovedena širom sveta pokazano je da GTP imaju veću efikasnost u odnosu na konvencionalne rashladno-grejne sisteme vazduh-vazduh. Razlog tome leži u velikom termalnom kapacitetu zemlje, već na dubini ispod 15 m. Prema izveštaju koji je 1993. godine u Americi dala njihova Agencija za zaštitu sredine, geotermalne toplotne pumpe su najefikasniji i najisplativiji sistemi za regulaciju temperature unutrašnjeg prostora koji su ikad bili dostupni. U tom izveštaju su navedene mnogobrojne prednosti GTP i dat im je epitet sistema budućnosti [8]. Za analizu energetske efikasnosti prilikom procesa hlađenja, koristi se pojam nivo

energetske efikasnosti - EER (Energy Efficiency Rating). On predstavlja odnos Btu (British thermal unit) jedinica hlađenja i električne snage koja se troši prilikom tog procesa. Jedna Btu jedinica je u SI jednaka 1 055,056 J. Danas na našem tržištu dominiraju tzv. split sistemi koji za 12 000 Btu traže 1,5-1,7 kW, pa im je EER jednak 7,05-8 i ako postoje savremene klime konvencionalnog tipa sa EER i preko 10 one se slabije uvoze jer su skuplje. Marketing prodavaca rashladnih uređaja se orijentiše više na prodajnu cenu uređaja nego na njihovo svojstvo racionalnog trošenja električne energije, a pritom se obično prećutkuje činjenica da se već na temperaturama ispod 15 stepeni uključuje termogeni otpornik, pa onda uređaj u stvari radi kao obična grejalica. GTP, sa razliku od ovih uređaja, troši 30 %-50 % manje električne energije, odnosno za svaki kWh hlađenja ili grejanja troši 0,22 - 0,35 kWh električne energije.

Prilikom procene energetske efikasnosti u procesu grejanja, definisan je pojam koeficijent performanse - COP (Coefficient of Performance) koji predstavlja odnos korisne energije grejanja i utrošene električne energije. Danas je maksimalni COP oko 4,5, ali srednja vrednost tokom sezone mu se kreće od 3 do 3,8. Što višu temperaturu grejanja želimo, manji je COP. Zato se išlo na temperature grejanja vode 45 - 50 °C koje su davale optimalni COP, ali već sada postoje GTP koje greju vodu do 65 °C sa prihvatljivim COP-om. Tokom letnjih meseci se ima već topla voda za bojler, a zimi se utrošak struje za ovu svrhu prepolovljava.

Dužina izmenjivača toplote se određuje na osnovu zahtevane snage grejanja. Parametar na osnovu koga se ona izračunava, zove se specifična toplota izvlačenja (Specific Heat Extraction) i tipična vrednost mu je u rasponu od 40 - 70 W/m [9]. Kako na njega utiče toplotna provodnost zemljišta, za teške dizajnerske probleme se koriste savremeni softverski alati, a jedan od najpopularnijih je „Earth Energy Designer” [10], [11], [12].

Svetska najveća instalacija GTP je urađena 1993. godine u Vojnoj bazi Fort Polk u Luisvilu, država Luizijana. Tamo je zamenjena stara rashladno-grejna instalacija u 4 003 domaćinstva. U pitanju su bili stanovi, gradske zgrade i duplexi sa površinom od 900 - 1 400 m<sup>2</sup>. Pri tom je napravljeno 8 000 bušotina prečnika 1 dm u koje su postavljene polietilenske *U*-cevi na dubine od 30 do 120 m. EER pret-

hodnog sistema je bio između 7 i 8, a EER koji sada ostvaruju GTP je 15,4. Istraživanje o energetskekoj uštedi ove instalacije izvršila je Nacionalna laboratorija u Ouk Ridžu i utvrdila primetan uticaj na faktor opterećenja energetske mreže. U celoj zajednici je električna potrošnja smanjena za 33 % (26 miliona kWh), a pritom je smanjen letnji pik opterećenja za 43 % (7,5 MW), što je popravilo faktor opterećenja sa 52 % na 62 % [13].

Svakako da je jedna od velikih prednosti GTP i uticaj na smanjenje toplotne emisije iz urbanih područja i smanjena emisija štetnih gasova  $CO_2$  i drugih zagađivača. Japanska studija opravdanosti korišćenja GTP sistema iz maja 2000. godine je pokazala da je ekonomska upotreba apsolutno opravdana i da bi se, kada bi sva domaćinstva koristila GTP, smanjila emisija  $CO_2$  za 52 miliona tona (smanjenje od 4,3 % u odnosu na 1990. godinu) [14].

Istovetna studija iz 2003. godine sprovedena u Irskoj je procenila uštedu primarne energije u iznosu od 2,426 TWh/godini za iznos od 80 000 GTP jedinica, što je ušteda od 5 %. Emisija  $CO_2$  bi bila smanjena za 617 000 tona/godini [15].

## 5. EKONOMSKE PREDNOSTI I PREPREKE UVODENJU GTP

Sistemi sa GTP postoje već petnaestak godina, ali njihov prodor na tržište je išao dosta sporo [16]. Prva veća ulaganja u njih su počela tek polovinom devedesetih. Razlog ovome su velika početna ulaganja. Tu se podrazumeva, pre svega, proces bušenja zemljišta. Prosečna cena bušenja i postavljanja cevi se kreće oko 40 \$ po metru. Takođe, tu su cene istraživanja i procenjivanja kvaliteta zemljišta sa geološkog odnosno hidrogeološkog stanovišta, zatim cene materijala i cene stručnog kadra za postavljanje ovako specifičnih instalacija. Sa subjektivnog stanovišta potrošača, još uvek postoji nepoverljivost u ovakve sisteme kao alternativu standardnim uređaji-

ma. Međutim, za razliku od konvencionalnih sistema, GTP troše manje električne energije i do 50 %, a sama podzemna instalacija ima vek trajanja preko 50 godina. Radni fluid je voda i održavanje ovakve instalacije je svedeno na minimum. U suštini, jedino je potrebno održavanje filtera tako da su veliki troškovi samo prividni, a na duži period se ima i znatna ušteda. Na osnovu procenjenih vrednosti potrošene električne energije i troškova održavanja, period povraćaja uloženi sredstava se kreće od 2 do 10 godina. U tržišnim ekonomijama postoji konkurentnost snabdevača energijom, tako da često lokalne elektrodistribucije koje žele da privuku nove potrošače kreditiraju izgradnju GTP.

## 6. TRENDOVI RAZVOJA

U implementaciji sistema sa GTP ne postoje značajni tehnički problemi. Međutim, radi veće dostupnosti instalacija sa GTP očekuje se razvoj u nekoliko pravaca. Pre svega se očekuju nova rešenja bušenja za vlasnike manjih objekata. Ona bi trebalo da obezbede manje početne troškove, čije se opadanje očekuje i sa povećanjem obima ugradnje ovakvih uređaja. Takođe se pojavljuju novi materijali od kojih se prave izmenjivači toplote koji imaju bolju toplotnu provodnost. Isti ciljevi važe i za materijale sa kojima se popunjava prostor u bušotini oko izmenjivača toplote, a ovakva poboljšanja povećavaju performanse same toplotne pumpe. Jedan od zadataka je i pronalaženje boljih modela za vertikalne sisteme. Takođe su u toku istraživanja koja pokazuju međusobni uticaj blizine susednih bušotina na radnu efikasnost.

## 7. RASPROSTRANJENOST GTP

Danas su sistemi sa GTP rasprostranjeni po celom svetu (tabela 2). Lider po broju instaliranih jedinica je Amerika sa preko 300 000 komada. Za njom slede Švedska i Švajcarska. Za Švajcarsku se

Tabela 2.

Broj toplotnih pumpi u nekim zemljama Evrope [17]

| Zemlja            | Broj GTP jedinica | Primedba   |
|-------------------|-------------------|--|
| Austrija (1996)   | 13 000            | Godišnji porast je oko 1 600 komada                              |
| Nemačka (1995)    | 14 000 - 22 000   | 240 - 450 MW termalnog kapaciteta sa godišnjim porastom od 2 000 |
| Holandija (1997)  | 900               | Tržište je u začetku   |
| Švedska (1998)    | 55 000            | 330 MW termalnog kapaciteta                                      |
| Švajcarska (1998) | preko 20 000      | 300 MW termalnog kapaciteta sa godišnjim porastom od 15 %        |
| Ostale zemlje     | ??                | Francuska, Italija, UK,...                                       |
| Ukupno u Evropi   | 100 000 - 120 000 | Skoro 1,3 GW   |



može reći da je pravi pionir u ovoj tehnologiji. Oni ovaj sistem najčešće koriste za grejanje i prema odnosu broja stanovnika i instaliranih jedinica su apsolutno prvi u svetu. Dok u Švajcarskoj GTP najviše koriste fizička lica u svojim malim domaćinstvima, u Americi je podignut najveći broj velikih objekata sa GTP. U Evropi slede Austrija i Nemačka kao zemlje sa velikim godišnjim porastom novih GTP jedinica [17], [18]. Od zemalja u tranziciji svakako treba navesti Poljsku, koja je svoj prvi GTP sistem napravila 1993. godine za potrebe hotela „Ornak” u Zakopanima. Tada je implementirana horizontalna realizacija. Ubrzo zatim se razvija tržište i 1999. godine je instalirano novih jedinica ukupne termalne snage skoro 1,7 MW [19]. U zavisnosti od zemlje, godišnji porast GTP se kreće od 15 % - 40 % [20].

## 8. ZAKLJUČAK

*Danas su uveliko procenjene vrednosti raspoloživih energenata na Zemlji, a sadašnje tehnologije njihove eksploatacije su ograničene na sledećih 100-ak godina. Kako i pored poznavanja kapaciteta alternativnih energija još uvek nisu pronađena adekvatna rešenja eksploatacije koja bi dovela do većeg udela u trenutnoj proizvodnji električne energije, današnja Evropa, pa i ceo svet, ulažu velike napore u smeru racionalizacije potrošnje. Sistemi sa GTP ulaze u razdoblje zrelog razvoja. To potvrđuje i veliki godišnji porast instaliranih jedinica. Naša zemlja bi trebalo da iskoristi bogato iskustvo ovih zemalja i naših građevinaca i da stimuliše u praksi korišćenje trenutnog statusa savremenih tehnologija, umesto da dozvoljava energetske loša rešenja. U ovom smislu se treba rukovoditi američkim primerom, gde je njihovo Ministarstvo za energetiku u saradnji sa Agencijom za zaštitu sredine, Institutom za elektroenergetska istraživanja i drugim institucijama formiralo GTP Konzorcijum. On danas ima značajan udeo u promovisanju ove tehnologije u istraživanjima. U Evropi se predstavljanje GTP vrši na sličan način i inicijative kreću kako od Evropske unije, tako i od vlada svake zemlje ponaosob. Jedan od jednostavnih primera stimulacije su uslovljavanja i snižavanje kreditnih stopa. Na taj način se energetske efikasniji uređaji mogu kupiti povoljnijim kreditom. Za nas je značajno i to što naša klimatska zona pruža veće mogućnosti od teritorija severnih zemalja, jer su dubine stabilizacije temperature znatno manje.*

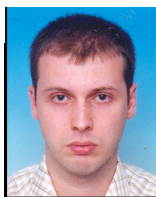
*Najjednostavniji način da se ova tehnologija približi običnim potrošačima je rasprava stručnih krugova i prezentacija GTP njihovim instaliranjem kako u državne tako i u obrazovne i komercijalne objekte kao što su škole, domovi zdravlja, hoteli i sl.*

## 9. LITERATURA

- [1] Rajaković Nikola: ANALIZA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA I, ETF, Beograd 2002
- [2] Maljić Dragomir: TERMODINAMIKA II, Građevinska knjiga
- [3] Dorđević Branislav: HIDROENERGETSKO KORIŠĆENJE VODA, GF, Beograd 2001
- [4] Andersson O., 1998, HEAT PUMP SUPPORTED ATES APPLICATIONS IN SWEDEN, Newsletter IEA Heat Pump Centre, 16/2: 19-20
- [5] Eugster W. J., Rybach L., 1997, BOREHOLE HEAT EXCHANGERS TO TAP SHALLOW GEOTHERMAL RESOURCES: THE SWISS SUCCESS STORY, Proc. 19th NZ Geothermal Workshop, pp. 63-69
- [6] Bournia J., Koppenol A., 1984, INVESTIGATION INTO A COMPLETE GROUND-TO-WATER HEAT PUMP SYSTEM IN A SINGLE-FAMILY DWELLING FOCUSING ON THE APPLICATION OF A VERTICAL SUBSOIL HEAT EXCHANGERS, Newsletter IEA Heat Pump Centre, 2/4, pp. 9-15
- [7] Rybach L., Hopkirk R., 1995, SHALLOW AND DEEP BOREHOLE HEAT EXCHANGERS- ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS, Proc. World Geothermal Congress, pp.2133-2139
- [8] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, SPACE CONDITIONING: The Next Frontier, report 430-R-93-004, April 1993
- [9] Claesson J., Eskilson P., 1988, THERMAL ANALYSIS AND DIMENSIONING RULES, Energy 13/6, pp.509-527
- [10] Hellstrom G., Sanner B., Klugescheid M., Gonka T., Martensson S., 1997, EXPERIENCES WITH THE BOREHOLE HEAT EXCHANGER SOFTWARE EED, Proc. 7th International Conference on Energy Storage JIGASTOCK 88, pp. 367-371
- [11] Eskilson P., Claesson J., 1998, SIMULATION MODEL FOR THERMALLY INTERACTING HEAT EXTRACTION BOREHOLES, Numerical Heat Transfer 13, pp. 149-165
- [12] Sanner B., Klugescheid M., Knoblich K., 1996, NUMERICAL MODELING OF CONDUCTIVE AND CONVECTIVE HEAT TRANSPORT IN THE GROUND FOR UTES, with Example, Proc. Eurotherm Seminar 49, Eindhoven, pp. 137-146
- [13] THE EVALUATION OF A 4000-HOME GEOTHERMAL HEAT PUMP RETROFIT AT FORT POLK, Louisiana: Final Report, 1996
- [14] NEDO, 1999, FEASIBILITY STUDY ON UTILIZATION OF GEOTHERMAL HEAT PUMP SYSTEM FOR SPACE HEATING/COOLING, Warm-Water Supply and Road Heating in Japan, pp. 133

- [15] O'Connel S., Cassidy S.F., 2003, RECENT LARGE SCALE GROUND-SOURCE HEAT PUMP INSTALLATIONS IN IRELAND, International Geothermal Conference, Reykjavik, pp. 12-19
- [16] Breembroek G., 1998, THE ROLE OF HEAT PUMPS IN A DEREGULATED ENERGY MARKET, Newsletter IEA Heat Pump Centre, 16/3, pp. 26-27
- [17] Sanner B., 1999, PROSPECTS FOR GROUND-SOURCE HEAT PUMPS IN EUROPE, Newsletter IEA Heat Pump Centre, 17/1, pp. 19-20
- [18] Van De Ven H., 1999, STATUS AND TRENDS OF THE EUROPEAN HEAT PUMP MARKET, Newsletter IEA Heat Pump Centre, 17/1, pp. 10-12
- [19] Chwieduk D., 1999, POTENTIAL AND STATE OF UTILIZATION OF GROUND-SOURCE HEAT PUMPS IN POLAND, Proc. OPET-Seminar Erdgekoppelte Wärmepumpen, BTU Cottbus, pp. 9
- [20] Breembroek G., Lazaro F., 1998, INTERNATIONAL HEAT PUMP STATUS AND POLICY REVIEW.PART 1- ANALYSIS, Analysis Report No. HCP-AR7, IEA Heat Pump Centre, Sittard/NL

Rad je primljen u uredništvo 30. 07. 2004. godine



**Dimitrije P. Nikolajević**, ing. el. je rođen 1977. godine u Beogradu i apsolvant je Elektrotehničkog fakulteta, Univerzitet u Beogradu. Oblasti interesovanja su mu obnovljivi izvori energije, prenos toplote, mikroprocesorsko upravljanje i regulacija u elektroenergetici, programabilni logički kontroleri i PC u industrijskim procesima. Trenutno je član fakultetskog tima koji radi na konkursnom projektu IEEE za razvoj minijaturizovanog pogonskog pretvarača male snage namenjenog HVAC sistemima i kućnim aplikacijama.

---

Saša D. Milić,  
Dragan S. Kovačević, Stanko M. Đorđević i Milesa Ž. Srećković

# Sistem za praćenje temperature osovinskih ležajeva teretnih kola u pokretu

Stručni rad  
UDK: 621.822

---

## Rezime:

U radu je prikazan sistem za beskontaktno i besprekidno praćenje temperature osovinskih ležajeva teretnih kola i služi za blagovremeno otkrivanje i alarmiranje neispravnosti ležajeva (usled povišene temperature) osovinskih sklopova, koji mogu dovesti do havarije u toku kretanja voza. Konceptcija mernog sistema se bazira na beskontaktnom merenju apsolutne temperature poklopca osovinskih ležajeva teretnih kola u pokretu u realnim uslovima eksploatacije. Temperatura poklopca ležajeva se meri beskontaktno infra-crvenim detektorom koji se nalazi u okviru mernog mesta pored pruge. Sistem je instaliran na tri prostorno udaljene lokacije koje međusobno, automatski, razmenjuju podatke radio vezom i RS232/485 protokolom. Kompletan merni sistem je rezultat domaćeg razvoja i realizovan je u Institutu „Nikola Tesla” i predstavlja sintezu znanja iz više naučnih oblasti: merne tehnike, elektronike, optike, zračenja, telekomunikacija, automatike, računarske tehnike i mašinstva. Prvi primerak ovog uređaja je već instaliran i pušten u eksploataciju na pruzi u Obrenovcu (na istovarnom mestu termoelektrane „Nikola Tesla” A). Sistem je primenljiv u srpskoj železnici.

**Cljučne reči:** temperatura, osovinski ležaj, železnica

---

## Abstract:

### SYSTEM FOR MONITORING OVERHEATING IN AXLE-BOX OF TRAINS

This paper presents system for contiguity remote sensing temperature and detecting an axle hot box train wheel bearing. Measurement is based on contiguity remote infra-red sensing of train axle hot box. The main measurement device is based on infra-red detector installed on both sides near rails. Whole system is installed on three locations which are mutually at 500 meters distance. Parts of the system communicate by remote messages processing by radio modems and RS232/485 protocol. This system has a key role in preventive maintenance and avoids damaging of axle wheel bearing in railway. All components of system were made by Electrical Institute „Nikola Tesla”, Belgrade. This system is applied in Serbian railway.

**Key words:** temperature, bearing, hot box, railway

---

Mr Saša D. Milić, dr Dragan S. Kovačević – Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a  
Stanko M. Đorđević, dipl. ing. maš. – „EPS” JP „Nikola Tesla”, Železnički transport,  
11 500 Obrenovac, Bogoljuba Uroševića Crnog b.b.  
Prof. Milesa Ž. Srećković – Elektrotehnički fakultet 11 000 Beograd, Bulevar Kralja Aleksandra 73

## 1. UVOD

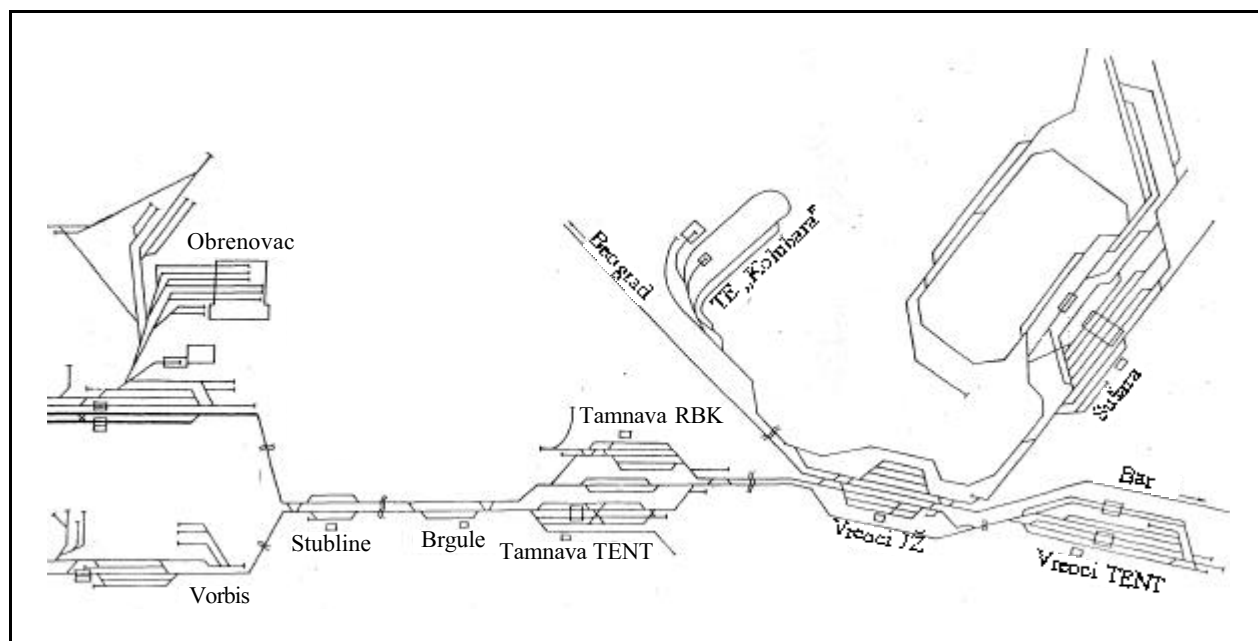
Potreba za proizvodnjom električne energije je svakim danom sve veća. Dovoljno je posmatrati samo dva parametra: porast životnog standarda i porast industrijalizacije, pa zaključiti da je pouzdanost proizvodnje električne energije jedna od najbitnijih kategorija. Termoelektrane koje rade na uglj su direktno zavisne, pored ostalih parametara proizvodnje, i od samog transporta uglja prema njima najčešće železnicom. Svaki vanredni događaj u železničkom transportu bi prekinuo dotok uglja u termoelekttranu, a samim tim bi bila ugrožena i proizvodnja električne energije. Iz prethodno navedenog proizilazi da povećanje pouzdanosti transporta uglja prema termoelekttranama povećava i pouzdanost proizvodnje električne energije u njima.

Rad se bavi problematikom daljinske kontrole i beskontaktnog merenja temperature osovinskih ležajeva teretnih kola u pokretu. U radu su dati: struktura mernog sistema, princip rada, prikaz funkcionalnih sklopova i verifikovani rezultati sistema u realnoj eksploataciji na pruzi. Merenje temperature osovinskih ležajeva je veoma važan parametar na osnovu koga se procenjuje stanje samog ležaja. Posebna prednost ove beskontaktno metode i daljinskog nadzora je i u tome da se sve odvija u realnom vremenu i bez prekidanja procesa proizvodnje odnosno transporta. Potreba za ovakvim nadzorom i merenjem je višestruka. Sa ekonomskog aspekta, na ovaj način se produžava vek eksploatacije ležajeva osovinskih sklopova i

omogućuje postepena zamena prvo onih ležajeva koji se u tekućoj eksploataciji zagrevaju iznad očekivane temperature i nije neophodno vršiti zamenu odjednom svih ležajeva čiji je garantovani vek eksploatacije prošao. U širem smislu posmatrano, ovaj sistem smanjuje verovatnoću havarije na teretnim kolima koja je prouzrokovana pregrijanošću osovinskog ležaja.

## 2. TEHNIČKI ASPEKT PROCESA TRANSPORTA UGLJA U TE „NIKOLA TESLA”

Za prevoz opreme, potrebne za izgradnju bloka 1 i 2 TE „Nikola Tesla” u Obrenovcu, izgrađena je pruga od stanice Vreoci JŽ - Vreoci TENT - TENT-A godine 1968. (slika 1). Sa puštanjem u pogon bloka A1 otpočeo je i prevoz uglja. Investicionom dokumentacijom su bila predviđena teretna kola za prevoz uglja. Ista su bila proizvedena po francuskoj licenci u fabrici vagona u Kraljevu. Sa izgradnjom sledećih blokova povećavao se vozni park (broj lokomotiva i teretnih kola) kao i količine prevezenog uglja. Završetkom bloka B2 otpočeo je period godišnjeg prevoza uglja u količini od preko 20 000 000 tona. Do tog vremena prva serija teretnih kola već je bila u saobraćaju 15 godina. Od tog trenutka pa do današnjih dana, prosečan broj pređenih kilometara teretnih kola je oko 100 000 km/god. Imajući u vidu da je, prema podacima proizvođača kotrljajućih ležajeva, garantovani vek pređenih kilometara 2 000 000 (prema



Slika 1. Kolosečna situacija pruga TENT-a sa delom Jugoslovenske železnice i Rudarskog basena Kolubara

najnovijim podacima je 600 000 km), a stvarno stanje pređenih kilometara većine teretnih kola je iznad deklarirane vrednosti, to se nameće potreba za povremenim, a po mogućstvu i stalnim merenjem temperature ležajeva kao jednog od bitnih pokazatelja istrošenosti ležajeva.

Kod remonta teretnih kola, a to je period od 4 godine, vrši se rasklapanje, pranje i pregled ležajeva. Ukoliko je stanje ležaja dobro, on se vraća na ugradnju i do sledećeg remonta na njemu se ne vrši nikakva kontrola i pregled. Stoga je svrsishodna indirektna stalna kontrola i nadzor nad ležajevima u vidu praćenja njihovih zagrejanosti. Praćenje temperature je jedan od bitnih pokazatelja stanja ležaja. S druge strane, vek ležaja može biti pouzdano produžen i znatno iznad vrednosti propisanih od strane proizvođača. Ovim se postižu višestruki pozitivni i ekonomsko-opravnani efekti:

- Smanjenje troškova kod zamene još uvek upotrebljivih ležajeva.
- Smanjenje imobilizacije teretnih kola.
- Povećanje pouzdanosti pri obaveznom pregledu kola.
- Povećanje pouzdanosti samog transporta usled smanjenja rizika od havarija.

Parametri koji ilustruju potrebu za daljinskim nadzorom stanja ležajeva se dobijaju iz same potrošnje uglja za potrebe proizvodnje električne energije (slika 2).

Jedan od ovih sistema za praćenje pregrejanosti osovinskih ležajeva teretnih kola u pokretu je već

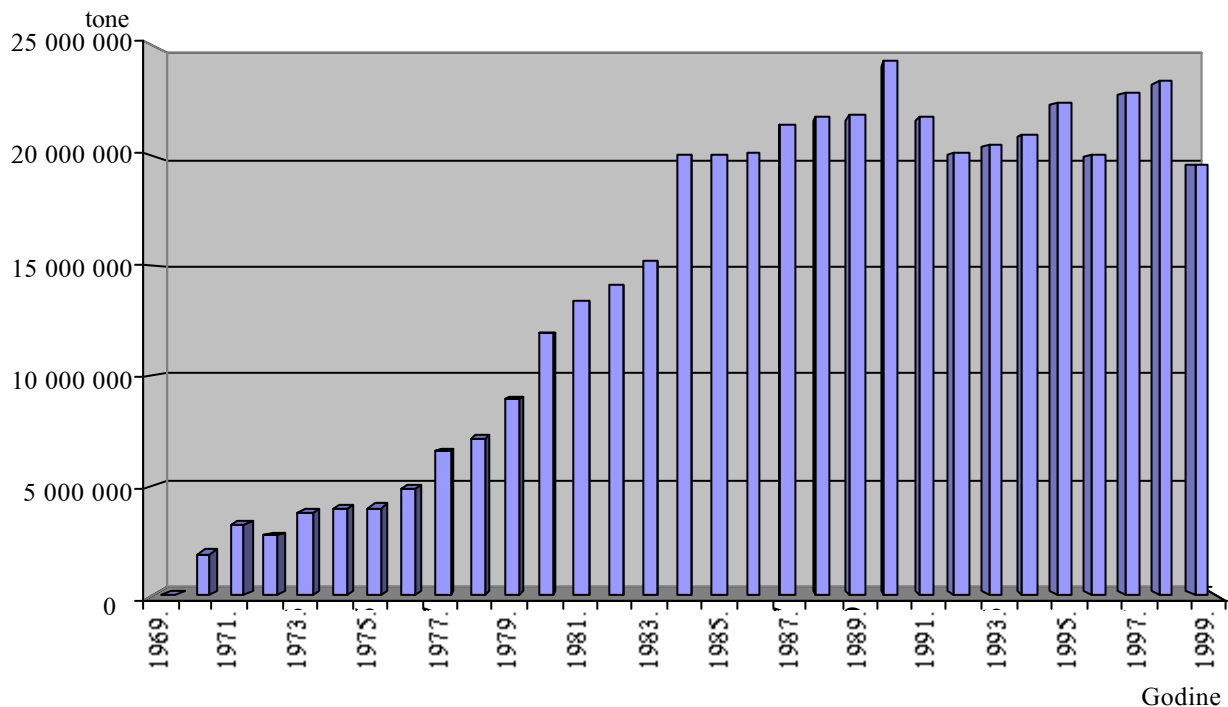
ugrađen na TENT-A i pušten u eksploataciju. Drugi sistem je u proizvodnji i pripremi za ugradnju na TENT-B. Predviđena je instalacija 4 ovakva sistema: dva utovarna mesta i dva istovarna mesta (po jedan sistem na svakom od njih). Ovakav prostorni raspored budućih instaliranih navedenih sistema za merenje temperature je odgovarajući, ako se uzme u obzir da je dužina pruge 36 km i da svaka kompozicija napravi do 4 obrta dnevno (ulaz i izlaz iz istovarne stanice), što predstavlja dovoljno merenja, sa gledišta blagovremene intervencije, čak i nepovoljnom slučaju kada je već započeo havarijski proces ležaja.

Imajući u vidu svetske trendove racionalizacije broja izvršilaca, povećanje pouzdanosti (pogotovo iz ugla manjih brzina transporta i kraćih deonica), ovaj sistem takođe unosi značajne prednosti i poboljšanja, kako u transportu uglja, tako i u sam proces proizvodnje električne energije.

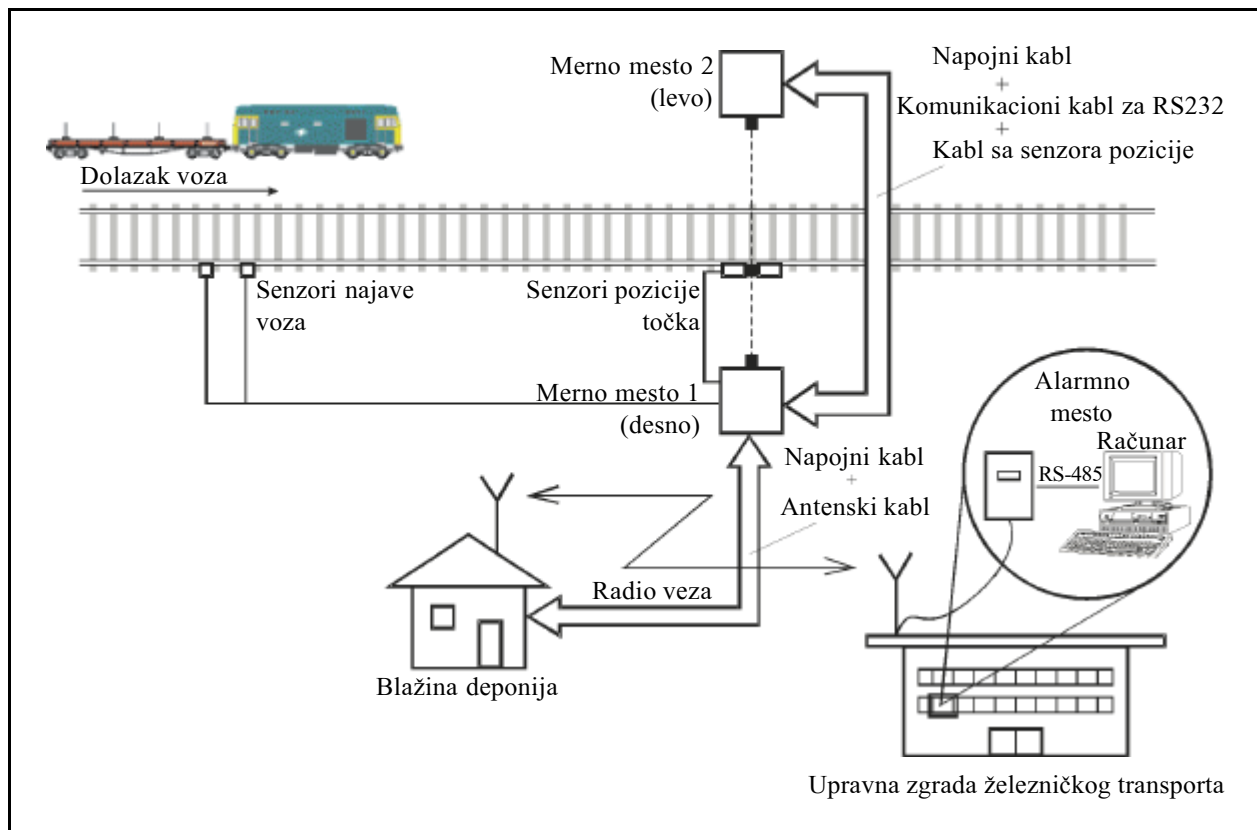
### 3. MERNI SISTEM - MEROS

Sistem *MEROS* služi za blagovremeno otkrivanje i alarmiranje neispravnosti ležajeva kao delova osovinskih sklopova teretnih kola, koji mogu dovesti do havarije u toku kretanja (pojava pregrevanja ležajeva najčešće ukazuje na oštećenje ležaja, a posledica toga je moguća neželjena havarija u toku kretanja voza).

Koncepcija mernog sistema se bazira na beskontaktnom merenju apsolutne temperature ležajeva te



Slika 2. Prevoz uglja po godinama



Slika 3. Prostorni raspored mernog sistema

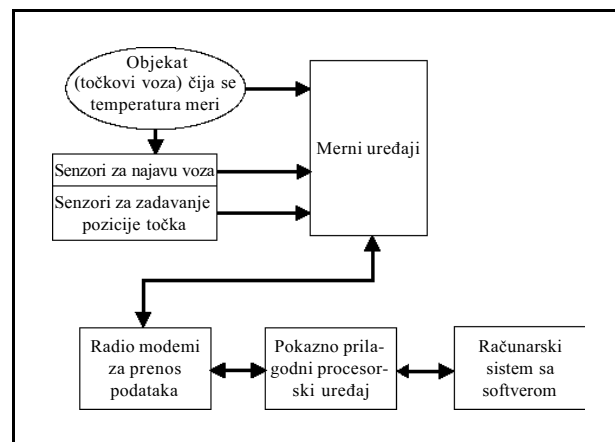
retnih kola u pokretu (3 km/h do 40 km/h) u uslovima velike promjene ambijentne temperature ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), velikih elektromagnetskih smetnji (elektrovozna lokomotiva sa napojnom mrežom od 25 kV), vibracija, prašine pored pruge i vremenskih uslova (sunce, kiša, sneg). Temperatura ležišta se mери beskontaktno infracrvenim (IC) detektorom koji se nalazi u okviru mernog mesta pored pruge. Sistem za detekciju temperature ležišta mora da obezbedi pouzdano merenje apsolutne temperature ležišta u opsegu od  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  sa tačnošću merenja  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jedan od osnovnih zahteva je da ceo sistem može da radi besprekidno i autonomno tj. bez opslužioca. Sistem je postavljen na tri prostorno različite lokacije (slika 3).

Pored same pruge, na ulazu u stanicu Obrenovac postavljeni su merni optičko-elektronski uređaji za merenje temperature i potrebni senzori za kontrolu ukupnog mernog procesa. Na istovarnoj stanici kod *otpravnikova vozova* se nalazi alarmni uređaj koji ima funkciju da prikaže temperature svih ležajeva tekućeg voza i da alarmira povišenu temperaturu nekog ležaja (od zadate granične temperature), ukoliko se takav slučaj pojavi.

Kompletno praćenje procesa merenja, beleženje svih rezultata merenja i kvitiranje eventualnog alar-

ma na alarmnom mestu se prati preko računara koji je prostorno lociran u zgradi CDU (centar daljinskog upravljanja).

Na slici 4 je data osnovna blok-šema celog mernog sistema. Merni uređaj je deo celog mernog sistema koji je instaliran pored same pruge na mernom mestu (slika 3) na kome se vrši samo merenje i predstavlja složenu sintezu optičkih, mehaničkih, elektronsko-mernih, senzorskih, procesorskih i telekomunikacionih sklopova.



Slika 4. Osnovna blok šema celog sistema

Opis blok-šeme (slika 4):

**Objekat** merenja predstavljaju poklopci kućišta osovinskih ležajeva teretnih kola čija se temperatura meri.

**Merni uređaji** se postavljaju na mernom mestu sa obe strane pruge i služe za merenje, izračunavanje, evidentiranje i slanje svih potrebnih podataka.

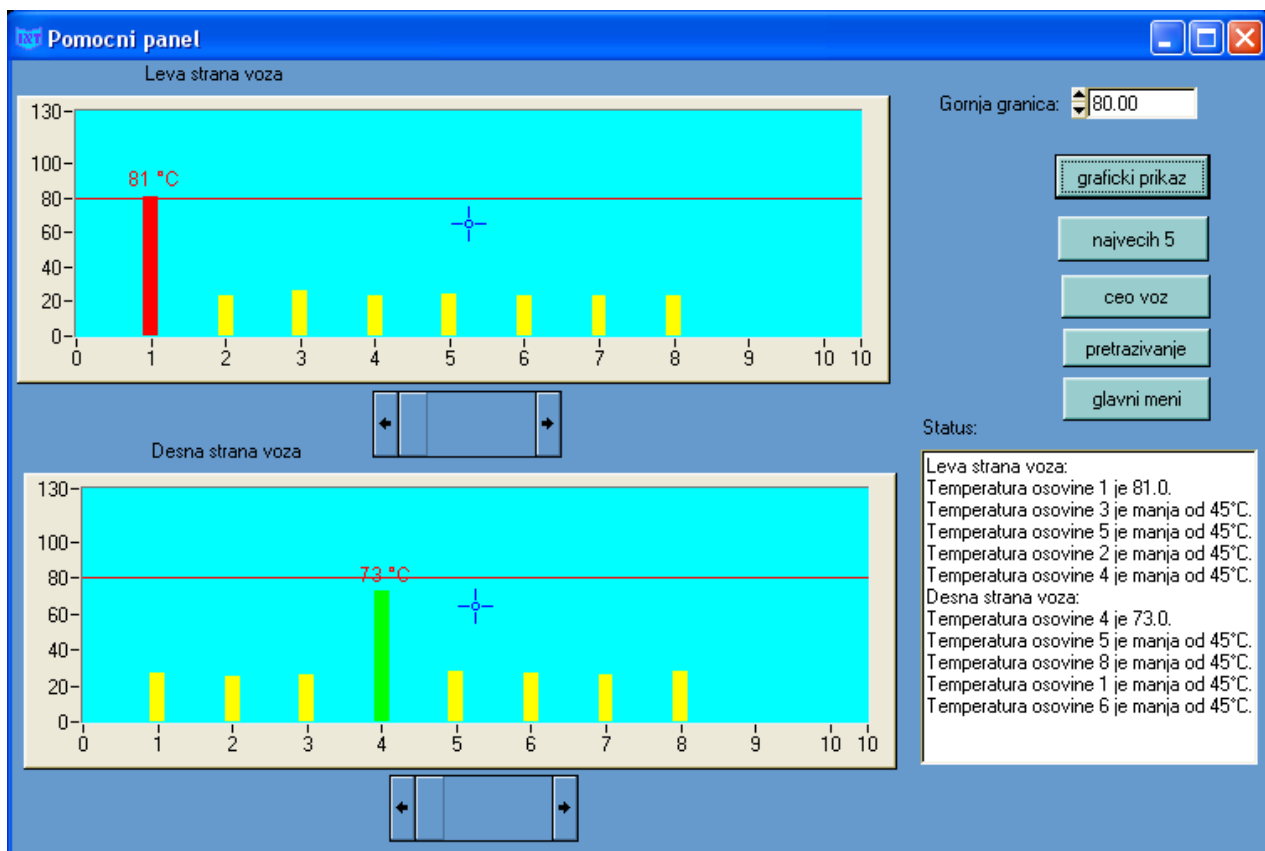
**Senzori za najavu voza** se postavljaju na rastojanju od 100 m od mernog mesta i služe za najavu i odjavu voza (da bi merni sistem imao dovoljno vremena da se pripremi za merenje - bar 5 sekundi i više) i u cilju detekcije pravca kretanja voza (da li voz ulazi ili izlazi iz stanice).

**Senzori za zadavanje pozicije točka (Siemens - RSE45)** su magnetskog tipa povezani u jednu mehaničku celinu. Služe da definišu poziciju točka u prostornoj zoni merenja ispred objektiva na mernom mestu. Oni služe za formiranje digitalnog signala, tzv. mernog prozora, čije trajanje se poklapa sa vremenom prolaska poklopca kućišta osovinskog ležaja kroz vidno polje objektiva. Navedeni digitalni signal definiše vreme u kome se vrši merenje temperature, odnosno vreme u kome se dobijeni merni signal sa infracrvenog senzora uzima kao željena mera temperature.

**Radio - modemi (Radio data)** se postavljaju i na mernom i na kontrolno-alarmnom mestu i služe za bežični prenos podataka sa mernog na alarmno mesto i obrnuto.

**Kontrolno-alarmni procesorski uređaj** se nalazi na alarmno-kontrolnom mestu i služi za prihvatanje podataka o temperaturama tekućeg voza, njihovu obradu u cilju aktiviranja alarma (zvučnih i svetlosnih) i dalje prosleđivanje na računar. U toku prolaska voza preko mernog mesta vrši se merenje temperatura ležajeva osovinskih sklopova teretnih kola. Neposredno po prolasku voza izmerene vrednosti se obrađuju i šalju radio vezom (preko radio modema). Po prijemu podataka, na alarmno-kontrolnom mestu se vrši provera pregrejanosti osovina, a zatim se serijskom vezom po RS485 protokolu podaci šalju na personalni računar. Ovaj uređaj ima mogućnost alarmiranja ukoliko postoji pregrejan ležaj osovinskog sklopa. Alarmno-kontrolno mesto se sastoji od displeja, tastature, mikroprocesorske kartice sa komunikacionim multiplekserom, radio modema, signalizacionih Led dioda, sirene i sklopa za napajanje. Ukratko rečeno alarmno-kontrolno mesto ima sledeće funkcije:

1. prijem podataka sa mernog mesta,
2. slanje podataka personalnom računaru,



Slika 5. Izgled korisničke maske na računaru

3. zvučni i svetlosni alarm ukoliko postoji pregrejan ležaj,
4. prikaz na displeju temperatura svih ležajeva osovinskih sklopova,
5. prikaz na displeju temperatura pregrejanih ležajeva i
6. podešavanje granične vrednosti temperature.

**Računarski sistem sa softverom** služi za prikaz i arhiviranje rezultata merenja i sa alarmno-kontrolnim mestom je povezan žičnom vezom (RS485/232). Računarski program nosi naziv „MERENJE TEMPERATURA” i osnovna funkcija mu je prikazivanje temperatura osovinskih ležajeva teretnih kola na grafiku u obliku pravougaonih impulsa (slika 5) i skladištenje podataka u fajlove odgovarajućeg formata. Podaci o temperaturama stižu serijskom vezom od mikrokontrolera sa alarmnog mesta do PC računara. Osim funkcije unosa podataka, program „MERENJE TEMPERATURA” ima i funkciju da na osnovu uskladištenih podataka omogućujući prikazivanje ranijih merenja u grafičkom i u tekstualnom obliku. Program je realizovan po principu *virtualnih instrumenata*, a kao alat za programiranje korišćen je programski paket *LabView-CVI6.0* [1], [2]. Kreiranje korisničkih maski je urađeno tako da korisnik može vizuelno (grafički) da prati tekući proces merenja (slika 5).

#### 4. USVOJENA METODOLOGIJA MERENJA TEMPERATURE

Usvojeni princip merenja temperature je podrazumevao da se merenje vrši besprekidno, beskontaktno i u realnim uslovima. Takođe je bitno dobro definisati mernu metu, jer je cilj meriti samo temperaturu poklopca ležaja, što se može aproksimativno predstaviti kao merenje temperature kružnog diska prečnika od oko 20 cm koji se translatorno kreće, dok se oko njega vrti točak teretnih kola (točak teretnih kola poseduje i translatorno i rotaciono kretanje).

Samo merenje temperature ležajeva osovinskog sklopa teretnih kola u pokretu se vrši pomoću dva identična merna uređaja koji sa nalaze u osi (to je optička osa koja se poklapa sa osom osovine točkova teretnih kola), po jedan sa obe strane pruge na mernim mestima 1 i 2 (slika 3). Uređaji su konstruisani tako da mere apsolutnu temperaturu poklopca osovinskog ležaja u opsegu od 40 °C do 125 °C. Sami merni uređaji su složene konstrukcije i principijelno se sastoje iz sledećih podsklopova:

1. Optički podsklop sa mehaničkim modulatorom,
2. Infracrveni senzor sa elektronskim sklopom za pojačanje i prilagođenje signala,

3. Merni mikroprocesorski sklopovi služe za obradu (digitalizovanje), proračunavanje i memorisanje elektronskog signala,
4. Komunikacioni mikroprocesorski sklop služi: za upravljanje i nadzor kompletnog procesa merenja generisanjem komandnih signala za merne mikroprocesorske sklopove, za obradu signala sa pomoćnih (najavnih) senzora sa pruge i za upravljanje telekomunikacionim uređajem (radio-modemom),
5. Elektronski sklop sa temperaturnim sensorima, ventilatorima i grejačima za upravljanje temperaturnog etalona (održavanje stalne temperature crnog tela) i održavanje stalne temperature u kućištu mernog uređaja,
6. Elektromehaničke klapne koje pokrivaju optičke sklopove u periodima kada se ne vrši merenje (njihovo podizanje aktiviraju senzori za najavu voza) i
7. Magnetski senzori za najavu voza (startovanje merenja) i definisanje pozicije točka teretnih kola u kretanju (formiranje mernog prozora).

Posle završenog merenja koje se praktično obavi u mernim uređajima, vrednosti temperatura se *pakuju u pogodan format* i šalju radio vezom preko radio modema na alarmno mesto. Na alarmnom mestu se ove vrednosti prikazuju na LCD displeju i eventualno se uključuje zvučni i svetlosni alarm, ukoliko je bar jedna vrednost temperature veća od granične. Vrednost granične temperature zadaje korisnik. Sa alarmnog mesta se žičnom vezom (RS485) podaci prosleđuju na udaljeni računar. Na samom računaru se vizuelno prate sva merenja (slika 5), arhiviraju sve izmerene vrednosti temperature i prate aktivnosti korisnika na alarmnom mestu (beleži se svako *kvitiranje* alarma).

Merni algoritam je koncipiran tako da se u okviru mernog prozora (digitalnog signala čije je trajanje proporcionalno trajanju prolaska poklopca ležaja u vidnom polju objektivu) merni signal podeli na manje vremenske intervale, u kojima se deo signala usrednjava, a zatim se kao izmerena temperatura uzima maksimalna vrednost dobijena u nekom od tih posebnih intervala. U kreiranju mernog algoritma se pošlo od potrebe evidentiranja najtoplije tačke na samom poklopcu osovinskog ležaja. Ovaj način merenja apsolutne temperature ležaja (ili crnog tela u početku dok se ne podigne klapna) je potvrđen na osnovu mnogobrojnih eksperimenata i u laboratorijskim uslovima i u realnim uslovima na terenu (na pruži), a izabran je da bi pre svega rešio nehomogenu raspodelu temperature na samom poklopcu glavčine osovinskog ležaja. Uzroci nehomogene raspodele temperature po površini poklopca su različiti, a najčešći su:



1. Nedostatak mazivnih materijala u kućištu ležaja sa unutrašnje strane poklopca,
2. Nehomogena struktura materijala od koje je sačinjen poklopac,
3. Nejednaka zaprljanost spoljašnje strane poklopca, a samim tim i različit koeficijent emisivnosti u infracrvenom spektru i
4. Nejednako hlađenje u toku kretanja voza.

## 5. REZULTATI MERENJA

### 5.1. Rezultati merenja prilikom puštanja u rad sistema *MEROS*

Po instaliranju i puštanju u rad kompletnog mernog sistema *MEROS* bilo je potrebno izvršiti finalna ispitivanja u realnim uslovima eksploatacije i

pri različitim brzinama voza. Rezultati merenja su dati u tabeli 1. Merenje je vršeno u realnim uslovima sa jednim teretnim kolima (od 4 osovine) i jednom lokomotivom. Sa svake strane teretnih kola je bila postavljena po jedna grejna ploča sa temperaturnim regulatorom. Pozicioniranje grejnih tela je bilo na samim poklopcima osovinskih ležajeva, čime se postigla apsolutno verna simulacija pojedinih pregrejanih ležajeva u toku ispitivanja. Kao sekundarni etaloni za proveru temperatura grejnih ploča korišćeni su ručni IC merač *Meterman IR610* (opseg je od -20 °C do +260 °C; vidno polje je 100 mm na rastojanju od 1 m odnosno 10:1) i termovizijska kamera. Spoljna temperatura u toku merenja je bila (1-4) °C uz prisustvo jakog vetra i sa čestim sunčanim intervalima.

Tabela 1.

Rezultati merenja sa grejnim pločama

| Redni broj merenja | Brzina voza (km/h) | Temperatura grejne ploče na desnoj strani voza (°C) |       |                                 | Temperatura grejne ploče na levoj strani voza (°C) |        |                                 |
|--------------------|--------------------|---|-------|---------------------------------|--|--------|---------------------------------|
|                    |                    | Temperatura sa etalona                              |       | Temperatura sa <i>MEROSA</i>    | Temperatura sa etalona                             |        | Temperatura sa <i>MEROSA</i>    |
| 1.                 | 10                 | IC pre  | 39    | 43                              | IC pre   | 39     | 47                              |
|                    |                    | IC posle  | 38    |                                 | IC posle   | 43     |                                 |
| 2.                 | 10                 | IC pre  | 36    | 38                              | IC pre   | 41     | 47                              |
|                    |                    | IC posle  | 36    |                                 | IC posle   | 43     |                                 |
| 3.                 | 30                 | IC pre  | 40    | 43                              | IC pre   | 43     | 45                              |
|                    |                    | IC posle  | 42    |                                 | IC posle   | 43     |                                 |
| 4.                 | 30                 | IC pre  | 36    | 40                              | IC pre   | 43     | 48                              |
|                    |                    | IC posle  | 36    |                                 | IC posle   | 41     |                                 |
| 5.                 | 10                 | IC  | 40    | 43                              | IC   | 40     | 48                              |
| 6.                 | 10                 | IC  | 49    | 43                              | IC   | 47     | 50                              |
| 7.                 | 10                 | IC  | 51    | 58                              | IC   | 48     | 56                              |
| 8.                 | 30                 | IC  | 52    | 51                              | IC   | 48     | 53                              |
| 9.                 | 30                 | IC  | 54    | 55                              | IC   | 47     | 55                              |
| 10.                | 10                 | IC  | 61    | <i>kod 4 usled lošeg reseta</i> | IC   | 57     | <i>kod 4 usled lošeg reseta</i> |
| 11.                | 10                 | IC  | 64    | 61                              | IC   | 60     | 60                              |
| 12.                | 30                 | IC  | 60    | 62                              | IC   | 59     | 61                              |
| 13.                | 10                 | IC  | 70    | 59                              | IC   | 70     | 67                              |
| 14.                | 10                 | IC  | 68    | 69                              | IC   | 68     | 71                              |
| 15.                | 30                 | IC  | 68    | 71                              | IC   | 68     | 69                              |
| 16.                | 30                 | IC  | 70    | 71                              | IC   | 67     | 68                              |
| 17.                | 10                 | IC  | 80    | 69                              | IC   | 79     | 77                              |
| 18.                | 10                 | IC  | 74    | 79                              | IC   | 76     | 80                              |
| 19.                | 30                 | IC  | 82    | 65                              | IC   | 79     | 78                              |
| 20.                | 30                 | IC  | 75    | 81                              | IC   | 77     | 82                              |
| 21.                | 10                 | Kamera  | 85    | 83                              | Kamera   | 85     | 93                              |
| 22.                | 30                 | Kamera  | 82-88 | 94                              | Kamera   | 78-90  | 93                              |
| 23.                | 10                 | Kamera  | 82-88 | 89                              | Kamera   | 78-90  | 90                              |
| 24.                | 30                 | Kamera  | 76-92 | 87                              | Kamera   | 78-90  | 90                              |
| 25.                | 10                 | Kamera  | 83-98 | 96                              | Kamera   | 90-97  | 100                             |
| 26.                | 30                 | Kamera  | 87-97 | 94                              | Kamera   | 93-100 | 97                              |

## 5.2. Analiza rezultata merenja sa zaključkom

S obzirom na to da su korišćena dva odvojena merača temperature (kao sekundarni etaloni) za poređenje dobijenih rezultata i na uslove u kojima je merenje vršeno, potrebno je analizirati dobijene rezultate navedene u tabeli 1.

Kao grejno telo korišćene su ringle sa regulatorima temperature u deklarisanom mernom opsegu i dimenzije koje se poklapaju sa dimenzijama poklopca osovinskih ležajeva. Pre merenja u realnim uslovima, u laboratoriji je potvrđena nehomogena raspodela temperature navedenih grejnih tela. Ova anomalija je odgovarala, jer se pomoću nje vrši i testiranje samog mernog algoritma koji je koncipiran da traži *vruću tačku*, a ne srednju vrednost temperature.

Korišćenje ručnog infracrvenog merača *Meterman IR610* kao sekundarnog etalona se nije pokazalo dobrim (pogledati rezultate iz tabele 1) iz dva razloga:

1. Ovaj merač temperature radi na principu usrednjavanja vrednosti temperature svog vidnog polja, tako da ne uzima u obzir nehomogenu raspodelu temperature grejnog tela.
2. Ovim meračem je bilo moguće izmeriti temperaturu grejnih tela tek po zaustavljanju lokomotive i teretnih kola (za to vreme se promene temperature grejnih tela).

Korišćenje ručnog merača je bilo korisno zbog lakog i brzog podešavanja grejnih tela u okvirne granice temperature pre merenja i polaska lokomotive sa teretnim kolima.

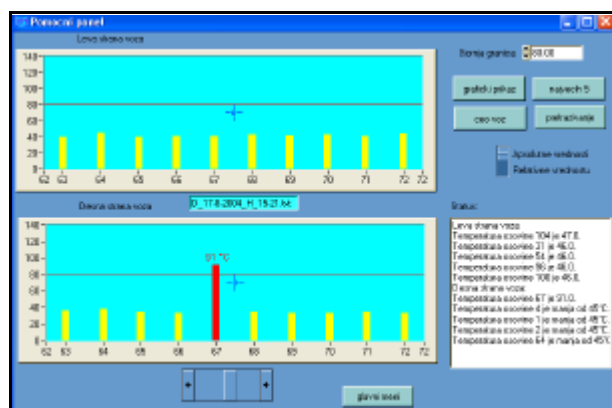
Korišćenjem termovizijske kamere se jasno videla očekivana nehomogena raspodela temperature po površini poklopca. Takođe se njome pratila temperatura grejnih tela u pokretu i na samom mernom mestu. Temperaturne razlike pojedinih tačaka na istom grejnom telu su se kretale i do 10 °C (tabela 1). Uvidom u rezultate (merenja od 21 do 26 iz navedene tabele 1) izvodi se zaključak da je ceo merni sistem dao odlične rezultate na finalnom ispitivanju u realnim uslovima na terenu.

Treba posebno naglasiti da ovaj sistem meri samo zagrejanost poklopca ležaja, a zagrejanost oboda točka, od kočnih papuča, eliminiše.

## 5.3. Rezultati dobijeni u realnoj eksploataciji sistema *MEROS*

U toku realne eksploatacije sistema prilikom dolaska voza na istovarnu stanicu dana 17. 08. 2004. godine, uspešno je detektovan neželjeni porast temperature ležaja. Granična vrednost temperature je postavljena na 80 °C. Merni sistem je prijavio tem-

peraturu od 91 °C (slika 6) i uključio alarm na alarmnom mestu. Sistem je registrovao i memorisao na računaru sve faze ovog događaja: vreme dolaska voza, ukupan broj osovina, sve apsolutne temperature ležajeva i sa leve i sa desne strane voza, trenutak automatskog uključivanja alarma, trenutak ručnog isključenja alarma (tzv. kvitiranja). Proverom na licu mesta, pregledač kola je potvrdio porast temperature datog ležaja i isključio data teretna kola iz daljeg saobraćaja. Naknadnim vizuelnim pregledom kućišta osovinskog ležaja, utvrdilo se da se ležaj grejao iznad radne temperature (na slici 7 se vidi crveno polje na spoljnoj strani kućišta ležaja). Po isključenju teretnih kola iz daljeg saobraćaja, skinut je kompletan osovinski sklop sa teretnih kola. Sa osovinskog sklopa su skinuta oba ležaja (unutrašnji i spoljašnji ležaj su prikazani na slici 8) sa desne strane. Utvrđeno je da je unutrašnji ležaj (levi ležaj sa slike 8) havarisan [8]. Pri skidanju ležajeva unutrašnji prsten unutrašnjeg ležaja je ostao na osovini, dok je unutrašnji prsten spoljašnjeg ležaja skinut zajedno sa ležajem. Havarijskim procesom se unutrašnji prsten unutrašnjeg ležaja ukopao u osovinu.



Slika 6. Prikaz detektovanog pregrejanog ležaja



Slika 7. Izgled kućišta pregrejanog ležaja



Slika 8. Skinuti ležajevi (levi ležaj je havarisan)

## 6. ZAKLJUČAK

U našoj zemlji, u Institutu „Nikola Tesla” iz Beograda, uspešno je razvijen i realizovan sistem za blagovremeno otkrivanje i alarmiranje neispravnosti ležajeva kao delova osovinskih sklopova teretnih kola, koji mogu dovesti do havarije u toku kretanja voza. Sistem je po konstrukciji kompleksniji i autonomniji od sličnih sistema koje nude veliki svetski proizvođači kao što su: Bombardier Transportation, Alstom, General Electric Transportation Systems i drugi. Kompleksnost sistema se ogleda u činjenici da su u njega ugrađena znanja iz više naučnih oblasti (električna merenja, optika, elektronika, IC zračenje, telekomunikacije, mikroprocesorska tehnika, računarski programski alati za izradu virtualnih instrumenata, magnetika i mehanika). Autonomnost sistema se ogleda u činjenici da se sistem, u svom radu ne oslanja na postojeću mernu, signalizacionu, kontrolnu ili bilo koju drugu opremu i infrastrukturu koja se koristi u železnici.

Na delu železnice koja se koristi za potrebe prevoza uglja TE „Nikola Tesla” u Obrenovcu, ovaj sistem je instaliran i pušten u eksploataciju. U planu je instalacija još tri ovakva sistema na istoj pruzi, da bi se pokrile sve utovarne i istovarne stanice. Međutim, primena ovog sistema je daleko šira, ukoliko se ima u vidu da najveći broj stanica na prugama Srbi-

je ima skretnice za ulaz u skretanje pri brzinama od 40 km/h, a brzina ulaska voza u stanicu sa zaustavljanjem takođe ne prelazi brzinu od 40 km/h, pa iz tog razloga ovaj merni sistem može biti veoma primenljiv za sva železnička vozila u stanicama gde pregledači kola vrše, između ostalog, i kontrolu zagrejanosti ležaja.

## 7. LITERATURA

- [1] LABVIEW, USER MANUAL, National Instruments Corporation, 20/1-20/10, January, 1996.
- [2] LABVIEW, ANALYSIS VI REFERENCE MANUAL, National Instruments Corporation, 9/2-9/22, January, 1996.
- [3] John G. Webster: MEASUREMENT, INSTRUMENTATION AND SENSORS, CRC Press & IEEE Press, 32/87-32/117, USA, 1999.
- [4] Emmanuel Rousseau: INFRARED SENSING IN HOT BOX DETECTORS, Railway Department, Compagnie de Signaux et d'Entreprises Electriques (C.S.E.E.) 17, Place Etienne Pernet, 75738 Paris Cedex 15, France
- [5] В. В. Аристов, Ф. И. Конжуков: СКАНИРУЮЩИЙ ПРИБОР ДЛ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИ ТЕМПЕРАТУРЬ, Измерительная техника, 1981, No 8, 47-49.
- [6] Dušan Milutinović, Milovan Babić: MOGUĆNOST REALIZACIJE DOMAĆEG RAZVOJA SISTEMA ZA DETEKCIJU NEISPRAVNOSTI OSOVINSKIH SKLOPOVA ŽELEZNIČKIH VOZILA U TOKU VOŽNJE, Železnice, broj 5-6, 229-238, godina LIII (1997).
- [7] Hamamatsu, INFRARED DETECTOR - PBSE PHOTOCONDUCTIVE DETECTOR (P791/P2038/P2680 SERIES, P3207-05), (www.hamamatsu.com), Hamamatsu City, Japan, Jun, 2001.
- [8] Zajednica jugoslovenskih železnica, UPUTSTVO ZA OPRAVKU OSOVINSKIH SKLOPOVA I OSOVINSKIH LEŽIŠTA ZA KOLA JŽ, SRBIJA, Beograd, 2000.
- [9] Industrija kugličnih ležajeva, UPUTSTVO ZA ODRŽAVANJE VALJKASTIH LEŽAJEVA, Srbija, Beograd, 1975.

Rad je primljen u uredništvo 22. 02. 2004. godine



**Saša D. Milić** je rođen 1967. godine u Beogradu. Na smeru energetske pretvarača sa energetskog oseka Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu diplomirao je 1993. godine i magistrirao 2000. godine. Po diplomiranju se zaposlio u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i danas radi. Bavi se merenjem niskofrekventnih i jednosmernih magnetskih polja i merenjem temperature za potrebe vojske, elektroprivrede i industrije. Učestvuje na više naučnih projekata ministarstva za nauku i tehnologiju sa zvanjem istraživača saradnika.



**Dragan S. Kovačević** je rođen u Užicu 1957. godine. Elektrotehnički fakultet u Beogradu završio je 1982. godine, gde je magistrirao 1989. godine, a doktorirao je 1999. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu. Sa naučnim zvanjem viši naučni saradnik, radi u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” na poslovima direktora Centra Elektromerenja. Bavi se preciznim merenjima električnih, neelektričnih i magnetskih veličina.



**Stanko M. Đorđević** je rođen 1944. godine u Vranju. Diplomirao je na mašinskom fakultetu u Beogradu 1967. godine. Radio 8 godina u građevinarstvu na poslovima nadzornog organa za grejanje i ventilaciju. U TE „Nikola Tesla” radi od 1976. godine i to najpre kao nadzorni organ za grejanje, ventilaciju i klimatizaciju na izgradnji blokova 3-6 na TENT-A. Od 1984. godine radi u Železničkom transportu JP TENT na poslovima održavanja železničkih voznih sredstava.



**Milesa Ž. Srećković** je rođena u Pančevu 13. 8. 1940. godine. Na Elektrotehnički fakultet (ETF) se upisala 1959. godine, i diplomirala na Odseku za Tehničku fiziku 4. 1. 1964. godine, magistrirala 1968. godine i doktorirala 1979. godine na istom fakultetu. Zaposlila se u Institutu za fiziku 1964. godine, a od 1971. godine radi na ETF, najpre kao asistent, zatim kao docent i vanredni profesor, a sada kao redovni profesor. Oblast kojom se bavi su kvantna elektronika, laserska tehnika, primene lasera u tehnici merenja, holografija, medicina i druge oblasti od interesa za primenu lasera.

---

Žarko Markov

# O numeraciji u telefonskoj mreži Elektroprivrede Srbije

Stručni rad  
UDK: 621.3.16.2; 621.3.02

---

Rezime:

Razmatra se plan numeracije telefonske mreže Elektroprivrede Srbije. Opisuju se tri verzije plana numeracije: postojećeg, novog i budućeg koji će omogućiti biranje korisnika u mešovitoj mreži koja će se sastojati od klasične digitalne telefonske i paketske telefonske mreže. Predviđaju se promene u planu numeracije koje će biti izazvane novim svojstvima kao što su: besplatni pozivi i prenosivost broja. Ukazuje se na problem univerzalnog plana numeracije za mešovitu mrežu i na rešenje ovog problema u javnoj telefonskoj mreži. Navode se promene koje će uslediti u planu numeracije mreže Elektroprivrede Srbije kao posledica promene plana numeracije u javnoj mreži zbog prilagodavanja numeraciji u zemljama Evropske zajednice.

**Ključne reči:** telefonski plan numeracije, IP telefonija, ENUM

---

Abstract:

ON THE NUMBERING SCHEME OF THE TELEPHONE NETWORK  
OF THE SERBIAN ELECTRIC POWER INDUSTRY

The numbering scheme of the telephone network of the Electric Power Industry of Serbia is observed. The old, new and future numbering plans are described and analysed. The changes of future numbering plan, caused by new packet technology and new user possibilities (free-phone and number portability), are predicted. The importance of universal numbering scheme in combined digital and packet network is indicated. Universal numbering scheme of public network is shortly described. The changes of numbering plan of the Electric Power Industry of Serbia due to changes of numbering plans of EU countries are listed.

**Key words:** telephonenumbering scheme, IP telephony, ENUM

---

## 1. UVOD

Skup korisničkih adresa u telefonskoj mreži (TM) i pravila o njihovom korišćenju se uobičajeno naziva planom ili sistemom numeracije. Za javnu TM se donosi plan numeracije na državnom nivou (Generalni plan Zajednice jugoslovenskih pošta, telegrafa i telefona – ZJPTT) i u odnosu na svetsku mrežu tj. mreže drugih zemalja moraju se poštovati

usvojena pravila na međunarodnom nivou, [1]. Osnovna opšta svojstva plana numeracije javne TM su da poštuje međunarodne preporuke, da je ujednačen po broju cifara na teritoriji zemlje, da podržava nove usluge, da može što duže da zadovolji rast mreže, itd. Jedno od savremenih svojstava koja se zahtevaju od javnih TM je tzv. prenosivost broja tj. mogućnost da korisnik uvek zadržava svoj broj, bez obzira na promenu usluge (na primer: prelazak sa obič-

---

Prof. dr Žarko Markov, dipl. ing. – Iritel, 11 080 Zemun, Batajnički put 23

nog telefona na ISDN telefon za objedinjene usluge), promenu davaoca usluga (provajdera) ili promenu mesta stanovanja u gradu, oblasti ili državi.

Plan numeracije privatnih, korporacijskih, TM se može slobodnije određivati u korporacijskom saobraćaju, ali se prema javnoj TM korporacijska mreža mora prilagođavati baš kao i javna TM jedne države prema svetskoj TM. Na numeraciju TM EPS-a snažno utiču četiri činioca: postojeća numeracija, nova numeracija, nove usluge i promene u numeraciji javne mreže. Cilj ovog rada je da ukaže na mogućnosti koje se pružaju u izgradnji nove numeracije u TM EPS-a, ali tako da se ova numeracija približi optimalnom rešenju.

## 2. POSTOJEĆA NUMERACIJA U TELEFONSKOJ MREŽI ELEKTROPRIVREDE SRBIJE

Postojeća numeracija (tj. ona koja se primenjuje u mreži) je stara nekoliko decenija. Poslednji dokumenti koji je potvrđuju (Generalni plan mreže i Tehnički uslovi za telefonske centrale) su iz prve polovine osme dekade prošlog veka. Osnovna svojstva ove numeracije su sledeća:

- numeracija je mešovita - otvorena u pogledu mrežnih grupa a zatvorena u mrežnoj grupi,
- mrežne grupe se biraju dvocifrenim kodovima iz druge dekade,
- korisnički brojevi unutar mrežne grupe su četvoricifreni, od čega dve cifre iz 3, 4, 5, 6. i 7. dekade predstavljaju karakteristični broj centrale a druge dve cifre broj korisnika,
- osma dekada je rezervisana za brojeve operatora (86 i 87) i poprečne veze,
- deveta dekada je predviđena za brojeve kojima se direktno biraju dispečeri pojedinih elektroprivreda tj. mrežnih grupa,
- cifra „1” je namenjena skraćenom biranju, jer u lokalnom saobraćaju zamenjuje karakteristični broj centrale i
- cifra „0” je namenjena odlaznim vezama ka javnoj TM.

Mreža, dakle, može imati najviše 10 mrežnih grupa, svaka mrežna grupa najviše 50 centrala, a svaka centrala najviše 100 korisničkih priključaka. Numeracija ne omogućava prioritetno razlikovanje operativnog i administrativnog saobraćaja. Ne postoje prefiksi za izlaz u druge mreže sem javne TM.

## 3. NOVA NUMERACIJA

Postojeća numeracija ima nekoliko nedostataka. To su nedostaci koji se mogu nazreti iz svojstva numeracije pobrojanih u prethodnom odeljku. Na

potrebu za novom numeracijom su uticala četiri činioca:

- nemogućnost uvođenja novih usluga, kao što je prioritetno povezivanje,
- nedostatak brojeva (kako za centrale tako i za korisnike u većim centrima),
- nemogućnost automatskog saobraćaja sa drugim mrežama i
- promene u veličini elektroprivredne mreže.

Zbog toga su pre desetak godina postignuti dogovori o promeni plana numeracije. Ova načela nazivamo novom numeracijom, mada ona još nije zaživela. Osnovna svojstva nove numeracije su sledeća:

- numeracija je mešovita – otvorena u pogledu mrežnih grupa a zatvorena u mrežnoj grupi,
- mrežne grupe se biraju dvocifrenim kodovima iz druge dekade,
- korisnički brojevi unutar mrežne grupe su šestocifreni, od čega tri prve cifre iz 3. stotine (prva cifra „3”) označavaju karakteristični broj elektroprivredne centrale (poziv prema operativnom delu mreže), a tri prve cifre iz 4. stotine (prva cifra „4”) označavaju karakteristični broj kućne elektroprivredne centrale (poziv prema administrativnom delu mreže),
- tri poslednje cifre označavaju korisnički broj,
- cifra „5” služi za izlaz u korporacijsku mobilnu telefonsku mrežu,
- cifre „6” i „7” su rezervne cifre za cifre „3” i „4”, respektivno,
- osma dekada je rezervisana za brojeve operatora (86 i 87), operatora za pozive iz javne TM (85), specijalni broj (81) i poprečne veze,
- deveta dekada je predviđena za brojeve kojima se direktno biraju dispečeri i komandna mesta pojedinih elektroprivreda tj. mrežnih grupa,
- cifra „1” je namenjena skraćenom biranju, jer u lokalnom saobraćaju zamenjuje karakteristični broj centrale,
- cifra „0” je namenjena odlaznim vezama ka javnoj TM.

Zašto se nova numeracija ne primenjuje u mreži, mada je davno usvojena? Numeracija se, za razliku od nekih drugih svojstava (digitalna komutacija, paketska komutacija, signalizacija), ne može primenjivati samo u nekim delovima mreže, [2], [3]. Ona se, naime, mora primeniti u celoj mreži. Neke od postojećih centrala ne podržavaju šestocifrenu numeraciju. Zbog toga se trenutak prelaska na novu numeraciju odlaže za vreme kada u mreži budu sve centrale koje podržavaju novu numeraciju.

Pored brojnih dobrih svojstava, nova numeracija ima i jedno svojstvo za koje se može postaviti pitanje opravdanosti. To je broj cifara. Naime, za TM EPS-a sa relativno malo korisničkih aparata (nekoli-

ko hiljada), određuje se šestocifreni plan numeracije koji pokriva skoro pola miliona brojeva. Kako je nastalo ovo rešenje?

Najpre, opravdanje za trocifrene karakteristične brojeve (3XY, X, Y=1,2,...,9,0) centrala je bilo da je broj centrala u mreži EPS-a veći od 50 i da se postojećom numeracijom ne mogu pokriti sve centrale. (Ovaj problem se sada rešava na dva načina. Prvi je korišćenjem brojeva koji su predviđeni za poprečne veze, a koriste se za karakteristične brojeve centrala tj. iz osme dekade, sem „86” i „87”, što je suprotno Tehničkim uslovima. Drugi način je predviđen Tehničkim uslovima, ali je primenjiv samo na centrale sa malim brojem korisničkih priključaka. Ovaj način se naziva *deljenje centrale na dekade* i sastoji se u tome da se grupi centrala da isti dvocifreni karakteristični broj, a upućivanje se vrši na osnovu treće cifre. Na primer, tri centrale bi mogle imati sledeće karakteristične brojeve: centrala A sa 30 korisnika 441, 442 i 443; centrala B sa 40 korisnika 444, 445, 446 i 447; centrala C sa 30 korisnika 448, 449 i 440. Prema tehničkim uslovima, u ovom slučaju broj posredničkog uređaja je onaj koji se završava cifrom „6” iz najviše dekade tj. 4436, 4476 i 4406 za centrale A, B i C, respektivno). Istina, problem malog broja, tj. opsega dvocifrenih karakterističnih brojeva centrala se može rešiti podelom EPS-ove TM na mrežne grupe, jer su skoro svi brojevi iz druge dekade, nekad korišćeni za mrežne grupe elektroprivrednih mreža bivših republika, sada slobodni. Međutim, prevladalo je mišljenje da podela TM EPS-a na mrežne grupe nema opravdanja ako je EPS jedinstvena mreža u energetsom smislu.

Razlog za uvođenje druge stotine hiljada brojeva (karakteristični brojevi 4XY, X, Y=1,2,...,9,0) je želja da se razdvoji operativni i administrativni saobraćaj, tako da se operativnom može dati prednost u slučaju nedostatka resursa. U vreme usvajanja ovog imenika ovakav način razdvajanja saobraćaja je imao opravdanje. Naime, telefonske signalizacije korišćene u TM EPS-a su tada bile vrlo jednostavne, pa se njima nije mogao obezbediti prioritet operativnom saobraćaju. Danas ovaj razlog nema uporišta. Naime, postoje bar dva razloga zbog kojih je ovo rešenje prevaziđeno. Prvi je da je bogatstvo u resursima takvo da, praktično, administrativni saobraćaj ne može da ugrozi operativni. Drugi razlog je da se savremenim signalizacijama može obezbediti prioritet na nivou korisnika, što je mnogo bolje nego na nivou pozivnih brojeva, kako je dato predlogom nove numeracije.

Cifre „6” i „7” su uzete za rezervu u slučaju da broj centrala bude veći od 100. Ta rezerva u karakterističnim brojevima treba da omogući da ovaj plan numeracije bude dugovečan.

#### 4. RAD SA JAVNIM TELEFONSKIM MREŽAMA

U radu sa javnom TM plan numeracije TM EPS-a mora da poštuje plan numeracije javne TM. Dakle, posle izlaska u javnu mrežu, međumesnim prefiksom i kodom se ostvaruju međumesne veze, međunarodnim prefiksom i kodom se ostvaruju međunarodne veze, itd. Isto važi i za javne mobilne TM. Da bi se imao uvid i uticaj na visinu troškova za korišćenje javnih mreža centrale iz TM EPS-a moraju imati mogućnost praćenja i sprečavanja ostvarivanja nedozvoljenih veza u javnim TM. Organ ili softver centrale TM EPS-a mora u svakom trenutku da prati ostvarivanje razgovora sa korisnicima javnih TM, a to znači da on u sebi mora uvek imati ugrađena osnovna načela plana numeracije javnih mreža. Zamislimo da se u bliskoj budućnosti pojavi nova mreža mobilne telefonije čiji je prefiks **06n** i mogućnost telefoniranja preko Interneta sa prefiksom **060**. Sve centrale u TM EPS-a moraju u svojim organima brzo i delotvorno dograditi delove za nadgledanje ostvarenja veza sa korisnicima ovih mreža.

U vezama iz javne TM ka privatnim TM se sve više koristi mogućnost prolaznog biranja iz javne u privatnu mrežu. To je mogućnost da se lokalnim korisničkim telefonima telefonske centrale iz TM EPS-a daju i pozivni brojevi koji pripadaju planu numeracije javne TM. Nažalost, čini se da je davno propuštena prilika da se zajedničkim radom eksperata za numeraciju javne TM i eksperata TM EPS-a odredi plan numeracije takav da se istim pozivnim brojem u budućnosti bira telefonski aparat u EPS-ovoj TM i iz EPS-ove i iz javne TM. Ovo je sada teško postići, jer su i plan numeracije TM EPS-a i plan numeracije u javnoj TM dovoljno stari da bi se bez izmena jednog od njih mogao postići željeni cilj. O koristi od ovakvih izmena biće reči u odeljku 7.

#### 5. PROMENE U NUMERACIJI JAVNE TELEFONSKE MREŽE

Promene u numeraciji javnih TM evropskih zemalja idu ka tome da planovi numeracije u mrežama svih članica Evropske zajednice počivaju na istim načelima. Kao što se to jasno predviđa u [4], u planu numeracije javne TM SCG će doći do značajnih promena zbog usklađivanja sa planovima numeracija evropskih zemalja. Saglasno tome, Tehnički uslovi za plan numeraciju, upućivanje i nadgledanje veza u TM EPS-a će morati da se menjaju. Neke od promena koje se predviđaju kao izvesne u javnoj TM su sledeće.

Međunarodni prefiks će umesto „99” postati „00”.

Sve usluge sa posebnom cenom će sa opsega brojeva koji počinju cifrom „4”, preći u opseg koji počinje cifrom „9”, na primer: „900” prodaja, marketing, biznis, „936” zabava, igre, „942” pristup Internetu, itd.

Opsezi brojeva koji počinju ciframa „7” i „8” će biti dodeljeni posebnim službama.

Svi međumesni kodovi će počinjati cifrom „4” a biće dvocifreni i trocifreni, na primer: „41” područje Beograda, „40x” područje od Pančeva do Valjeva, „42x” tranzitno područje Novi Sad, „43x” tranzitno područje Kragujevac i Užice, itd.

Još jednom naglašavamo da centrale koje rade u TM EPS-a moraju svaku promenu numeracije u javnoj meri da proprate na odgovarajući način.

## 6. PRENOSIVOST BROJEVA I BESPLATNI POZIVI

Dve funkcije savremenih mreža se koriste sve više. To su prenosivost pozivnih brojeva i „besplatni pozivi za pozivajućeg”.

Prenosivost broja (*Number Portability*) obezbeđuju vlasnici mreža, a sastoji se u mogućnosti korisnika javne mreže da zadrži pozivni broj ako promeni uslugu, mrežu ili mesto stanovanja u zemlji. Smatra se da ova mogućnost obezbeđuje ravnopravniju konkurenciju među mrežama.

EPS-ova mreža se u nekom smislu može smatrati korisnikom javne mreže. Posledica ove mogućnosti za EPS može biti samo ušteda u korišćenju javne mreže nekog drugog vlasnika koji nudi jeftinije usluge. Korišćenje ove mogućnosti ne zahteva promene u planu numeracije EPS-ove TM.

Besplatni pozivi (*freephone*, kod 800, [4]) je mogućnost da kompanije snose troškove primljenih telefonskih poziva od svojih klijenata. Mogućnost se ostvaruje tako što kompanija zainteresovana za ovu mogućnost zakupljuje određeni broj pozivnih brojeva za ovu uslugu. Moglo bi se desiti da se u EPS-u pojavi potreba uvođenja ovih brojeva. Zbog toga će se pojaviti potreba da se sa ekspertima iz javne mreže razmotri dopuna numeracije TM EPS-a tako što će se uvesti pozivni brojevi za, na primer, „kol (*call*) centre” elektrodistributivnih organizacija.

## 7. PROŠIRENJE PLANA NUMERACIJE ZA PAKETSKU TELEFONIJU

Saglasno Idejnom projektu, [3], a i kretanju u oblasti telefonske tehnike, korporacijska paketska mreža će se koristiti i za ostvarivanje telefonskih ve-

za. Korišćenje paketske telefonske tehnike uključuje i korišćenje internetskih telefona tj. IPfona.

S druge strane, skoro je sigurno da će i klasična digitalna korporacijska mreža raditi još dugi niz godina. U ovom trenutku se mora razmišljati o takvom postupku izbora adrese sagovornika u korporacijskoj TM koji će omogućavati ostvarenje veza bez obzira da li korisnici pripadaju digitalnom ili paketskom delu mreže.

Zbog toga se postavlja pitanje univerzalnog imenika koji omogućava jednoliko biranje u mešovitoj mreži.

Javna mreža je suočena sa istim pitanjem. U nekoliko rečenica ćemo opisati jedno rešenje univerzalnog imenika tj. postupka koji omogućava iznalaženje svih mogućih korisničkih adresa (telefona, faksa, SIP (*Session Initiation Protocol*), H.323, itd.), bez obzira kojem delu mreže pripada korisnik.

Da bi se rešio ovaj problem, iskorišćen je postupak zvani ENUM [5] i dva resursa koja već postoje na globalnom nivou. To su skup kvalifikovanih (*fully qualified*) telefonskih brojeva i DNS (*Domain Name System*) postupak u Internetu. Kvalifikovani telefonski brojevi su oni koji imaju strukturu saglasnu ITU - T preporuci E.164, [1]. DNS) je distribuirana baza u Internetu koja omogućava postupak pretvaranja korisničkog imena u IP adresu, na primer *elis.eps.co.yu* u 195.250.120.162.

Svim korisnicima se može dati jedan kvalifikovani telefonski broj (sa prefiksom zemlje, oblasti i grada) a svakom tzv. resursu (web stranici, faksu, SIP telefonu, službi elektronske pošte) u Internetu se može dodeliti tzv. URI (Jednoobrazni identifikator resursa – *Uniform Resource Identifier*) tj. neka vrsta adrese. Kada korisnik A zna i zatraži E.164 broj korisnika B, ENUM protokol će korisniku A ponuditi sve adrese korisnika B koje postoje u DNS, u domenu *.e164.arpa*. Ovaj domen je namenjen protokolu ENUM i služi za ovo, popularno zvano E2U (**E.164 to URI**), pretvaranje. Pošto korisnik A dobije sve adrese korisnika B, on može da izabere uslugu.

Može se ukratko reći da je adresiranje u mešovitoj mreži, u kojoj postoji deo zasnovan na klasičnoj mreži i paketski deo zasnovan na Internetu, omogućeno globalnim telefonskim imenikom i globalnim internetskim sistemom pretraživača adresa. Istovremeno se može reći da za ovaj imenik sve manje odgovara naziv telefonski. On postaje imenik usluga, a mi ga ovde možemo zvati telekomunikacionim imenikom. Kakve posledice ovakav sistem adresiranja u mešovitoj mreži može imati na imenik mešovite TM EPS-a?

Ako zamislimo da u nekoj budućnosti korisnici mešovite TM EPS-a koriste razne tehnike u ostvarivanju veza i usluga, onda nam mora biti blisko re-



šenje koje je ukratko opisano za javnu mešovitu mrežu. Osnovni uslov da se ovakav metod univerzalnog adresiranja u mešovitoj mreži EPS-a može primeniti je da se svim resursima u mreži daju kvalifikovani telefonski pozivni brojevi tj. oni koji su saglasni sa ITU - T preporukom E.164. Ovaj zaključak nas vraća na tvrdnju iznetu u odeljku 4. o potrebi prolaznog biranja iz javne mreže i usklađivanja plana numeracije javne i EPS-ove mreže.

## 8. ZAKLJUČCI

Osnovni zaključak u vezi numeracije u telekomunikacionoj mreži EPS-a je da se pitanje plana numeracije mora još jednom razmotriti s obzirom na nove službe i nove mogućnosti. Razlog za ovo ponovno razmatranje je veoma brzi razvoj novih mogućnosti u poslednjih deset godina. Pitanja koja treba posebno razmotriti kod rasprave o planu numeracije telekomunikacione mreže EPS-a su sledeća.

1. Da li se povećani broj cifara pozivnog broja korisnika (na primer šest) smatra velikim nedostatkom? Ovde treba uzeti u obzir to da se pozivanje vrlo često izvodi automatski ili zapamćenim brojem sa oznakom imena.
2. Koji je najbolji sistem ostvarivanja prioriteta u povezivanju korisnika i da li za ove svrhe koristiti plan numeracije ili kategorisanje učesnika po

važnosti, pa prioritete ostvarivati korišćenjem signalizacije?

3. Koje sve veze tj. njihovu uspostavu prema drugim mrežama treba nadgledati i njima upravljati u centralama u EPS-ovoj mreži?
4. Da li postoji potreba korišćenja besplatnih poziva za neke EPS-ove klijente? Ako se zaključi da ova potreba postoji, treba odrediti univerzalni pozivni broj (brojeve) iz javne mreže.
5. Da li se mogu korisnicima u EPS-ovoj mreži dodeliti brojevi korisnika javne telefonske mreže tj. prema ITU-T preporuci E.164?
6. Razmotriti mogućnosti određivanja imenika za mešovitu telekomunikacionu mrežu. Ako se zaključi da je najbolji ENUM postupak ili neka njegova usavršena varijanta zasnovana na E2U pretvaranju, tada je i odgovor na dilemu iz tačke 5 pozitivan i kao takav obavezan.

## 9. LITERATURA

- [1] ITU-T RECOMMENDATION E.164
- [2] EPS - CIIS: IDEJNI PROJEKAT DIGITALNE TELEFONSKE MREŽE EPS-a, 1998
- [3] EPS - DIREKCIJA ZA TELEKOMUNIKACIJE: IDEJNI PROJEKAT DIGITALNE TELEFONSKE MREŽE EPS-a, 2004
- [4] Vukićević, P.: PREDLOG PLANA NUMERACIJE SCG, 11. Telekomunikacioni forum, Beograd, 2003
- [5] IETF: E.164 NUMBER AND DNS, RFC 2916

Rad je primljen u uredništvo 22. 09. 2004. godine



**Žarko Markov** (1946) dipl. ing. od 1969, magistar od 1975, doktor od 1976. godine (sve ETF Beograd). Radi u Iritelu na razvoju i proizvodnji telefonskih centrala za elektroprivrednu telefonsku mrežu (videti <http://www.iritel.com/english/products/etce/Digital%20Telephone%20Exchange%20-%20ETCE-D.htm>). Autor nekoliko desetina radova objavljenih u zemlji i inostranstvu, od kojih se petnaestak odnosi na elektroprivrednu telefoniju. Učestvovao u izradi Tehničkih uslova za elektroprivredne telefonske centrale i u projektima digitalne telefonske mreže EPS-a. Objavio nekoliko knjiga i udžbenika. Ima naučno zvanje naučnog savetnika i nastavno zvanje vanrednog profesora.

---

Branislav A. Bošković

# Ostvarenje elektroenergetskog bilansa Državne zajednice Srbija i Crna Gora u 2004. godini

Stručni rad  
UDK: 621.3.05

---

*Rezime:*

Rad prezentira realizaciju elektroenergetskog bilansa za 2004. godinu u Državnoj zajednici Srbija i Crna Gora kroz prikaz proizvodnje i potrošnje električne energije, republičke razmjene električne energije, nabavke i isporuke električne energije drugim elektroenergetskim sistemima, stanja akumulacija hidroelektrana, otkrivke uglja, deponija uglja za termoelektrane, i upoređuje ove veličine sa ostvarenjem u 2003. godini i planom za 2005. godinu.

**Ključne riječi:** elektroenergetski bilans Državne zajednice Srbija i Crna Gora

---

*Abstract:*

**REALIZATION OF THE POWER BALANCE  
OF THE STATE COMMUNITY SERBIA & MONTENEGRO IN 2004**

The paper deals with the realization of the electric power balance for 2004 in the State community Serbia and Montenegro, such as: electric power production and consumption, republican electric power interchange, electric power supply from and delivery to other electric power systems, hydro plant reservoirs, coal overburden layers removal, coal deposits for thermal power plants, with a review of the realization in 2003, as well as the plan for 2005.

**Key words:** Electric power balance of the State community Serbia and Montenegro

---

## 1. UVOD

Elektroenergetski sistem (EES) Državne zajednice Srbija i Crna Gora čine elektroenergetski sistemi Države Srbije i Države Crne Gore (SCG).

Elektroprivrednu delatnost u republikama obavljaju:

Javno preduzeće za proizvodnju, prenos, distribuciju električne energije i proizvodnju uglja, koje posluje pod firmom „Elektroprivreda Srbije” sa potpunom odgovornošću i sedištem u Beogradu, čiji je skraćeni naziv JP „EPS” sa p.o. (u daljem tekstu:

EPS). Javno preduzeće je osnovano zakonom o elektroprivredi („Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 45/91) sa izmenama i dopunama.

Javno elektroprivredno preduzeće za proizvodnju, prenos, nabavku i distribuciju električne energije, koje posluje pod firmom „Elektroprivreda Crne Gore” sa sedištem u Nikšiću (u daljem tekstu: EPCG) osnovano Zakonom o energetici („Službeni list SRCG” br. 16/90) sa izmenama i dopunama. Odlukom Upravnog odbora ovog preduzeća, 18. marta 1998. godine ovo preduzeće je transformisano u „Elektroprivredu Crne Gore” A.D.

---

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el. – Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, 11 000 Beograd, Balkanska 13

Saradnja između ove dve elektroprivrede regulisana je Ugovorom o dugoročnoj poslovnotehničkoj saradnji, koji je zaključen marta 1991. godine, uz uvažavanje normativnih akata: Zajednice jugoslovenske elektroprivrede, Elektroprivrede Srbije i Elektroprivrede Crne Gore.

Do donošenja novog zakona o EES-u Državne zajednice Srbija i Crna Gora, koordinirajuću ulogu u radu ova dva elektroenergetska sistema, u određenom obimu, vrši Stručna služba Zajednice jugoslovenske elektroprivrede (JUGEL), sa Koordinacionim odborom Zajednice jugoslovenske elektroprivrede u sastavu: direktor JUGEL-a, generalni direktor EPS-a i izvršni direktor EPCG AD.

## 2. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U 2004. godini, energetske bilansima elektroprivreda Srbije i Crne Gore predviđena je:

– proizvodnja iz sopstvenih izvora 37 756 GWh (HE 12 200 GWh, TE 25 556 GWh) i

– nabavka od EES-a izvan SCG 2 121 GWh.

Ukupna proizvodnja električne energije u SCG je iznosila **38 389 GWh (34,8 % iz HE a 65,2 % iz TE)**, dok su nabavke električne energije od drugih EES-a izvan SCG iznosile **2 758,9 GWh**.

Plan proizvodnje iz sopstvenih izvora je veći za **1,7 %**. HE su svoj plan ostvarile sa **109,6 %** a TE su ostvarile sa **97,9 %** plana.

Nabavka električne energije od EES-a izvan SCG je veća za **30,2 %** od plana.

Ukupno raspoloživa električna energija je bila za **3,2 %** veća od plana za 2004. godinu.

Kada se prave poređenja proizvodnje električne energije u 2004. godini u odnosu na 2003. godinu, onda su odnosi sledeći:

– sopstvena proizvodnja je veća za **6,3 %**, pri čemu je proizvodnja HE veća za **24,9 %** a TE manja za **1,5 %**;

– nabavka električne energije od EES-a izvan SCG je manja za **35,0 %**;

– raspoloživa električna energija je veća za **2,7 %**.

Svi gore navedeni podaci dati su u tabeli 1 i na slici 1.

U tabeli 2 su dati podaci EEB koji se odnose na 2003 i 2004. godinu, komparirani sa planskim podacima za 2005. godinu.

### Karakteristične proizvodnje na pragu elektrana:

#### a) U EPS-u:

– najveća mesečna proizvodnja je bila **3 641,2 GWh** i to u **decembru** 2004. godine, tog meseca HE su proizvele **1 191,9 GWh**, a TE **2 449,2 GWh** (najveća mesečna proizvodnja u 2003. godini je bila **3 301,2 GWh**);

– najveća mesečna proizvodnja HE je bila u **martu** 2004. godine i iznosila je **1 287,6 GWh** (najveća mesečna proizvodnja HE u 2003. godini je bila **1 286,7 GWh**);

– najveća mesečna proizvodnja TE je bila u **januaru** 2004. godine i iznosila je **2 700,3 GWh** (najveća mesečna proizvodnja TE u 2003. godini je bila **2 679,2 GWh**);

– najveća dnevna proizvodnja je bila **24. januara** 2004. godine i iznosila je **129,8 GWh**, tog dana HE su proizvele **37,6 GWh**, a TE **92,2 GWh** (najveća dnevna proizvodnja u 2003. godini je bila **123,1 GWh**);

– najveća dnevna proizvodnja HE je bila **9. marta** 2004. godine i iznosila je **50,2 GWh** (najveća dnevna proizvodnja HE u 2003. godini je bila **53,9 GWh**);

– najveća dnevna proizvodnja TE je bila **14. januara** 2004. godine i iznosila je **96,9 GWh** (najveća dnevna proizvodnja TE u 2003. godini **98,6 GWh**);

– prosečna dnevna proizvodnja na godišnjem nivou u 2004. godini je iznosila **96,3 GWh** (planirana **95,5 GWh**), (dok je u 2003. godini ostvarena prosečna dnevna proizvodnja iznosila **91,9 GWh**).

#### b) U EPCG:

– najveća mesečna proizvodnja je bila u **decembru** 2004. godine i iznosila je **427,9 GWh** (najveća mesečna proizvodnja u 2003. godini je bila **373,5 GWh**), tog meseca HE su proizvele **339,9 GWh**, a TE **87,9 GWh**;

– najveća mesečna proizvodnja HE je bila u **decembru** 2004. godine i iznosila je **339,9 GWh** (najveća mesečna proizvodnja HE u 2003. godini je bila **263,4 GWh**);

– najveća mesečna proizvodnja TE je bila u **januaru** 2004. godine i iznosila je **132,6 GWh** (najveća mesečna proizvodnja TE u 2003. godini je bila **132,2 GWh**);

– najveća dnevna proizvodnja je bila **22. decembra** 2004. godine i iznosila je **17,8 GWh** (najveća dnevna proizvodnja u 2003. godini **16,3 GWh**) tog dana HE su proizvele **13,7**, a TE **4,1 GWh**;

– prosečna dnevna proizvodnja na godišnjem nivou u 2004. godini je iznosila **8,8 GWh** (planirana **7,7 GWh**), dok je u 2003. godini ostvarena prosečna dnevna proizvodnja bila **7,2 GWh**).

## 3. POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ukupne potrebe potrošača električne energije u SCG su iznosile **40 405,3 GWh**, dok su isporuke drugim EES izvan SCG iznosile **744,6 GWh**.

Plan potrošnje domaćih potrošača električne energije je ostvaren sa **101,9 %**, a isporuke električne

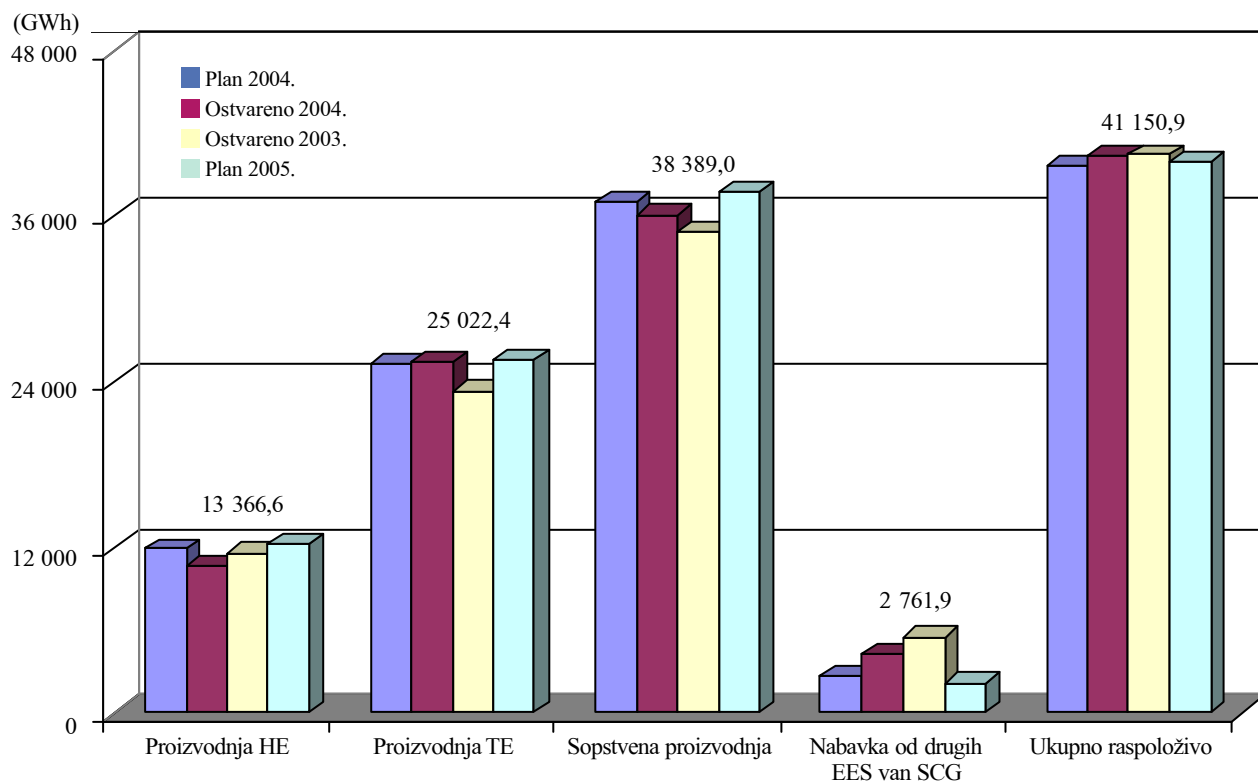
Tabela 1.

## Ostvarenje bilansa proizvodnje (na pragu elektrana) i nabavki električne energije EES-a SCG

| Raspoloživo                     | 2004. godina       |               |              |                    |                 |                | Ostvareno 2004/<br>Planirano 2004. |              |              |
|---------------------------------|--------------------|---------------|--------------|--------------------|-----------------|----------------|------------------------------------|--------------|--------------|
|                                 | Planirano<br>(GWh) |               |              | Ostvareno<br>(GWh) |                 |                | (%)                                |              |              |
|                                 | SCG                | EPS           | EPCG         | SCG                | EPS             | EPCG           | (4/1)                              | (5/2)        | (6/3)        |
|                                 | (1)                | (2)           | (3)          | (4)                | (5)             | (6)            | (7)                                | (8)          | (9)          |
| Proizvodnja HE                  | 12 200             | 10 460        | 1 740        | 13 366,6           | 11 135,4        | 2 231,2        | 109,6                              | 106,5        | 128,2        |
| Proizvodnja TE                  | 25 556             | 24 485        | 1 071        | 25 022,4           | 24 066,9        | 954,5          | 97,9                               | 98,3         | 89,1         |
| Sopstvena proizvodnja           | 37 756             | 34 945        | 2 811        | 38 389,0           | 35 203,3        | 3 185,7        | 101,7                              | 100,7        | 113,3        |
| Međurepublička razmena          |                    | 762           | 1 068        |                    | 1 322,9         | 1 221,1        |                                    | 173,6        | 114,3        |
| Nabavka od drugih EES izvan SCG | 2 121              | 640           | 1 481        | 2 761,9            | 1 314,2         | 1 447,7        | 130,1                              | 204,9        | 97,7         |
| <b>Ukupno raspoloživo</b>       | <b>39 877</b>      | <b>36 347</b> | <b>5 360</b> | <b>41 150,9</b>    | <b>37 840,4</b> | <b>5 854,4</b> | <b>103,2</b>                       | <b>104,1</b> | <b>109,2</b> |

(Tabele 1 – nastavak)

| Raspoloživo                     | 2003. godina<br>Ostvareno<br>(GWh) |                 |                | Ostvareno 2004/<br>Ostvareno 2003. |              |              |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------------|--------------|--------------|
|                                 | SCG                                | EPS             | EPCG           | (4/10)                             | (5/11)       | (6/12)       |
|                                 | (10)                               | (11)            | (12)           | (13)                               | 14)          | 15)          |
|                                 | (10)                               | (11)            | (12)           | (13)                               | 14)          | 15)          |
| Proizvodnja HE                  | 10 704,1                           | 9 171,7         | 1 532,5        | 124,9                              | 121,4        | 145,6        |
| Proizvodnja TE                  | 25 392,2                           | 24 318,3        | 1 073,9        | 98,5                               | 99,0         | 88,9         |
| Sopstvena proizvodnja           | 36 096,3                           | 33 489,9        | 2 606,3        | 106,3                              | 105,1        | 122,2        |
| Međurepublička razmena          |                                    | 876,6           | 1 297,1        |                                    | 149,2        | 93,9         |
| Nabavka od drugih EES izvan SCG | 4 243,8                            | 2 834,0         | 1 409,8        | 65,0                               | 46,3         | 102,7        |
| <b>Ukupno raspoloživo</b>       | <b>40 340,1</b>                    | <b>37 200,6</b> | <b>5 313,2</b> | <b>102,7</b>                       | <b>101,7</b> | <b>110,1</b> |



Slika 1. Ostvarenje EEB EES SCG

energije drugim EES izvan SCG je iznosio **316,8 %** plana, tako da je ukupan plasman iznosio **103,2 %** plana. U tabeli 3 i na slici 2 se vidi kakvo je učešće potrošača električne energije. Vidi se da nam direktni potrošači nisu ispunili plan za **0,1 %** (potrošili su električne energije više nego 2003. godine za **7,9 %**). Distributivna potrošnja je **100,9 %** od plana, i ista ima rast od **1,3 %** u odnosu na 2003. godinu. Gubici električne energije u prenosu su veći od planiranih, za **8,8 %** ali su i u odnosu na 2003. godinu veći za **11,8 %**. Na slici 2, prikazana je prosečna potrošnja električne energije bruto konzuma (bez pumpanja).

Bez upoređivanja sa prethodnom godinom, daju se neki rezultati potrošnje električne energije u 2004. godini:

**a) U EPS-u:**

– najveća mesečna potrošnja je bila u **januaru** 2004. godine i iznosila je **3 860,1 GWh**, bez pumpanja (najveća u 2003. godini je bila 3 741,2 GWh);

– najveća dnevna potrošnja je bila **13. februara** 2004. godine i iznosila je **137,5 GWh**, pri minimalnoj dnevnoj temperaturi tog dana u Beogradu od minus **9,9** stepena Celzijusa (najveća dnevna potrošnja 13. januara u 2003. godini je bila 140,9 GWh, pri temperaturi od minus 14,3 stepena Celzijusa;

Tabela 2.

Elektroenergetski bilans proizvodnje (na pragu elektrana) i nabavke električne energije EES SCG

| Raspoloživo                     | Planirano 2005.<br>(GWh) |               |              | Ostvareno 2004.<br>(GWh) |                 |                | Planirano 2005/<br>Ostvareno 2004.<br>(%) |             |             |
|---------------------------------|--------------------------|---------------|--------------|--------------------------|-----------------|----------------|---|-------------|-------------|
|                                 | SCG                      | EPS           | EPCG         | SCG                      | EPS             | EPCG           | (1/4)                                     | (2/5)       | (3/6)       |
|                                 | (1)                      | (2)           | (3)          | (4)                      | (5)             | (6)            | (7)                                       | (8)         | (9)         |
| Proizvodnja HE                  | 12 086                   | 10 413        | 1 673        | 13 366,6                 | 11 135,4        | 2 231,2        | 90,4                                      | 93,5        | 75,0        |
| Proizvodnja TE                  | 26 324                   | 25 251        | 1 073        | 25 021,4                 | 24 067,9        | 954,5          | 105,2                                     | 104,9       | 112,4       |
| Sopstvena proizvodnja           | 38 410                   | 35 664        | 2 746        | 38 388,0                 | 35 203,3        | 3 185,7        | 100,1                                     | 101,3       | 86,2        |
| Međurepublička razmena          |                          | 762           | 1 066        |                          | 1 322,9         | 1 221,1        |   | 58,3        | 87,5        |
| Nabavka od drugih EES izvan SCG | 2 038                    | 454           | 1 584        | 2 761,9                  | 1 314,9         | 1 447,7        | 73,9                                      | 34,6        | 109,4       |
| <b>Ukupno raspoloživo</b>       | <b>40 448</b>            | <b>36 880</b> | <b>5 396</b> | <b>41 150,9</b>          | <b>37 840,4</b> | <b>5 854,4</b> | <b>98,3</b>                               | <b>97,5</b> | <b>92,2</b> |

(Tabele 2 – nastavak

| Raspoloživo                     | 2003. godina<br>Ostvareno<br>(GWh) |                 |                | Planirano 2005/<br>Ostvareno 2003.<br>(%) |             |              |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|---|-------------|--------------|
|                                 | SCG                                | EPS             | EPCG           | (1/10)                                    | (2/11)      | (3/12)       |
|                                 | (10)                               | (11)            | (12)           | (13)                                      | (14)        | (15)         |
| Proizvodnja HE                  | 10 704,1                           | 9 171,7         | 1 532,5        | 112,9                                     | 113,5       | 109,2        |
| Proizvodnja TE                  | 25 392,3                           | 24 318,3        | 1 073,9        | 103,7                                     | 103,8       | 99,9         |
| Sopstvena proizvodnja           | 36 096,3                           | 33 489,9        | 2 606,3        | 106,4                                     | 106,5       | 105,4        |
| Međurepublička razmena          |                                    | 876,6           | 1 297,1        |   | 86,9        | 82,2         |
| Nabavka od drugih EES izvan SCG | 4 243,8                            | 2 834,0         | 1 409,8        | 48,0                                      | 16,0        | 112,4        |
| <b>Ukupno raspoloživo</b>       | <b>40 340,1</b>                    | <b>37 200,6</b> | <b>5 313,2</b> | <b>100,3</b>                              | <b>99,1</b> | <b>101,6</b> |

– najveća srednja satna snaga je bila 13. februara **6 448 GWh** u 20 h (najveća u 2003. godini je bila 6 564 MW);

– prosečna dnevna potrošnja na godišnjem nivou u 2004. godini, bez energije za pumpanje je iznosila **95,9 GWh** (planirana 94,5 GWh), (prosečna dnevna potrošnja na godišnjem nivou u 2003. godini 94,1 GWh).

Interesantno je pomenuti kako se primena novog Tarifnog sistema EPS-a odrazila na minimalne i maksimalne prosečne snage (bez pumpanja):

– prosečna minimalna snaga bruto konzuma za period I – III je bila **3 908 MW** (bilansom predviđena 3 048 MW);

– prosečna minimalna snaga bruto konzuma za period IV – VI je bila **2 451 MW** (bilansom predviđena 1 797 MW);

– prosečna minimalna snaga bruto konzuma za period VII – IX je bila **2 272 MW** (bilansom predviđena 1 716 MW);

– prosečna minimalna snaga bruto konzuma za period X – XII je bila **3 362 MW** (bilansom predviđena 2 539 MW);

– prosečna minimalna snaga bruto konzuma za period I – XII je bila **2 998 MW** (bilansom predviđena 2 275 MW);

– prosečna maksimalna snaga bruto konzuma za period I – III je bila **5 691 MW** (bilansom predviđena 5 513 MW);

– prosečna maksimalna snaga bruto konzuma za period IV – VI je bila **4 370 MW** (bilansom predviđena 4 089 MW);

Tabela 3.

Ostvarenje bilansa potrošnje i isporuka električne energije EES SCG

| Plasman                       | 2004. godina       |               |              |                    |                 |                | Ostvareno 2004/<br>Planirano 2004.<br>(%) |              |              |
|-------------------------------|--------------------|---------------|--------------|--------------------|-----------------|----------------|---|--------------|--------------|
|                               | Planirano<br>(GWh) |               |              | Ostvareno<br>(GWh) |                 |                |   |              |              |
|                               | SCG                | EPS           | EPCG         | SCG                | EPS             | EPCG           | (4/1)                                     | (5/2)        | (6/3)        |
|                               | (1)                | (2)           | (3)          | (4)                | (5)             | (6)            | (7)                                       | (8)          | (9)          |
| Direktni potrošači            | 3 440              | 1 375         | 2 065        | 3 435,9            | 1 331,1         | 2 104,8        | 99,9                                      | 96,8         | 101,9        |
| Distribucije (bruto)          | 34 142             | 31 780        | 2 362        | 34 441,2           | 32 229,1        | 2 212,1        | 100,9                                     | 101,4        | 93,7         |
| Gubici u prenosu              | 1 596              | 1 425         | 171          | 1 735,8            | 1 542,8         | 193,0          | 108,8                                     | 108,3        | 112,9        |
| Pumpanje PAP Lisine           | 74                 | 74            |              | 96,8               | 96,8            |                | 130,8                                     | 130,8        |              |
| Pumpanje RHE Bajina Bašta     | 390                | 390           |              | 695,6              | 695,6           |                | 178,4                                     | 178,4        |              |
| Sopstvena potrošnja           | 39 642             | 35 044        | 4 598        | 40 405,3           | 35 895,4        | 4 509,9        | 101,9                                     | 102,4        | 98,1         |
| Međurepublička razmena        |                    | 1 068         | 762          |                    | 1 218,1         | 1 308,0        |   | 114,1        | 171,7        |
| Isporuca drugim EES izvan SCG | 235                | 235           | 0            | 744,6              | 722,9           | 21,6           | 316,8                                     | 307,6        |              |
| <b>Ukupan plasman</b>         | <b>39 877</b>      | <b>36 347</b> | <b>5 360</b> | <b>41 149,9</b>    | <b>37 200,6</b> | <b>5 839,5</b> | <b>103,2</b>                              | <b>104,1</b> | <b>108,9</b> |

(Tabele 3 – nastavak)

| Plasman                       | Ostvareno<br>2003. godina<br>(GWh) |                 |                | Ostvareno 2004/<br>Ostvareno 2003.<br>(%) |              |              |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|---|--------------|--------------|
|                               | SCG                                | EPS             | EPCG           | (4/10)                                    | (5/11)       | (6/12)       |
|                               | (10)                               | (11)            | (12)           | (13)                                      | (14)         | (15)         |
| Direktni potrošači            | 3 185,3                            | 1 160,4         | 2 024,8        | 107,9                                     | 114,7        | 104,0        |
| Distribucije (bruto)          | 33 995,3                           | 31 798,4        | 2 196,6        | 101,3                                     | 101,4        | 100,7        |
| Gubici u prenosu              | 1 552,9                            | 1 381,0         | 171,9          | 111,8                                     | 111,7        | 112,2        |
| Pumpanje PAP Lisine           | 91,1                               | 91,1            |                | 106,3                                     | 106,3        |              |
| Pumpanje RHE Bajina Bašta     | 440,0                              | 440,0           |                | 158,1                                     | 158,1        |              |
| Sopstvena potrošnja           | 39 264,3                           | 34 870,9        | 4 393,4        | 102,9                                     | 102,9        | 102,7        |
| Međurepublička razmena        |                                    | 1 297,1         | 876,6          |   | 93,9         | 149,2        |
| Isporuca drugim EES izvan SCG | 1 075,7                            | 1 032,5         | 43,2           | 69,2                                      | 70,0         | 50,1         |
| <b>Ukupan plasman</b>         | <b>40 340,0</b>                    | <b>37 200,6</b> | <b>5 313,2</b> | <b>102,0</b>                              | <b>101,7</b> | <b>109,9</b> |

Tabela 4.

Elektroenergetski bilans potrošnje  
i isporuke električne energije u EES SCG

| Plasman                       | Planirano 2005.<br>(GWh) |               |              | Ostvareno 2004.<br>(GWh) |                 |                | Planirano 2005/<br>Ostvareno 2004.<br>(%) |             |             |
|-------------------------------|--------------------------|---------------|--------------|--------------------------|-----------------|----------------|---|-------------|-------------|
|                               | SCG                      | EPS           | EPCG         | SCG                      | EPS             | EPCG           | (1/4)                                     | (2/5)       | (3/6)       |
|                               | (1)                      | (2)           | (3)          | (4)                      | (5)             | (6)            | (7)                                       | (8)         | (9)         |
| Direktni potrošači            | 3 542                    | 1 352         | 2 190        | 3 435,9                  | 1 331,1         | 2 104,8        | 103,1                                     | 101,6       | 104,0       |
| Distribucije (bruto)          | 34 752                   | 32 496        | 2 256        | 34 441,2                 | 32 229,1        | 2 212,1        | 100,9                                     | 100,8       | 102,0       |
| Gubici u prenosu              | 1 703                    | 1 515         | 188          | 1 735,8                  | 1 542,8         | 193,0          | 98,1                                      | 98,2        | 97,4        |
| Pumpanje PAP Lisine           | 74                       | 74            |              | 96,8                     | 96,8            |                |   | 76,4        |             |
| Pumpanje RHE Bajina Bašta     | 377                      | 377           |              | 695,6                    | 695,6           |                |   | 54,2        |             |
| Sopstvena potrošnja           | 40 448                   | 35 814        | 4 634        | 30 405,3                 | 35 895,4        | 4 509,9        | 100,1                                     | 99,8        | 102,8       |
| Međurepublička razmena        |                          | 1 066         | 762          |                          | 1 218,1         | 1308,0         |   | 81,5        | 62,6        |
| Isporuca drugim EES izvan SCG | 0                        | 0             | 0            | 744,6                    | 722,9           | 21,6           | 0,0                                       | 0,0         | 0,0         |
| <b>Ukupan plasman</b>         | <b>40 448</b>            | <b>36 880</b> | <b>5 396</b> | <b>41 149,9</b>          | <b>37 836,5</b> | <b>5 839,5</b> | <b>98,3</b>                               | <b>97,5</b> | <b>92,4</b> |

(Tabele 4 – nastavak)

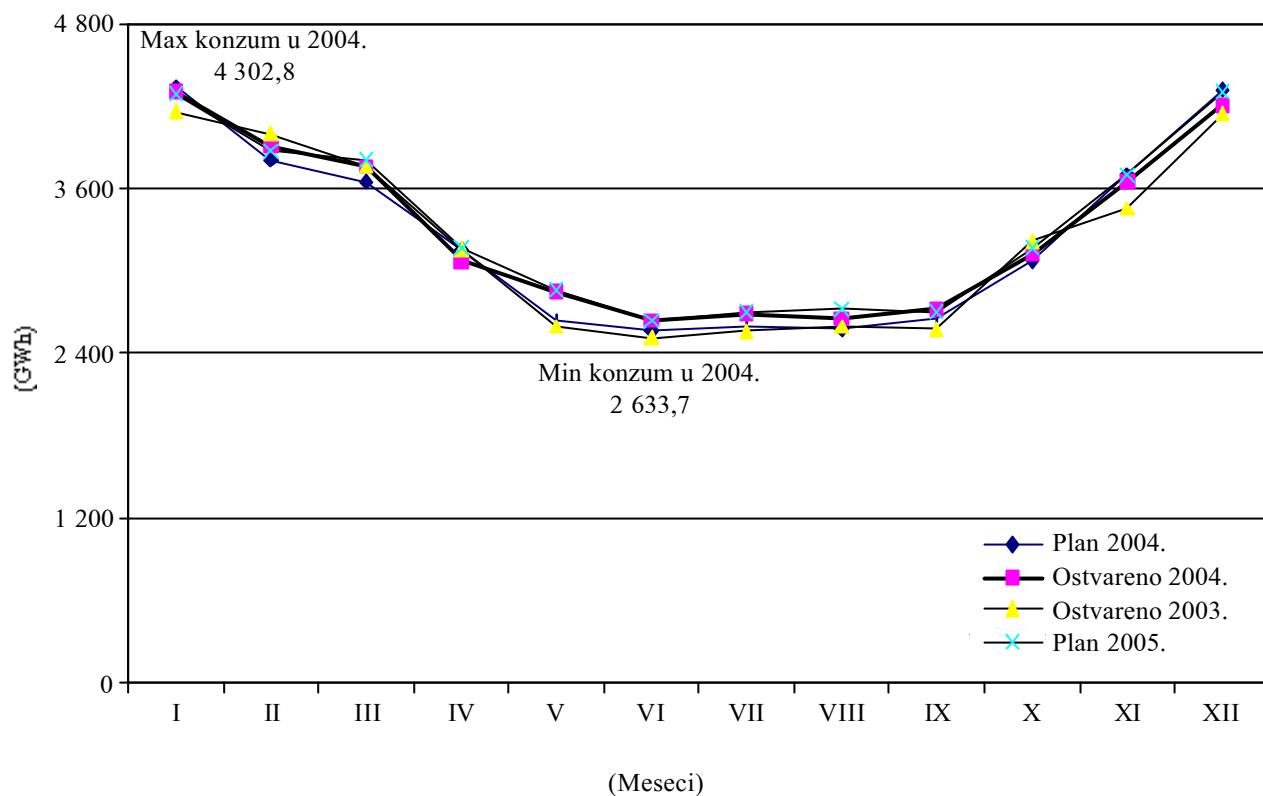
| Plasman                       | 2003. godina<br>Ostvareno<br>(GWh) |                 |                | Planirano 2005/<br>Ostvareno 2003.<br>(%) |             |              |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|---|-------------|--------------|
|                               | SCG                                | EPS             | EPCG           | (1/10)                                    | (2/11)      | (3/12)       |
|                               | (10)                               | (11)            | (12)           | (13)                                      | (14)        | (15)         |
| Direktni potrošači            | 3 185,3                            | 1 160,4         | 2 024,8        | 111,2                                     | 116,5       | 108,2        |
| Distribucije (bruto)          | 33 995,1                           | 31 798,4        | 2 196,6        | 102,2                                     | 102,2       | 102,7        |
| Gubici u prenosu              | 1 552,9                            | 1 381,0         | 171,9          | 109,7                                     | 109,7       | 109,3        |
| Pumpanje PAP Lisine           | 91,1                               | 91,1            |                | 81,3                                      | 81,3        |              |
| Pumpanje RHE Bajina Bašta     | 440,0                              | 440,0           |                | 85,7                                      | 85,7        |              |
| Sopstvena potrošnja           | 38 264,3                           | 34 870,9        | 4 393,4        | 103,0                                     | 102,7       | 105,5        |
| Međurepublička razmena        |                                    | 1 297,1         | 876,6          |   | 82,2        | 86,9         |
| Isporuca drugim EES izvan SCG | 1 075,7                            | 1 032,5         | 43,2           | 0,0                                       | 0,0         | 0,0          |
| <b>Ukupan plasman</b>         | <b>40 340,0</b>                    | <b>37 200,6</b> | <b>5 313,2</b> | <b>100,3</b>                              | <b>99,1</b> | <b>101,6</b> |

- prosečna maksimalna snaga bruto konzuma za period VII – IX je bila **4 032 MW** (bilansom predviđena 3 837 MW);

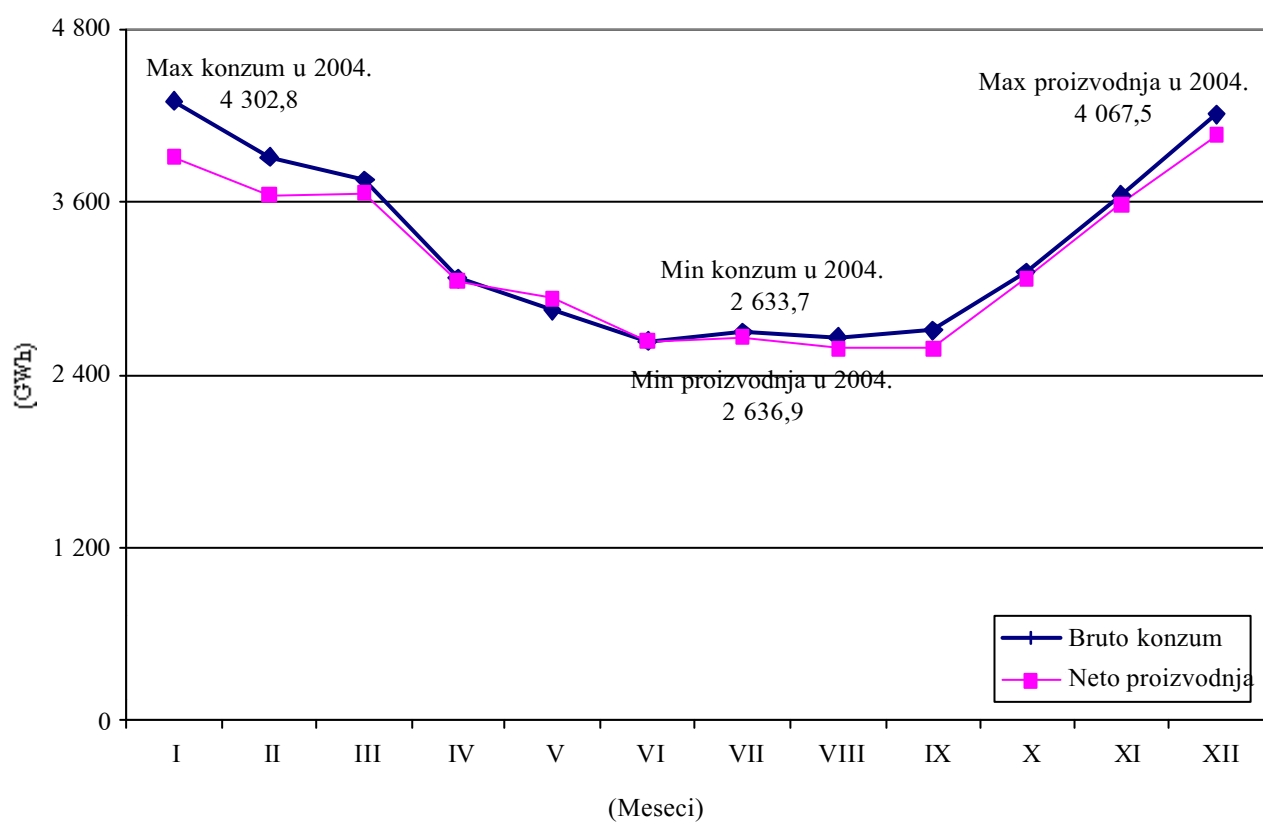
- prosečna maksimalna snaga bruto konzuma za period X – XII je bila **5 340 MW** (bilansom predviđena 5 258 MW);

- prosečna maksimalna snaga bruto konzuma za period I – XII je bila **4 858 MW** (bilansom predviđena 4 674 MW).

Kao što se vidi iz gornjih podataka, i dalje su pozitivni efekti Tarifnog sistema, odnosno „peglanje”, dnevnog dijagrama opterećenja.

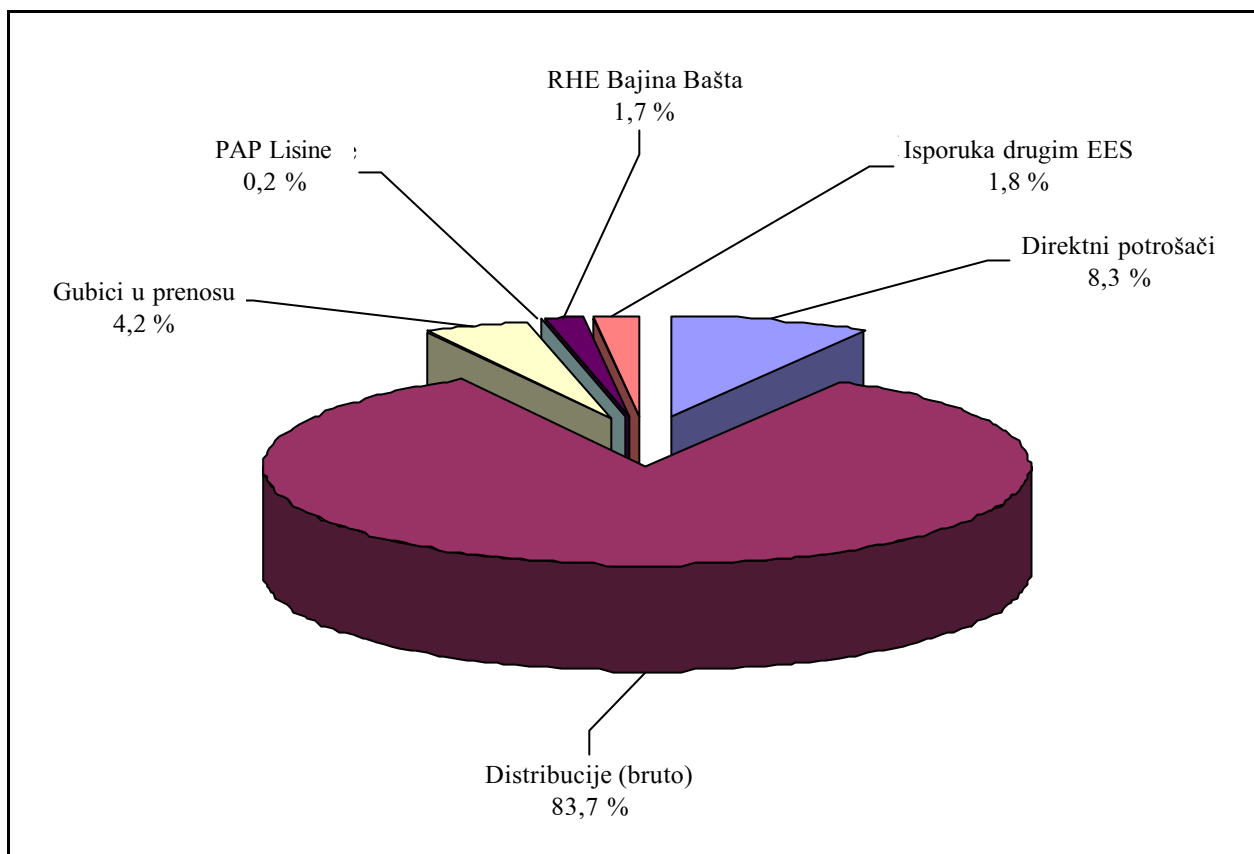


Slika 2. Mesečni bruto konzum EES SCG



Slika 3. Mesečna proizvodnja i bruto konzum u SCG





Slika 4. Učešće potrošača električne energije u ukupnom plasmanu električne energije u EES SCG u 2004. godini

No, i pored toga, u pojedinim trenucima zimskih opterećenja nedostajalo je cca 730 MW snage, a zimi i do 15 GWh električne energije dnevno.

#### b) U EPCG:

– najveća mesečna bruto potrošnja je bila u januaru 2004. godine i iznosila je **442,9 GWh** (najveća mesečna bruto potrošnja u 2003. godini je bila 431,5 GWh);

– najveća dnevna potrošnja je bila 25. januara 2004. godine i iznosila je **15,9 GWh** (najveća dnevna potrošnja u 2003. godini je bila 15,4 GWh);

– najveća srednja satna snaga je bila 25. januara **742 MW** u 19 časova (najveća srednja satna snaga u 2003. godini je bila 732 MW) i

– prosečna dnevna potrošnja na godišnjem nivou u 2004. godini je iznosila **11,9 GWh** (planirana 12,1 GWh dok je u 2003. godini ostvarena prosečna dnevna potrošnja bila 11,9 GWh).

Tabela 5.

#### Razmena električne energije između republičkih elektroprivreda

| Razmena električne energije između EPS-a i EPCG | Plan za 2004. (GWh) | Ostvareno u 2004. (GWh) | Ostvareno u 2004/ Plan u 2004. (%) | Ostvareno u 2003. (GWh) | Ostvareno 04/03. (%) | Plan za 2005. (GWh) | Plan za 05/04. (%) |
|---|---------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| EPS isporučio EPCG                              | 1 068               | 1 221,1                 | 114,3                              | 1 297,1                 | 94,1                 | 1 066               | 87,3               |
| EPCG isporučio EPS-u                            | 762                 | 1 322,9                 | 173,6                              | 876,6                   | 150,9                | 762                 | 57,6               |

Napomena: pomenutim ugovorom je definisan odnos između vršne energije koju EPCG isporučuje EPS-u i energije u bandu koju EPS isporučuje EPCG u : 1,415 : 1.

#### 4. MEĐUSOBNA RAZMENA ELEKTRIČNE ENERGIJE DVE ELEKTROPRIVREDE

Razmena električne energije između dva sistema u 2004. godini je na visokom nivou.

EPS je tokom prošle godine EPCG isporučio električne energije **1 221,1 GWh** ili **114,3 %** od plana, što je u odnosu na isporučenu električnu energiju u 2003. godini za 5,9 % manje (tabela 5 i slika 5).

EPCG je tokom 2004. godine EPS-u isporučio električne energije **1 322,9 GWh** ili **173,6 %** plana, što je u odnosu na 2003. godinu više 50,9 % .

#### 5. RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE SA EES IZVAN SCG

Elektroprivredna preduzeća koja sačinjavaju EES SCG, su tokom 2004. godine isporučila električne energije **744,6 GWh**, (2003. godine 1 075,7 GWh ) dok su u trenucima potreba, pretežno u zimskim mesecima, nabavila električne energije **2 761,9 GWh** (2003. godine 4 243,8 GWh). Tabele 1 i 3, prikazuju podatke o toj isporuci i nabavci. Kada se analiziraju ti podaci u odnosu na bilans u 2004. godini, onda su odnosi sledeći:

– nabavka električne energije u 2004. godini bila je veća od plana za **30,2 %**, odnosno za 34,9 % manja od nabavke električne energije u 2003. godini,

– isporuka električne energije (što je pretežno vraćanje električne energije zadužene ranijih godina) je bila za **216,8 %** veća od plana, a manja nego 2003. godine za 30,8 %.

Glavni deo isporuka električne energije je ostvario EPS (**97,1 %** od ukupne isporuke električne energije), dok je kod uvoza električne energije EPCG uvezla električne energije **52,5 %** (od ukupnog uvoza SCG).

Na slikama 6 i 7 prikazano je kako se kretala (mesečno) isporuka i nabavka električne energije EES SCG tokom 2004. godine.

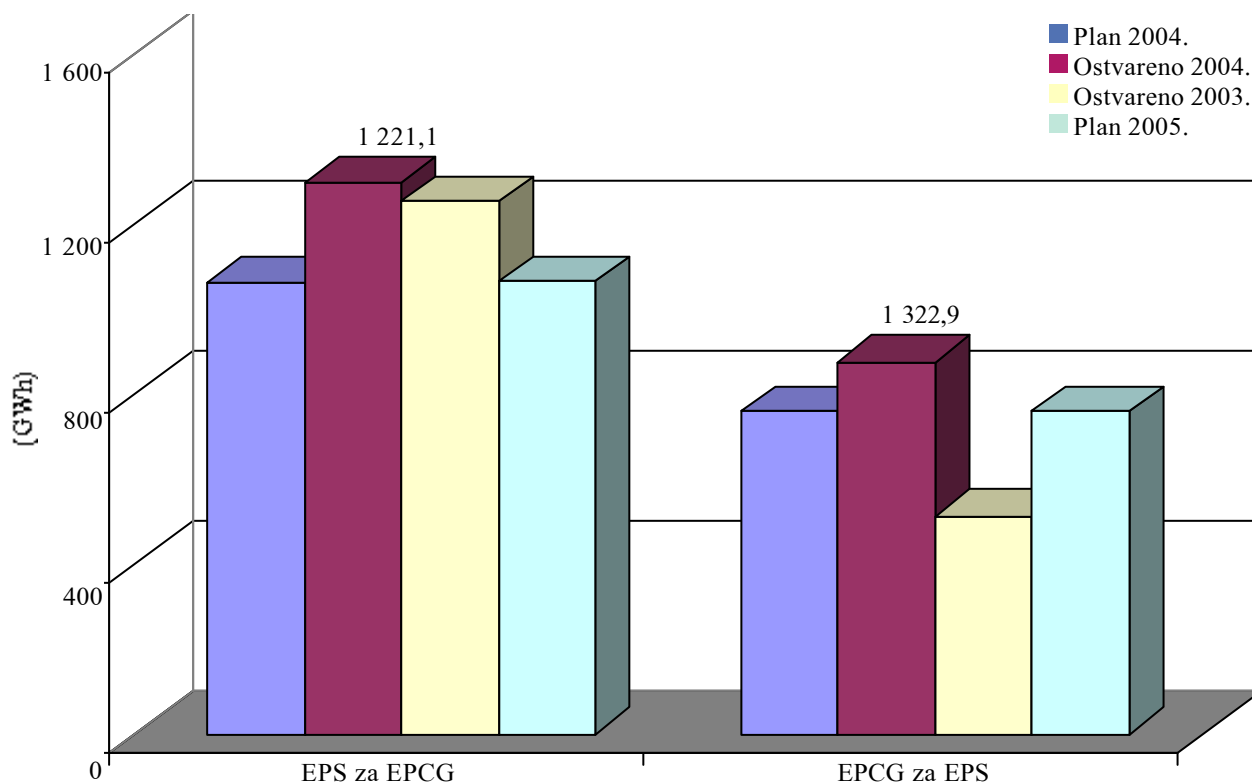
#### 6. STANJE AKUMULACIJA

U tabeli 6 i pripadajućem dijagramu na slici 8 prikazano je stanje akumulacija u EES SCG tokom 2004. godine, sa poređenjem u odnosu na 2003. i plan za 2005. godinu.

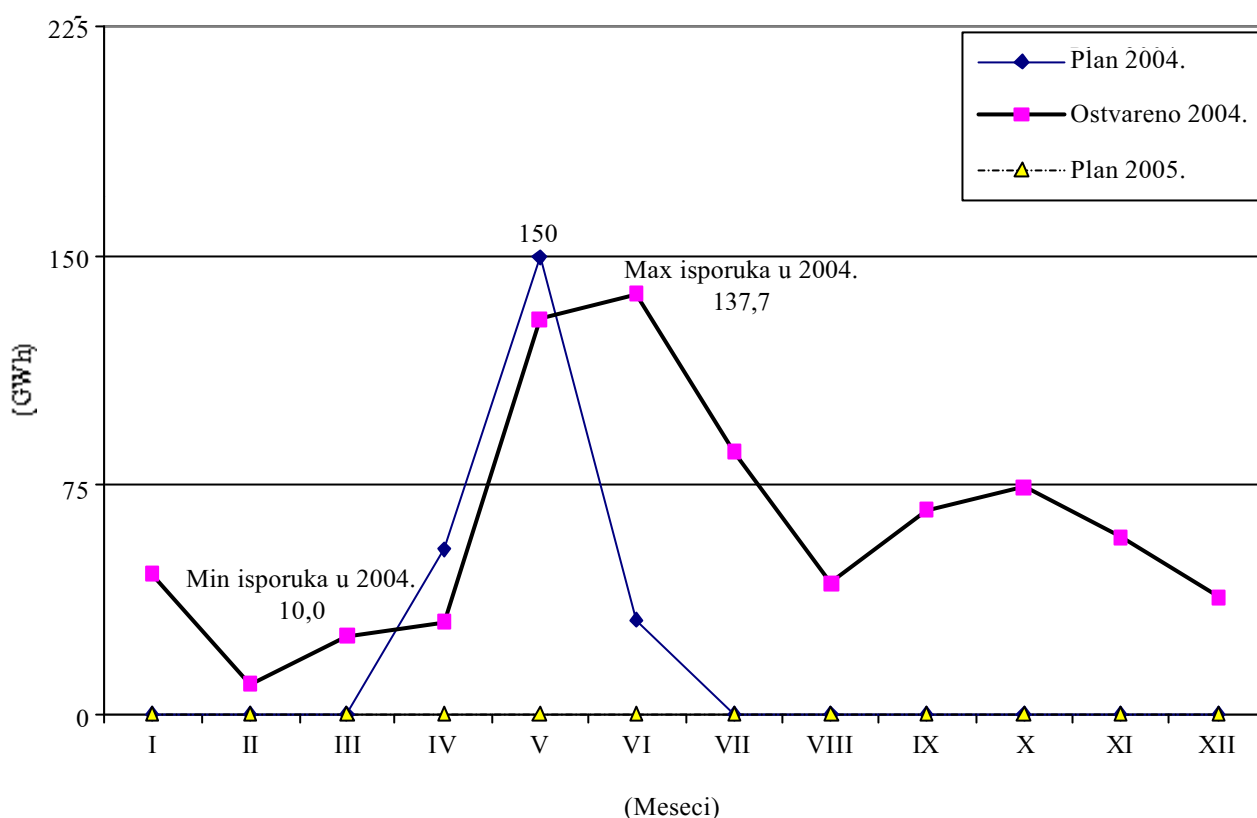
Stanje je bilo tako da je 31.12.2004. godine dočekan sa **115,3 %** plana akumulacija (zbirnog plana republičkih bilansa), a to je **68,4 %** maksimalno mogućih akumulacija EES SCG.

#### 7. OTKRIVKA UGLJA

Pošto od veličine otkrivke uglja zavisi proizvodnja uglja, a samim tim i popunjenost deponija



Slika 5. Razmena električne energije između dve elektroprivrede



Slika 6. Isporuka električne energije EES SCG drugim EES sistemima

Tabela 6.

Stanje akumulacija za HE

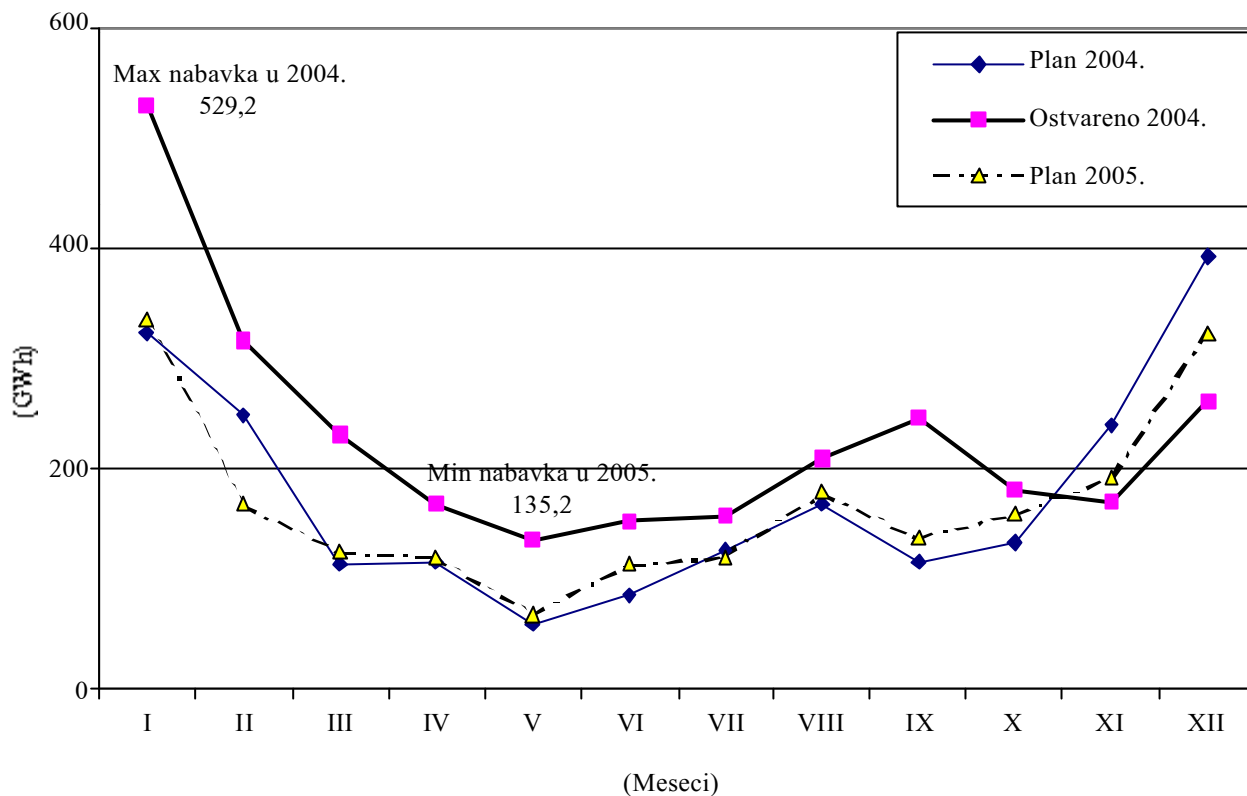
| Akumulacije                        | 01. I   | II      | III     | IV      | V       | VI      | VII     | VIII    | IX      | X       | XI      | XII     | 31. XII |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Plan 2004. (GWh)                   | 739     | 590     | 474     | 635     | 877     | 1 156   | 1 271   | 1 292   | 1 274   | 1 185   | 975     | 950     | 937     |
| Ostvareno 2004. (GWh)              | 993,8   | 1 057,3 | 1 065,9 | 1 207,5 | 1 343,4 | 1 389,9 | 1 348,2 | 1 274,1 | 1 255,6 | 1 203,8 | 1 198,4 | 1 206,4 | 1 081,1 |
| Ostvareno 2004/Planirano 2004. (%) | 134,5   | 179,2   | 224,9   | 190,2   | 153,2   | 120,2   | 106,1   | 98,6    | 98,6    | 101,6   | 122,9   | 127,0   | 115,3   |
| Ostvareno 2003. (GWh)              | 1 341,8 | 1 397,9 | 1 051,5 | 888,6   | 1 004,4 | 1 053,2 | 929,1   | 833,7   | 713,2   | 708,5   | 756,9   | 1 015,6 | 987,4   |
| Ostvareno 2004/Ostvareno 2003. (%) | 74,1    | 75,6    | 101,4   | 135,9   | 133,8   | 132,0   | 145,1   | 152,8   | 176,1   | 169,9   | 158,3   | 118,8   | 109,5   |
| Ostvareno 2004/Maksimum (%)        | 62,9    | 66,9    | 67,4    | 76,4    | 85,0    | 87,9    | 85,3    | 80,6    | 79,4    | 76,2    | 75,8    | 76,3    | 68,4    |
| Plan 2005. (GWh)                   | 803     | 654     | 509     | 662     | 898     | 1 173   | 1 272   | 1 286   | 1 233   | 1 151   | 1 006   | 1 024   | 961     |
| Planirano 2005/Ostvareno 2004. (%) | 80,8    | 61,9    | 47,8    | 54,8    | 66,8    | 84,4    | 94,3    | 100,9   | 98,2    | 95,6    | 83,9    | 84,9    | 88,9    |
| Planirano 2005/Maksimum (%)        | 50,8    | 41,4    | 32,2    | 41,9    | 56,8    | 74,2    | 80,5    | 81,4    | 78,0    | 72,8    | 63,6    | 64,8    | 60,8    |

Napomena:

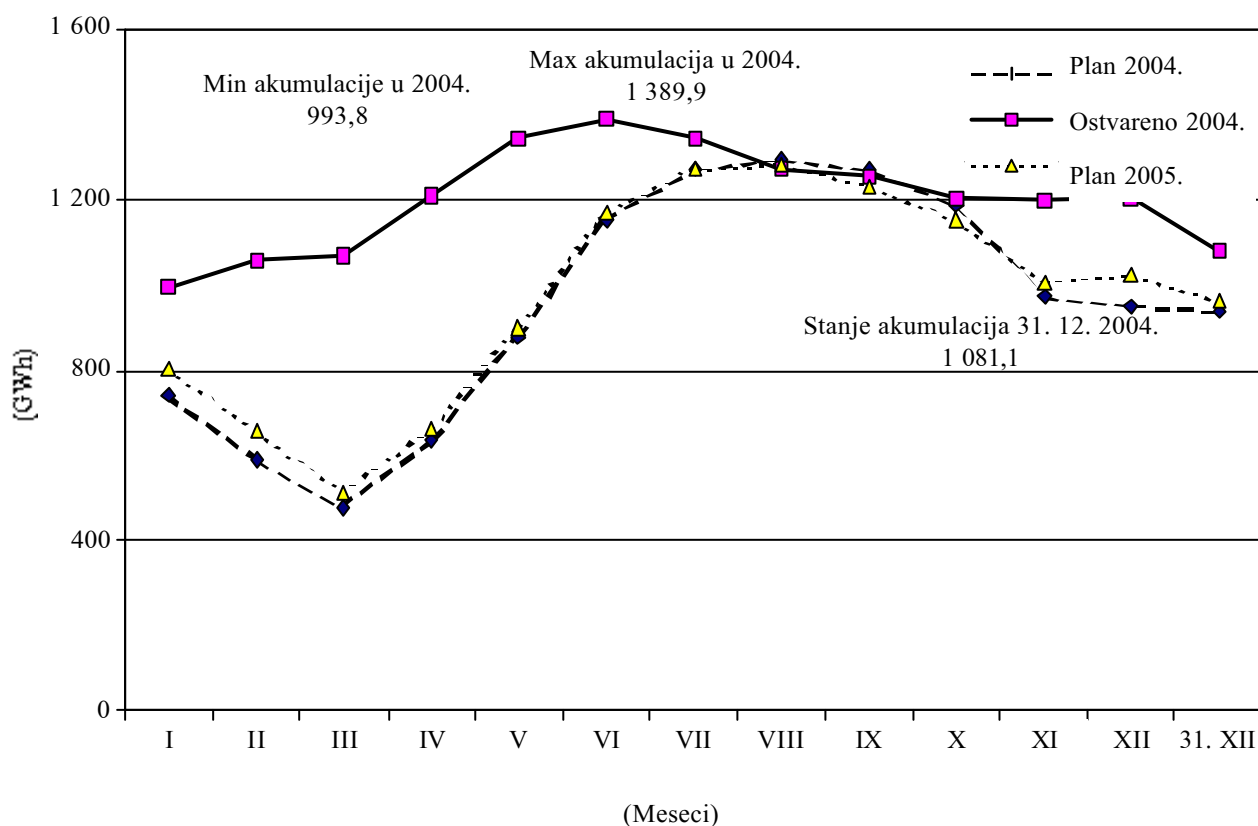
Maksimalne akumulacije EPS-a sa uticajem Uvca iznose: 995,6 GWh

Maksimalne akumulacije EPCG sa Pivom iznose: 585,0 GWh

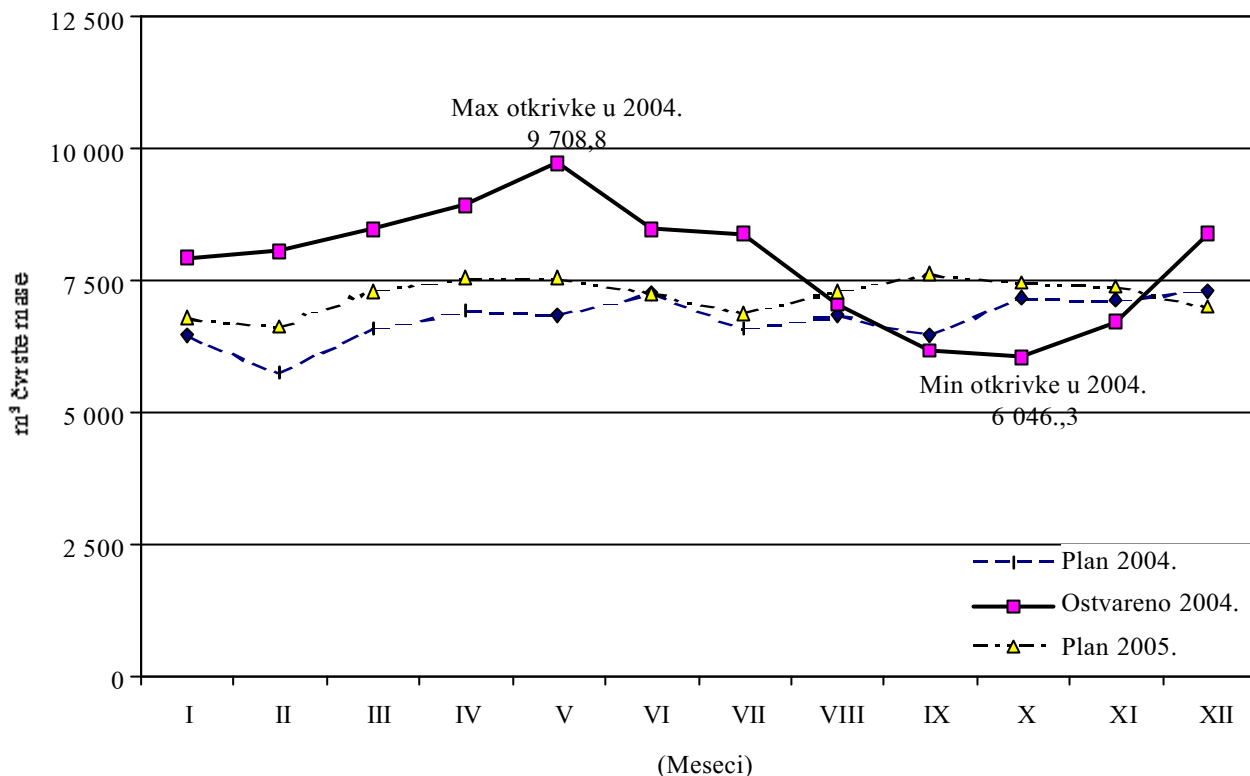
Maksimalne akumulacije SCG sa uticajem Uvca iznose: 1 580,6 GWh



Slika 7. Nabavka EES SCG (plan SCG kao zbir planova elektroprivreda)



Slika 8. Akumulacije za HE EES SCG



Slika 9. Mesečne otkrivke uglja u SCG

Tabela 7.

### Otkrivka uglja u republikama Srbiji i Crnoj Gori

| Otkrivka                           | Plan 2004.<br>(m <sup>3</sup> čvrste mase) | Ostvareno 2004.<br>(m <sup>3</sup> čvrste mase) | Ostvareno 2004/<br>Planirano 2004.<br>(%) | Ostvareno 2003.<br>(m <sup>3</sup> čvrste mase) | Ostvareno 2004/<br>Ostvareno 2003.<br>(%) | Plan 2005.<br>(m <sup>3</sup> čvrste mase) | Planirano 2005/<br>Ostvareno 2004.<br>(%) |
|------------------------------------|--|---|---|---|---|--|---|
| Otkrivka u rudnicima EPS-a         | 75 800                                     | 90 682,6  | 120,1                                     | 93 699,2  | 96,8                                      | 72 700                                     | 80,2                                      |
| Otkrivka u rudniku „Pljevlja”      | 5 800                                      | 3 587,2   | 61,8                                      | 4 579,7   | 78,3                                      | 5 800                                      | 161,7                                     |
| <b>Ukupna otkrivka uglja u SCG</b> | <b>81 300</b>                              | <b>94 269,8</b>                                 | <b>116,0</b>                              | <b>98 278,9</b>                                 | <b>95,9</b>                               | <b>78 500</b>                              | <b>83,3</b>                               |

Napomena: Podaci za EPS su bez Kosova i Metohije

uglja i rad TE, to će se u ovom poglavlju kao i na slici 9 i u tabeli 7 dati i ova problematika, jer njena uspešnost itekako utiče na ostale rezultate ostvarenja EB zemlje.

Na nivou zemlje otkrivka uglja, kao prost zbir otkrivki uglja u Republikama, ostvarena sa **116,0** % plana (sa isključenjem podataka za plan i proizvodnju na Kosovu i Metohiji, koji nam nisu dostupni).

Ostvarenje plana otkrivke uglja u EPS-u u 2004. godini (bez podataka za plan i proizvodnju na Kosovu i Metohiji) je iznosilo **120,1** % i manja je od ostvarene u 2003. godini **3,2** %. Plan otkrivke uglja u 2005. godini predviđa smanjenje iste u odnosu na

ostvarenu u 2004. godini za cca **19,8** % (samo uzimanje u obzir otkrivke u Kolubari i Kostolcu).

Otkrivka uglja u RCG u 2004. godini je iznosila **61,8** % od plana. Ista je manja u odnosu na ostvareno u 2003. godini 21,7 %, a planom za 2005. godinu predviđeno je da bude veća nego ostvarena u 2004. godini za 61,7 %.

### 8. DEPONIJJE UGLJA ZA TE

U energetske bilansima Republika, plan deponija uglja za TE i njihovo stanje tokom 2004. godine prikazano je na slici 10 i u tabeli 8, sa poređenjem:

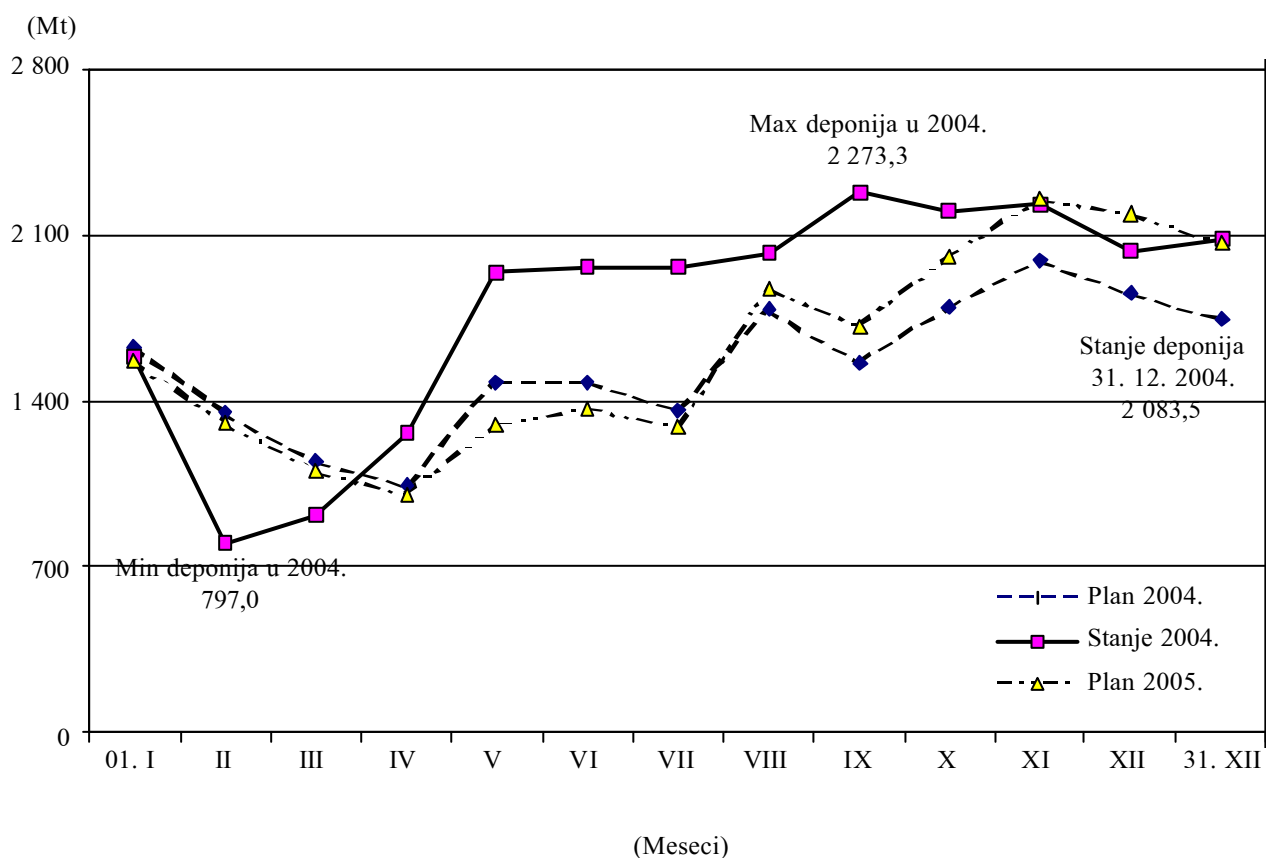
Tabela 8.

## Deponije uglja TE u SCG bez TE na Kosovu i Metohiji

Mt

|                             | 01. I   | II      | III     | IV      | V       | VI     | VII     | VIII    | IX      | X       | XI      | 01. XII | 31. XII |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Plan 2004. (Mt)             | 1 630   | 1 355   | 1 146   | 1 050   | 1 480   | 1 481  | 1 356   | 1 781   | 1 559   | 1 798   | 1 991   | 1 853   | 1 743   |
| Stanje 2004. (Mt)           | 1 586,7 | 797,0   | 916,4   | 1 258,9 | 1 942,0 | 1966,2 | 1 963,3 | 2 025,5 | 2 273,3 | 2 195,4 | 1 977,9 | 2 035,8 | 2 083,5 |
| Stanje 2004/Plan 2004. (%)  | 97,3    | 58,8    | 80,0    | 119,9   | 131,2   | 132,8  | 144,8   | 113,7   | 145,8   | 122,1   | 111,7   | 109,9   | 119,6   |
| Stanje 2003. (Mt)           | 2 227,2 | 2 108,2 | 1 763,3 | 1 504,8 | 987,1   | 834,2  | 931,6   | 1 461,8 | 1 617,5 | 1 804,6 | 1 977,9 | 1 995,8 | 1 597,5 |
| Stanje 2004/Stanje 2003.(%) | 71,2    | 37,8    | 52,0    | 83,7    | 196,7   | 235,7  | 210,7   | 138,6   | 140,5   | 121,7   | 112,4   | 102,0   | 130,4   |
| Stanje 2004/Maksimum (%)    | 68,4    | 34,4    | 39,5    | 54,3    | 83,7    | 84,8   | 84,6    | 87,3    | 98,0    | 94,6    | 95,9    | 87,8    | 89,8    |
| Plan 2005. (Mt)             | 1 570   | 1 311   | 1 104   | 1 006   | 1 299   | 1 367  | 1 294   | 1 870   | 1 717   | 2 010   | 2 244   | 2 184   | 2 066   |
| Plan 2005/Stanje 2004. (%)  | 98,9    | 164,5   | 120,5   | 79,9    | 66,9    | 69,5   | 65,9    | 92,3    | 75,5    | 91,6    | 100,9   | 107,3   | 99,2    |
| Plan 2005/Maksimum (%)      | 67,7    | 56,5    | 47,6    | 43,4    | 56,0    | 58,9   | 55,8    | 80,6    | 74,0    | 86,6    | 96,7    | 94,1    | 89,1    |

Napomena: Deponije u EPS-u su bez deponija za Kosovo i Metohiju (max 2 160 Mt) EPCG (max 160 Mt)



Slika 10. Deponije uglja za TE EES SCG

stanja deponija u odnosu na ostvareno u 2003. godini i planom deponija za 2005. godinu.

## 9. ZAKLJUČAK

*Kada se analiziraju proizvodnja i potrošnja električne energije u 2004. godini, kao i ostali aspekti vezani za tu vrstu problematike, može se konstatovati sledeće:*

- kao posledica kvalitetnijih remonata i održavanja, evidentni su i bolji rezultati u radu i proizvodnji čitavog EES;
- zahvaljujući primeni novog tarifnog sistema (u EPS-u), i dalje je smanjenje maksimalnog dnevnog opterećenja u mreži EPS-a, kao i rast minimalnog dnevnog opterećenja, što dovodi do nešto ravnomernijeg dnevnog dijagrama opterećenja na nivou SCG;
- delimično se popravljaju i tehnička efikasnost izvora električne energije;
- potrebno je stvoriti uslove za što racionalnije korišćenje električne energije;
- potrebno je nastaviti sa intenzivnim ulaganjem u remonte na svim nivoima, pripremom revitalizacije, kao i novim investicijama;

**Generalna napomena čitaocima: ukoliko bi čitalac proveravao zbirne u tabelama, našao bi mala neslaganja, što je posledica zaokruživanja na jednu decimalu, jer su podaci dati, recimo u kWh,**

**a u tabelama su prikazivani u GWh, pa otuda i razlika. Isto važi i kada su procenti (%) u pitanju.**

## 11. LITERATURA

- [1] UGOVOR O DUGOROČNOJ POSLOVNO–TEHNIČKOJ SARADNJI, mart 1991. godine.
- [2] EEB REPUBLIKE SRBIJE (aktuelizovani) U 2003, 2004. i 2005. GODINI.
- [3] EB REPUBLIKE CRNE GORE U 2003, 2004. i 2005. GODINI.
- [4] KOMERCIJALNI PODACI EPS-a O OSTVARENJU EEB u 2004, Beograd, 03. 02. 2005. godine.
- [5] IZVEŠTAJ O PROIZVODNJI I PROMETU ELEKTRIČNE ENERGIJE EPCG u 2004, Podgorica NDC 3301/130 od 25. 01. 2005. godine.
- [6] IZVEŠTAJ EPS-a O OSTVARENJU PROIZVODNJE UGLJA, Beograd, br. 374, 14. 01. 2005. godine.
- [7] IZVEŠTAJ RUDNIKA UGLJA PLJEVLJA O OSTVARENJU PROIZVODNJE UGLJA, Pljevlja, januar 2005. godine.
- [8] ELEKTROPRIVREDA SRBIJE 2003. GODINA, Beograd, 2004. godine.
- [9] ELEKTROPRIVREDA CRNE GORE 2003. GODINA, Nikšić, 2004. godine.
- [10] ELEKTROPRIVREDA SRBIJE 2004. GODINA, Beograd, 2005. godine.

Rad je primljen u uredništvo 31. 01. 2005. godine



**Branislav A. Bošković** je rođen 1946. godine u Kolašinu. Srednju tehničku školu i prvi stepen elektrotehničkog fakulteta završio u Titogradu (danas Podgorica), a drugi stepen u Beogradu. Po završetku studija, radio u „Minelu” i „Elektronu”, kao i za strane kompanije, na izgradnji elektroenergetskih i industrijskih postrojenja u zemlji i inostranstvu. Od 1996. godine zaposlen u Zajednici jugoslovenske elektroprivrede. Oblast rada u ZJE je bio EEB SRJ.

---

# Uputstvo autorima za saradnju u stručnom glasilu „Elektroprivreda”

**U stručnom glasilu se objavljuju kategorisani članci:  
originalni naučni radovi, prethodna saopštenja, pregledni radovi i stručni radovi  
iz oblasti elektroprivrede, odnosno energetike.**

---

*Pismo: ćirilica ili latinica. Na početku se navode imena autora sa zvanjima i akademskim titulama, naziv preduzeća, odnosno dela preduzeća ili ustanove sa adresom, kao i naslov rada (na srpskom i engleskom jeziku). Rezime rada (na srpskom i engleskom jeziku) sadrži kratko izloženu osnovnu strukturu i sadržaj rada, i ne treba da sadrži više od 200 reči. Ključne reči se takođe navode na srpskom i engleskom jeziku.*

*Treba izbegavati celovita matematička izvođenja vezana za relacije koje opterećuju proučavanje rada. Neophodna matematička izvođenja mogu se dati, po potrebi, kao celine u vidu jednog ili više priloga. Treba obavezno koristiti SI sistem jedinica i opšte prihvaćene pojmove.*

*Jednačine treba numerisati uz desnu marginu teksta, u malim (okruglim) zagradama. Pozivanje na jednačine u tekstu vrši se pomoću malih zagrada, a pozivanje na literaturu pomoću srednjih (uglastih) zagrada. Značenje skraćenice objasniti pri njenom prvom korišćenju u tekstu. Strane reči se prevode na srpski, a original se piše u zagradi iza prevoda. Napomena u tekstu treba da bude što manje, a ukoliko ih ima, treba da budu kratke. Napomene se označavaju rednim arapskim brojevima i navode se na dnu stranice, kao fusnote. Napomene u tabelama označavaju se malim slovima i navode se odmah ispod tabele. Na kraju rada prilaže se spisak korišćene literature. Za članke, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naslov ra-*

*da, pun naziv časopisa, broj i godina publikovanja i prvi i poslednji broj stranice. Za knjige, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naslov knjige, izdavač i godina izdanja. Za referate sa konferencija, navode se prezimena i početna slova imena svih autora, naziv referata, pun naziv konferencije, broj referata, mesto i vreme održavanja konferencije.*

*Rad ne treba da prelazi 15 kucanih strana formata A4 sa marginama od 3 cm. Tabele, slike i fotografije treba obeležiti po redosledu i uključiti u tekst.*

*Autor može dati predlog kategorizacije rada u skladu sa Uputstvom za uređivanje časopisa (originalni naučni rad, prethodno saopštenje, pregledni članak i stručni članak). Autor ne može istu ili sličnu verziju rada istovremeno ponuditi drugim časopisima radi objavljivanja.*

*Autor dostavlja rad u elektronskom obliku na disketi i na papiru, u tri primerka. Za elektronski oblik rada, preporučuje se autoru da koristi program za pisanje teksta Word i tip slova Times New Roman (font 12, a razmak 1,5).*

*Rad se šalje na adresu:*

**ZAJEDNICA  
JUGOSLOVENSKE  
ELEKTROPRIVREDE**  
Balkanska 13/II, 11000 Beograd