



Elektroprivreda

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

Godina **LXI** Januar-Mart Broj **1**
Year January-March No. **1**

Sadržaj *Strana* *Page* *Content*

Milan Čalović i Miodrag Mesarović

VETROELEKTRANE U SAVREMENIM
ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA 3 WIND POWER PLANTS
IN MODERN POWER SYSTEMS

Miloje Kostić

STANDARDI I METODE ZA ODREĐIVANJE GUBITAKA SNAGE
I STEPEN ISKORIŠĆENJA ASINHRONIH MOTORA 16 STANDARDS AND METHODS FOR DETERMINING
LOSSES AND EFFICIENCY OF INDUCTION MOTORS

Josif V. Spirić, Miroslav B. Dočić, Slaviša G. Ivković

PROCENA GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE NA TIPIČNOM
NADZEMNOM IZVODU NISKOG NAPONA SEOSKOG PODRUČJA 31 POWER LOSS EVALUATION IN TYPICAL OVERHEAD LOW
VOLTAGE FEEDER OF RURAL AREAS

Saša Stojković i Dragan Milojević

TROFAZNI SIMULACIONI MODEL ZA ANALIZU
UGROŽENOSTI IZOLACIJE ELEMENATA TS 110/35/10 KV/KV/KV 40 THREE-PHASE SIMULATION MODEL FOR ANALYZING THE
BACKFLASHOVER HARMFUL EFFECT ON „KRALJEVO 2”
„KRALJEVO 2”USLED POVRATNOG PRESKOKA 110/35/10 KV/KV/KV SUBSTATION SWITCHGEAR INSULATION

Vladica Mijatović

POKAZATELJI POUZDANOSTI ZA DISTRIBUTIVNE SISTEME 50 DISTRIBUTION SYSTEMS RELIABILITY INDICES

Dragan Vučković, Miodrag Stojanović i Predrag D. Rančić

OSTVARLJIVI ENERGETSKI EFEKTI PRIMENE KOMPAKTNIH
FLUORESCENTNIH SVETLOSNIH IZVORA U OSVETLJENJU 59 POSSIBLE ENERGY EFFECTS OF USING COMPACT
FLUORESCENT LAMPS
DOMAĆINSTAVA IN RESIDENTIAL LIGHTING

Dardan Klimenta, Viktor Kuč i Jordan Radosavljević

SPECIFIČNI KVAROVI KOD PODZEMNIH
KABLOVSKIH VODOVA U BLIZINI VISOKOG RASTINJA 70 SPECIFIC FAILURES ON UNDERGROUND POWER CABLES
LAID NEAR HIGH VEGETATION

Žarko Markov

PRORAČUN UPRAVLJAČKE JEDINICE U PAKETSKOJ
TELEFONSKOJ MREŽI ELEKTROPRIVREDE SRBIJE 80 CALCULATION OF CCU THROUGHPUT
IN EPS PACKET TELEPHONE NETWORK

Svetomir Maksimović

PRIMENA MEĐUSEKTORSKE ANALIZE U PRIVREDNIM
DRUŠTVIMA TERMOENERGETSKOG SEKTORA 85 APPLICATION OF INTERSECTOR ANALYSIS
IN CORPORATE ENTERPRISES OF EPS
ELEKTROPRIVREDE SRBIJE THERMAL POWER SECTOR

Branislav A. Bošković

OSTVARENJE ELEKTROENERGETSKOG BILANSA
ELEKTROPRIVREDA SRBIJE I CRNE GORE 93 REALIZATION OF THE POWER BALANCE
OF SERBIA AND MONTENEGRO
U 2008. GODINI SA OSVRTOM NA 2007. GODINU IN 2008 WITH RETROSPEKTIVE VIEW ON 2007

Dragutin Salomon

Prikaz monografije *Monograph review*

POUZDANOST SISTEMA ZA DISTRIBUCIJU
ELEKTRIČNE ENERGIJE 108 ELECTRIC ENERGY DISTRIBUTION
SYSTEM RELIABILITY

IZDAVAČ:**PUBLISHER:****ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE
UNION OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER INDUSTRY**

11 000 Beograd, Balkanska 13

Telefon: 2686-633, 2643-823, 2688-092, 2687-199 (centrala)

Telefaks: 2686-398

Internet strana: www.eps.co.yu; www.epcg.cg.yu;Elektronska pošta: jugel@sezampro.yu; jugel@beocity.net**VD DIREKTORA I GLAVNOG I ODGOVORNOG UREDNIKA
ACTING DIRECTOR AND CHIEF EDITOR**

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.

IZDAVAČKI SAVET**PUBLISHING COUNCIL**

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.,

Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd, predsednik;

Prof. dr Jeroslav Živanić, dipl. ing. el., Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički fakultet u Čačku, član;

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

Dr Slobodan Ružić, dipl. ing. el., Agencija za energetske efikasnost, inženjering i konsalting

„Energy Saving Group”, Beograd, član;

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

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

REDAKCIONI ODBOR**EDITORIAL BOARD**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dr Rade Filipović, dipl. ing. el., JP „Elektroprivreda Srbije” PD TENT, Beograd, član;

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

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

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

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

Gojko Vlasisavljević, dipl. ing. el., Beograd, član;

Aleksandar Vlajčić, dipl. ing. el., JP „Elektroprivreda Srbije” PD TENT, Beograd, član;

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

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

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

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

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

Lela Lončar, dipl. filolog, Beograd, član.

**LEKTOR I PREVODILAC
LINGUISTIC REVIEW
& TRANSLATION**Zlata Milinović,
dipl. filolog

Časopis „Elektroprivreda” izlazi kvartalno.

The „Elektroprivreda” journal is issued quarterly.

Prelom teksta: Agencija „Negativ”, 11 070 Novi Beograd, Ismeta Mujezinovića 20 a**Layout and design:** Agencija „Negativ”, 11 070 Novi Beograd, Ismeta Mujezinovića 20 a**Štampa:** „BS print”, 11 070 Novi Beograd, Bežanijskih ilegalaca 70**Printed by:** „BS print”, 11 070 Novi Beograd, Bežanijskih ilegalaca 70**Tiraž:** 1 100 primeraka**Circulation:** 1,100 copiesCIP – Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

620.9

ELEKTROPRIVREDA : časopis Zajednice
jugoslovenske elektroprivrede / v. d. glavnog i
odgovornog urednika Branislav Bošković. –
God. 1, br. 1 (1948)– . – Beograd
(Balkanska 13) : Zajednica jugoslovenske
elektroprivrede, 1948– (Beograd : BS print).
– 28 cm

Tromesečno

ISSN 0013-5755 = Elektroprivreda

COBISS.SR-ID 32023

Vetroelektrane u savremenim elektroenergetskim sistemima

Stručni rad
UDK: 621.395

Rezime:

Osnovni zadatak svake elektrane, pa i vetroelektrane, u elektroenergetskom sistemu je da zadovolji zahteve potrošača na pouzdan, ekonomičan i ekološki prihvatljiv način. Različiti tipovi elektrana ne ispunjavaju taj zadatak na isti način, ali se u zajedničkom sistemu one dopunjavaju. U ovom radu su definisani osnovni pokazatelji performansi vetroelektrana. Diskutovani su načini zadovoljenja standarda elektroenergetskog sistema i stepen u kome ih vetroelektrane ispunjavaju.

Zaključak je da, s obzirom na relativno ograničene resurse vetra kao energenta u Srbiji, ne bi trebalo da postoji strah od teškoća koje bi uvođenje vetroelektrana izazvalo u planiranju i eksploataciji budućeg elektroenergetskog sistema u našoj zemlji. To podrazumeva da se o svakoj od njih pojedinačno vodi računa pri planiranju, projektovanju i eksploataciji vetroelektrana.

Ključne reči: elektroenergetski sistemi, vetroelektrane, prekidnost, akumulacija energije, ekonomičnost elektrane

Abstract:

WIND POWER PLANTS IN MODERN POWER SYSTEMS

The basic task of any power plant, as well as wind power plants, in a power system is to satisfy consumer demands on reliable, economical and environmentally acceptable way. Different power plant types do not fulfill this task in the same way, but in the common system they act complementarily. In this paper the main performance denominators of wind power plants are defined. It also discusses the mode of meeting system standards and the degree of fulfillment of principal requirements by the wind power plants.

The conclusion is that, considering relatively limited wind energy resources in Serbia, there should be no fear of difficulties that introduction of wind power plants could provoke in planning and exploitation of future electric power system in our country.

That implies that every one of them should specifically be considered and taken into account in planning, designing and exploitation of wind power plants

Key words: power systems, wind power plants, intermittency, energy storage, plant's economy

1. UVOD

Među postojećim tipovima elektrana, vetrolektrane pripadaju kategoriji raspodeljenih i novih izvora, čiji je razvoj poslednjih godina bio vrlo intenzivan. U tabeli 1 dati su podaci o instalisanim kapacitetima i proizvodnji električne energije u 2005. godini, ostvarenoj iz najvažnijih obnovljivih izvora, a u tabeli 2 su navedeni podaci o instalisanim snagama samo za vetrolektrane tokom 2006. i 2007. godine u zemljama članicama Evropske Unije [1,2]. Iz tih tabela se vidi da je ukupni instalisani kapacitet (u EU-27) krajem 2007.godine bio 56 535 MW, uz godišnji porast u poslednje 3 godine od 18,64 % za 2006/2005. godinu i 17,61 % za 2007/2006. godinu (ukupno 39,56 % za 2007/2005. godinu), i da je učešće vetrolektrana za EU-25 u udelu obnovljivih izvora 2005. godine bilo dominantno (oko 75 % u instalisanim kapacitetima i 62 % u godišnjoj proizvodnji) [1]. Te činjenice zahtevaju da se pokloni puna pažnja performansama vetrolektrana pri paralel-

nom radu sa drugim elektranama u zajedničkom elektroenergetskom sistemu, jer njihovo učešće u pokrivanju potreba potrošača brzo raste i u nekim evropskim zemljama je premašilo 6 % (7 % u Nemačkoj, 8,42 % u Irskoj, 9,26 % u Portugaliji, 11,76 % u Španiji, 21,22 % u Danskoj) [2].

Pažnja se takođe mora pokloniti i načinu priključenja vetrogeneratora na električne mreže (posebno na distributivne mreže srednje-visokih napona) i na probleme ekonomije i kvaliteta sa gledišta opšteg vrednovanja tih novih izvora električne energije. U tom cilju je ovaj članak posvećen problemima vrednovanja vetrolektrana u sklopu savremenih elektroenergetskih sistema, čije je korišćenje u doba opšte nestašice svih vrsta energije postalo vrlo aktuelno.

Prosečan broj sati godišnjeg iskorišćenja instalisanog kapaciteta vetrolektrana u EU-25 2005. godine je:

$$(T_{wE}^g)_{2005} = 69\,132 \text{ GWh}/40\,517,8 \text{ GW} = 1\,706,2 \text{ h/godišnje,}$$

Tabela 1.

Instalisane snage i proizvodnja obnovljivih izvora u zemljama Evropske Unije (EU-25) u 2005. godini [1]

Zemlja	Vetrolektrane		Fotonaponske elektrane	Male hidroelektrane		Izvori na biogas
	(MW)	(TWh)	(MW)	(MW)	(TWh)	(GWh)
Nemačka	18 427,0	26,500	1 537,000	1 584,0	8,485	5 564,0
Španija	9 911,0	20,706	51,800	1 788,0	3,814	879,4
Danska	3 129,0	6,609	2,630	11,0	–	274,0
Italija	1 639,0	2,338	37,500	2 405,5	9,895	1 313,1
Engleska	1 565,0	2,908	10,664	157,9	0,467	469,0
Holandija	1 224,0	2,067	50,776	0,4	–	286,0
Portugalija	1 047,0	1,725	3,300	267,0	0,280	34,4
Austrija	816,9	1,325	24,021	1 062,0	3,999	57,7
Francuska	755,6	0,986	33,043	2 060,0	6,700	460,8
Grčka	573,3	1,337	5,444	89,0	0,327	179,0
Švedska	493,0	0,870	4,237	905,0	3,474	53,4
Irška	480,2	1,116	0,300	19,0	0,058	122,0
Belgija	167,4	0,180	1,765	58,0	0,173	236,9
Finska	82,2	0,167	4,002	306,0	1,240	21,7
Poljska	71,8	0,131	0,317	318,0	1,035	175,1
Luksemburg	35,3	0,052	23,266	20,5	0,075	27,1
Estonija	32,0	0,023	0,003	7,0	0,025	–
Letonija	24,0	0,046	0,005	25,0	0,066	–
Češka Republika	20,3	0,021	0,530	276,7	1,071	160,9
Mađarska	17,5	0,013	0,176	9,0	0,029	25,0
Slovačka	5,1	0,010	0,060	70,0	0,250	2,0
Litvanija	0,9	0,002	0,017	18,7	0,062	–
Kipar	–	–	0,625	–	–	–
Slovenija	–	–	0,216	–	0,379	32,2
Malta	–	–	0,015	143,3	–	–
Ukupno EU–25	40 517,8	69,132	1 791,712	11 601,0	41,925	14 593,8

Izvor: State of Renewable Energies in Europe 2006, EurObservER, Paris pp. 1-55 [1].

Tabela 2.

Instalisani kapaciteti vetroelektrana u zemljama Evropske Unije (EU-27) krajem 2006. i 2007. godine [2]

Redni broj	Zemlja	Instalisani kapacitet krajem godine (MW)		Porast u 2007/2006. (MW)
		2006.	2007.	
1.	Austrija	965	982	17
2.	Belgija	194	287	93
3.	Bugarska	36	70	34
4.	Kipar	-	-	-
5.	Češka Republika	54	116	62
6.	Danska	3 136	3 125	-11
7.	Estonija	32	58	26
8.	Finska	86	110	24
9.	Francuska	1567	2 454	927
10.	Nemačka	20 622	22 247	1 625
11.	Grčka	746	871	125
12.	Mađarska	61	65	4
13.	Irska	746	805	59
14.	Italija	2 123	2 726	603
15.	Letonija	27	27	-
16.	Litvanija	48	50	2
17.	Luksemburg	35	35	-
18.	Malta	-	-	-
19.	Holandija	1 558	1 746	188
20.	Poljska	153	276	123
21.	Portugalija	1 716	2 150	434
22.	Rumunija	3	8	5
23.	Slovačka	5	5	-
24.	Slovenija	-	-	-
25.	Španija	11 623	15 145	3 522
26.	Švedska	571	788	217
27.	Velika Britanija	1 962	2389	427
	Ukupno EU-27	48 069	56 535	8 466

dok je godišnji faktor kapaciteta bio

$$m_{wE}^g = 1\,706,2 / 8\,760 = 0,195.$$

Proizvodnja vetroelektrana je intermitentnog karaktera, sa velikim satnim dnevnim, sezonskim i godišnjim varijacijama. Ona prvenstveno zavisi od raspoloživosti vetra na lokaciji elektrane, a zatim i od pouzdanosti njenih elemenata. Oba ta uticajna faktora su stohastičke prirode, što otežava planiranje i vrednovanje te proizvodnje, posebno na srednjeročnom i dugoročnom intervalu pogona.

Kada se razmatra energetska i ekonomsko vrednovanje vetroelektrana, prvenstveno se ima na umu ušteta na gorivu i smanjenje proizvodnje štetnih gasova koje bi emitovale klasične termoelektrane zamjenjene vetroelektranama, a zatim socio-ekonomski aspekti i vrednost vetra kao primarnog energenta za proizvodnju električne energije.

Standardni karakteristični pokazatelji pri vrednovanju elektrana, sa gledišta elektroenergetskog sistema, u opštem slučaju su:

- Veličina i novčana vrednost proizvodnje vetroelektrana,
- Uticaj instalisane snage na pouzdanost elektroenergetskog sistema,
- Regulacione sposobnosti za različite vremenske intervale angažovanja tokom eksploatacije,
- Uticaj na gubitke u sistemu;
- Uticaj na investicije u prenosnoj i distributivnoj mreži;
- Kvalitet električne energije u prisustvu vetroelektrana.

2. VREDNOVANJE PROIZVODNJE VETROELEKTRANA

2.1. Veličina i novčana vrednost proizvodnje vetroelektrana

2.1.1. Proračun moguće proizvodnje

Primarni energetska resurs vetroelektrane je vetar, čija se kinetička energija posredstvom vetrotur-

bine pretvara u mehaničku, a ova dalje, preko sinhronog ili asinhronog električnog generatora u električnu energiju. Kinetička energija vetra, proračunava se preko opšte formula za proračun kinetičke energije kretanja vazduha usled vetra [3,4]:

$$W_{kin}^T = \frac{m_v^T (v_w^T)^2}{2} \quad (\text{J}), \quad (1)$$

gde je m_v^T masa vazduha koja tokom određenog perioda T prođe kroz turbinu, a v_w^T srednja vrednost brzine vetra u istom periodu. Protok vazduha kroz rotor vetrogeneratora izražava se preko formule

$$m_v = \varphi_v A_R v_2 = \varphi_v A_R (v_1 + v_3)/2, \quad (\text{m/s}), \quad (2)$$

gde je φ_v gustina vazduha u kg/m^3 , A_R površina koju briše rotor turbine u m^2 , a $v_1 = v_w$ je brzina vetra ispred, $v_2 = (v_1 + v_3)/2$ prosečna brzina vetra na turbini, dok je v_3 brzina vetra iza turbine (sve u m/s), tako da je snaga koju vetar predaje rotoru turbine

$$P_{WT} = \frac{1}{2} m_v (v_1^2 - v_3^2) = \frac{1}{4} \varphi_v A_R (v_1^2 - v_3^2)(v_1 + v_3) \quad (\text{W}) \quad (3)$$

Snaga vetra u neporemećenoj struji vazduha ispred turbine je

$$P_o = \frac{1}{2} \varphi_v A_R v_1^3 \quad (\text{W}), \quad (4)$$

tako da je odnos snaga (3) i (4)

$$P_{WT}/P_o = \frac{1}{2} (1 - (v_3/v_1)^2) \cdot (1 + v_3/v_1). \quad (5)$$

Energija vetra (1) kao i snaga vetroturbine (5) mogu se, uz odgovarajuće skaliranje, izraziti i u drugim jedinicama Međunarodnog sistema jedinica – energija u kJ, MJ i GJ, a snaga u kW, MW i GW. Mehanička snaga na osovini vetroturbine (3) u kvazistacionarnom stanju zavisi od brzine vetra ispred turbine (v_1), na samoj trubini (v_2) i iza turbine (v_3). Pokazuje se da se maksimalno iskoristiva snaga dobija ako je za brzinu vetra ispred vetroturbine $v_1 = v_w$, brzina na samoj turbini $v_2 = W_{WT} = 2/3 v_w$, a brzina iza turbine $v_3 = 1/3 v_w$ i prema Betzovoj formuli iznosi [3]:

$$P_{WT}^{max} = 16/27 Ar \rho_v v_w^3 = 0,593 Ar \rho_v v_w^3 \quad (\text{W}), \quad (6)$$

pri čemu treba računati samo sa iskoristivim brzinama vetra. To znači da P_{WT}^{max} zavisi od trećeg stepena brzine vetra i da se može iskoristiti najviše 59,3 % raspoloživog energetskog potencijala vetra [4] pri iskoristivim brzinama, definisanim u tački 2.4.

Moguća godišnja proizvodnja vetroelektrane (pri zanemarivanju relativno malih gubitaka u generatoru) je:

$$W_{wE}^g = \int_0^{T^g} P_{wE(t)} dt = P_{wEn} T_{wE}^g \quad (\text{kWh}) \text{ ili } (\text{MWh}), \quad (7)$$

pri čemu je ukupna nazivna snaga vetroelektrane P_{wEn} (kW) ili (MW) zbog efekta zasićenja usled međusobne bliskosti vetrogeneratora u elektrani, nešto manja od zbira njihovih nazivnih snaga P_{wTni} :

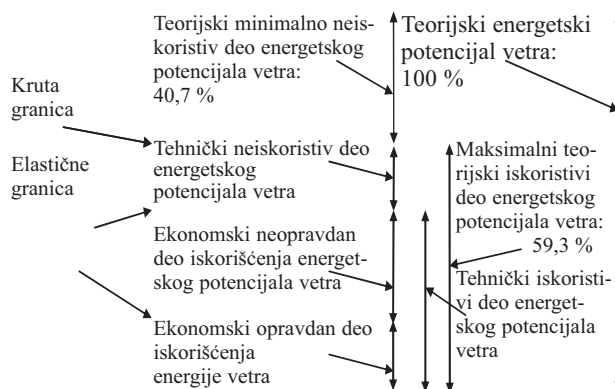
$$P_{wEn} = k \sum P_{wTni} \quad (\text{kW}) \text{ ili } (\text{MW}), \quad (8)$$

gde je $k \leq 1$ koeficijent interakcije, koji zavisi od međusobnog geometrijskog položaja agregata u vetroelektrani, a T_{wE}^g (h) je ekvivalentni broj sati godišnjeg iskorišćenja instalisane (nazivne) snage P_{wEn} elektrane, dok je $T^g = 8760$ h/godine u (prosto)j godini. Iz formula (1) i (3) vidi se da je dugoročno predviđanje režima vetra ključni problem pri analizi proizvodnje električne energije na određenoj lokaciji vetroelektrane. U toj analizi se proračunava dugoročna distribucija brzina i ruža vetrova. Ostale meteorološke veličine važne za proizvodnju svake vetroelektrane su gustina i intenzitet turbulencije vazduha, pa se na osnovu svih tih proračuna procenjuje proizvodnost i očekivani životni vek svakog vetroagregata pojedinačno u sklopu određenih celina.

2.1.2. Vetroenergetski potencijal

Dva metoda koja se primenjuju u dugoročnoj analizi vetroresursa, baziraju se na podacima direktnih merenja na lokaciji vetroelektrane i na korelaciji raspoloživih podataka za lokaciju vetroelektrane, sa podacima dugoročnih merenja na obližnjoj referentnoj elektrani.

U prethodnom razmatranju, definisani su teorijski (3) i maksimalno moguć iskoristivi potencijal energije vetra (6). Pored, njih mogu se još definisati tehnički moguć potencijal (koji zavisi od konstrukcionih karakteristika vetroturbine, o čemu će biti govora u tački 2.4) i ekonomski opravdan iskoristivi



Slika 1. Ilustracija međusobne veze različitih potencijala energije vetra

potencijal (koji zavisi od ekonomskih kriterijuma vrednovanja energije vetra). Međusobna veza između svih tih potencijala, ilustrovana je na slici 1.

2.2. Pokazatelji iskorišćenja

Osnovni pokazatelji iskorišćenja vetroelektrana su isti kao i za ostale tipove elektrana [4]. To su godišnji faktor kapaciteta m_{wE}^g i ekvivalentno godišnje vreme trajanja opterećenja T_{wE}^g sa nazivnom (instalisanom) snagom, koji se definišu preko formula:

$$m_{wE}^g = \frac{W_{wE}^g}{8760 P_{wEn}} \quad (9)$$

$$= 8760 \text{ (h/godišnje)}, \quad (10)$$

gde je W_{wE}^g godišnja proizvodnja u MWh, a P_{wEn} nazivna (instalirana) snaga vetroelektrane (8) u MW.

Godišnji faktor kapaciteta vetroelektrana (9) kreće se u opsegu između 20 % i 40 %, što odgovara ekvivalentnom godišnjem trajanju opterećenja sa nazivnom snagom (8) između 1 750 i 3 500 h/godine. Poređenja radi, kod drugih savremenih, najviše rasprostranjenih izvora električne energije, vreme T_{wE}^g ima tipične vrednosti date u tabeli 3, dok je proseka za vetroelektrane u EU-25, shodno podacima iz tabele 1, 2005. godine bio 1 706 h (u Austriji, karakterističnoj kontinentalnoj zemlji, sa relativno velikim učešćem vetroelektrana, taj parametar je u 2005. godini bio 1 624 h/godine).

Tabela 3.

Ekvivalentno godišnje iskorišćene instalirane snage pojedinih elektrana [4]

Nuklearne termoelektrane	7 000-8 000 h/godišnje
Parne termoelektrane na fosilna goriva	5 000-6 000 h/godišnje
Termoelektrane sa kombinovanim ciklusom	4 000-5 000 h/godišnje
Gasnoturbinske termoelektrane sa protim ciklusom	3 000-4 000 h/godišnje
Protočne hidroelektrane	4 000-5 000 h/godišnje
Akumulacione hidroelektrane	1 500-3 000 h/godišnje
EU – 25 proseka za vetroelektrane u 2005. godini	1 706 h/godišnje

Parametri (9) i (10) služe samo za međusobna upoređivanja proizvodnosti istih ili različitih tipova elektrana i u tom pogledu vetroelektrane su pri dnu liste. Međutim, oni ne kazuju koliko su sati pojedini tipovi elektrana u radu na mreži. Što se tiče vetroelektrana, iskustveno je pokazano da one mogu raditi i do 7 000 h/godišnje, što znači da su najveći deo tog vremena opterećene sa snagom manjom od 50 % svoje nazivne snage.

2.3. Dozvoljeni nivo učešća vetroelektrana u sistemu

Učešće vetroelektrana u elektroenergetskom sistemu karakteriše se preko pokazatelja nivoa penetracije. Praktično se faktori penetracije definišu za energiju i snagu. Godišnji nivo penetracije u energiji je deo godišnjih potreba u sistemu W_{wE}^g koji svojom proizvodnjom W_{wE}^g pokrivaju vetroelektrane

$$P_w^g = \frac{W_{wE}^g}{W_s^g} \quad (11a)$$

gde se energije i izražavaju u koherentnim jedinicama (obično u MWh).

Nivo penetracije u snazi je odnos između ukupne raspoložive snage vetroelektrana i snage sistema, pa se mogu definisati trenutne, srednje (dnevne, sedmične, mesečne i godišnje) i najviše godišnje vrednosti tog koeficijenta, kada se u količnik za proračun tog pokazatelja uvrste odgovarajuće vrednosti za raspoloživu snagu sistema (P_s) i snagu vetroelektrana P_{wE}^{rasp} , tj.

$$P_p = \frac{P_{wE}^{rasp}}{P_s} \quad (11b)$$

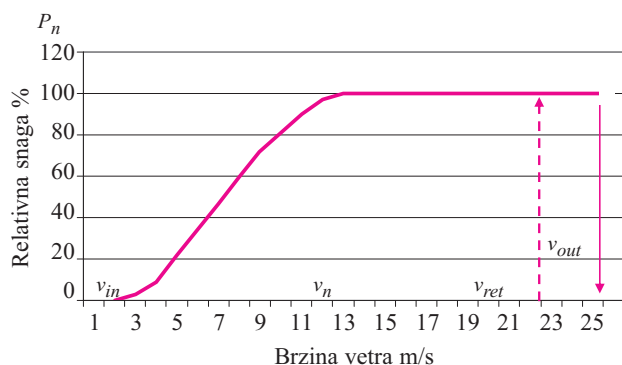
Nivo penetracije intermitentnih izvora električne energije, kao što su vetroelektrane je važan faktor koji utiče na zahtevanu veličinu operativne (a posebno regulacione) rezerve u sistemu, koja je relativno veća, nego u sistemima bez takvih izvora. Iskustveno se smatralo da penetracija do 10 % ne bi trebalo da zahteva tu rezervu veću od uobičajenih vrednosti, osim, ako se ne računa na ispomoc interkonekcije. Međutim, novije studije i savremena praksa nivo penetracije ne posmatraju kao tehnički, već kao čisto ekonomski problem, koji ne postavlja nikakva fiksna ograničenja, bazirajući tu konstataciju na primerima elektroenergetskih sistema nekih zemalja sa visokim učešćem vetroenergije, kao što su Danska, Nemačka i Španija (koje se oslanjaju na najveću evropsku interkonekciju UCTE), čiji su sadašnji faktori penetracije između 7 i 21 % sa tendencijom daljeg povećanja [1,5].

2.4. Karakteristika snaga

– brzina vetra vetroturbine

Na slici 2 dat je tipičan izgled dijagrama zavisnosti snage vetroturbine od brzine vetra (bez regulacije), gde se uočavaju četiri karakteristične brzine vetra, startna (v_{in}), nazivna (v_n), najveća startna (v_{rel}), i najveća dozvoljena (v_{out}). Startna brzina v_{in} je ona pri kojoj turbina počinje da odaje snagu $P_{wT} > 0$. Nazivna brzina v_n je ona pri kojoj turbina dostiže svoju nazivnu snagu P_{wTn} . Najveća brzina v_{out} je ona pri kojoj turbina još može da radi, odnosno pri kojoj se iz sigurnosnih razloga isključuje iz

pogona, dok je v_{ret} najveća brzina pri kojoj se vetro-turbina može staviti u pogon. Radni opseg je, znači, između brzina vetra v_{in} i v_{out} . Interes je da se startna brzina v_{in} (inače kod savremenih vetro-turbina u opsegu 3-5 m/s) što više smanji, dok je najveća brzina v_{out} obično oko 25 m/s. Međutim, najveći deo vremena tokom godine vetrogeneratori rade u opsegu brzina vetra između v_{in} i v_n , slika 2.



Slika 2. Tipičan dijagram zavisnosti snage vetro-turbine od brzine vetra (bez regulacije)

Shodno slici 2, neiskoristiv je energetska potencijal pri brzinama vetra $v_w < v_{in}$ i $v_w > v_{out}$, a delimično iskoristiv u opsegu brzina vetra $v_n \leq v_w \leq v_{out}$ i to na nivou $v_w = v_n$, odnosno nominalne snage turbine. Drugim rečima, energetska iskoristive brzine vetra su definisane sledećom formulom:

$$v_w^{isk} = \begin{cases} 0 & \text{za } 0 \leq v_w \leq v_{in} \\ v_w & \text{za } v_{in} \leq v_w \leq v_n \\ v_n & \text{za } v_n \leq v_w \leq v_{out} \\ 0 & \text{za } v_w \geq v_{out} \end{cases} \quad (12a)$$

Srednja energetska iskoristiva brzina vetra u vremenskom intervalu T (s) se proračunava primenom formule

$$(v_w^{isk})_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T v_w^{isk}(t) dt \quad (\text{m/s}) \quad (12b)$$

2.4. Troškovi i prihodi od prodaje proizvodnje energije vetroelektrana

Za procenu ekonomije vetroelektrana važno je da se odrede troškovi i prihodi istih. Kao i u slučaju drugih tipova elektrana, troškovi se sastoje od dve komponente: investicionih i eksploatacionih troškova. S druge strane osnovni (ako ne i jedini) prihod vetroelektrana dolazi od prodaje proizvedene električne energije [3,5]. Investicioni troškovi (izraženi u novčanim jedinicama – € ili dinarima) su srazmerni instalisanosti (nazivnoj) snazi vetroelektrane P_{wEn}

$$C_1 = c_s P_{wEn} \quad (\text{dinara}), \quad (13a)$$

gde je P_{wEn} instalisana (nazivna) snaga vetroelektrane u (kW) definisana u izrazu (8) i na slici 1, a c_s predstavlja specifične investicione troškove po kW instalisane snage u (dinara/kW). Godišnji investicioni troškovi C_1^g dobijaju se kao deo ukupnih investicionih troškova C_I određen godišnjom stopom c_i^g u (1/godišnje) (ili [%/godine]),

$$C_1^g = c_s P_{wEn} \quad (\text{dinara/godišnje}). \quad (13b)$$

Ukupni investicioni troškovi po kW instalisane snage, pre poslednjeg naftnog šoka 2008. godine, bili su reda 1 000 - 1 200 €/kW (manji su za veće, a veći za manje jedinice). Najnoviji podaci iz SAD operišu sa visinom tih troškova od 2 000 \$/kW (oko

Tabela 4.

Specifični investicioni troškovi i potrošnje toplote različitih savremenih izvora električne energije [6]

Tip izvora	Nazivna snaga agregata, (MW)	Specifični investicioni troškovi c_s , (\$/kW)	Specifična potrošnja toplote pri $P=P_n$, (kJ/kWh)
Termoelektrana na ugalj	100-1 300	1 600	10 551-15 822
Termoelektrana na gas ili tečno gorivo sa parnim ciklusom	25-500		10 551-15 827
Nuklearna elektrana	900-1 300	2 000	10 551-15 827
Termoelektrana sa kombinovanim gasno-parnim ciklusom	400-600	850	7 175-7 913
Gasno-turbinska termoelektrana sa otvorenim ciklusom	25-200	650	10 023-13 188
Hidroelektrana		1 500	–
Vetroelektrana	0,5-1,5	2 000	–

1 540 €/kW, računajući sa 1,3 \$≈1 € [6]). Kako se vidi iz tabele 4, oni su u poređenju sa troškovima drugih savremenih izvora, najviši, zajedno sa specifičnim investicionim troškovima nuklearnih elektra- na [6]. U troškovima proizvodnje električne energije u vetroelektranama oni učestvuju sa 75 % – 80 %.

Stopa godišnjih investicionih troškova (c_i^g) određuje se pod pretpostavkom da se otplata zajma za investicione troškove vrši u jednakim godišnjim ratama tokom perioda otplate od n_o godina (pri čemu je $n_o \leq n$, gde je n životni vek elektrane). Računajući sa realnom diskontnom stopom od i (1/godina), njena vrednost je [3,4]

$$c_i^g = \frac{i}{1 - (1+i)^{-n_o}} \text{ (1/godina) ili (\%/godišnje).} \quad (14)$$

Pošto nema troškova goriva, eksploatacioni troškovi C_{ex} sastoje se samo iz troškova pogona i održavanja C_{om} , koji obuhvataju osiguranje, redovno održavanje i nabavku rezervnih delova, zakup zemljišta, sopstvenu potrošnju električne energije iz mreže, radnu snagu za vođenje pogona i administraciju i ostale neimenovane troškove. Eksploatacioni troškovi, odnosno troškovi pogona i održavanja, mogu se podeliti na dva dela: stalne i promenljive troškove. I oni se svode na godišnje troškove.

Stalni godišnji troškovi pogona i održavanja su srazmerni investicijama i usrednjavaju se na ceo životni vek elektrane (n godina), tako da se izražavaju kao konstantni godišnji troškovi, srazmerni troškovima investicija (13a)

$$C_{om}^{og} = c_{om}^{og} C_I = c_{om}^{og} c_s P_{wEn} \text{ (dinara/godišnje),} \quad (15)$$

gde je c_{om}^{og} stopa stalnih godišnjih troškova pogona i održavanja, izražena u (1/godina), ili (%/godišnje).

Promenljivi godišnji troškovi su srazmerni godišnjoj proizvodnji vetroelektrane, tj.

$$C_{om}^{vg} = c_{om}^{vg} W_{we}^g = c_{om}^{vg} P_{wEn} T_{we}^g \text{ (dinara/godišnje),} \quad (16)$$

gde c_{om}^{vg} je godišnja stopa promenljivih troškova pogona i održavanja u (dinara/MWh), ili (dinara/kWh).

Ukupni godišnji eksploatacioni troškovi vetroelektrane su onda:

$$\begin{aligned} C_{ex}^g &= C_{om}^{og} + C_{om}^{vg} = c_{om}^{og} c_s P_{wEn} + c_{om}^{vg} P_{wEn} T_{we}^g = \\ &= P_{wEn} (c_{om}^{og} c_s + c_{om}^{vg} T_{we}^g) = c_{om}^g c_s P_{wEn} \\ &\text{(dinara/godišnje),} \end{aligned} \quad (17)$$

gde je

$$c_{om}^g = c_{om}^{og} + \frac{C_{om}^{vg} T_{we}^g}{C_s} \text{ (1/godina) ili (\%/godišnje)} \quad (18)$$

ukupna godišnja stopa troškova pogona i održavanja, izražena kao deo ukupnih investicionih troškova C_I (dinara).

Koristeći izraze (13) i (17) za ukupne godišnje troškove vetroelektrane, dalje se dobija

$$\begin{aligned} C_{we}^g &= C_I^g + C_{ex}^g = c_I^g C_I + c_{om}^g C_I = c_I^g C_I \\ &\text{(dinara/godišnje)} \end{aligned} \quad (19)$$

gde je ukupna izravnata godišnja stopa troškova

$$\begin{aligned} c_I^g &= c_I^g + c_{om}^g = c_I^g + c_{om}^{og} + \frac{C_{om}^{vg} T_{we}^g}{C_s} \\ &\text{(1/godina) ili (\%/godišnje).} \end{aligned} \quad (20)$$

Prodajna cena električne energije proizvedene u vetroelektranama, zavisi od tržišta (tamo gde ono postoji), odnosno od utvrđene tarife od strane državnih organa (kada tržište ne postoji). U većini zemalja državni regulatorni organi na razne načine stimulišu proizvodnju električne energije u obnovljivim izvorima (preko opraštanja taksi i poreza, ili preko posebnih subvencionisanih tarifa pri prodaji te energije (tzv. „feed-in tarife” [9,10]). To se deklarativno pominje i u Zakonu o energetici Republike Srbije od 24. 07. 2004. godine, gde shodno članovima 84-87, obnovljivi izvori imaju pravo na status „povlašćenog proizvođača” i prioritet u odnosu na druge proizvođače na organizovanom tržištu električne energije, kada su svi ostali uslovi isti [9]. Te privilegije će se bliže odrediti posebnim uredbama ili zakonima (koji još nisu doneti). Za sada (kraj 2008. godine) još nema detaljnijih kvantifikacija tih nagoveštenih pogodnosti u tretmanu obnovljivih izvora električne energije, odnosno vetroelektrana.

Srednji godišnji prihod C_{psr}^g od prodaje električne energije, srazmeran je srednjoj godišnjoj proizvodnji električne energije vetroelektrane W_{we}^{gsr} (kWh) ili (MWh).

$$C_{psr}^g = c_{psr}^g W_{we}^{gsr} \text{ (dinara/godišnje).} \quad (21)$$

C_{psr}^g je postignuta srednja godišnja specifična prodajna cena proizvodnje (uključujući i subvencije) u (dinara/kWh). Ona može biti planska (predviđena u godišnjim planovima rada) ili realizovana (ako se računa aposteriorno, na bazi ostvarene proizvodnje i prihoda od prodaje u konkretnoj godini).

2.5. Proračun ekonomske isplativosti vetroelektrana

Sa gledišta vlasnika same vetroelektrane, ona je ekonomski isplativa ako svojim prihodom C_p^g (21) prvenstveno od prodaje proizvedene električne energije, pored pokrivanja svih troškova C_{wE}^g (19) tokom svog životnog veka od n godina, obezbedi i razuman profit, što se matematički iskazuje preko nejednačine

$$\sum_{i=1}^n C_{pi}^g \geq \sum_{i=1}^n C_{wEi}^g \quad (\text{dinara}), \quad (22a)$$

koja se, usrednjavanjem godišnjih prihoda i troškova, može svesti na izraz u kojem, umesto ukupnih, figuriraju godišnji prihodi i troškovi

$$C_{psr}^g \geq C_{wE}^{gsr} \quad (\text{dinara/godišnje}). \quad (22b)$$

Zanemarujući druge moguće prihode (zeleni sertifikati, oslobađanje od taksu i poreza, dotacije) izraz na levoj strani gornje nejednačine svodi se samo na prihode od prodaje električne energije (21), dok su ukupni godišnji troškovi dati preko izraza (19), tako da se njihovim unošenjem u nejednačinu (22b) i njenim preuređenjem, dobija izraz koji povezuje srednju godišnju specifičnu prodajnu cenu proizvedene električne energije vetroelektrane C_{psr}^g sa ukupnim srednjim godišnjim (investicionim i pogonskim) troškovima i ekvivalentnim godišnjim vremenom iskorišćenja nazivne snage T_{wE}^g :

$$c_{psr}^g \geq \frac{C_s C_t^g}{T_{wE}^g} \quad (\text{dinara/kWh/godine}). \quad (23)$$

Precizna primena gornjeg uslova mora uvažiti još dva faktora. To su generalni trend porasta cene električne energije u bliskoj budućnosti i inflacija do koje može doći na posmatranom vremenskom horizontu ocene ekonomičnosti projekta neke vetroelektrane, koji je ovde sveden na horizont proračuna za životni vek objekta od n godina. Problem nije u formalnom uvažavanju, već u kvantifikaciji tih faktora, zbog neizvesnosti njihovog predviđanja u dužim vremenskim intervalima.

Interes vlasnika je da se smanje ukupni troškovi (19), a povećaju prihodi od prodaje električne energije (21). To se može postići smanjenjem diskontne stope (koja određuje nivo godišnjih investi-

cionih troškova), ili povećanjem horizonta proračuna n , odnosno sniženjem specifičnih investicionih troškova c_s i povećanjem broja ekvivalentnih sati godišnjeg iskorišćenja nazivne snage T_{wE}^g . S obzirom da je parametar T_{wE}^g za određenu lokaciju i izabranu snagu vetrogeneratora praktično nepromenljiv, i da su životni vek elektrane (n) ili rok otplate investicionog zajma (n_o), kao i godišnja stopa troškova eksploatacije elektrane c_{om}^g određeni zahtevima proizvođača opreme i uslovima zajmodavalaca, na investitoru ostaje da utiče samo na sniženje jedinične cene po kW instalisane snage c_s i uslove finansiranja (kamatna stopa i vreme otplate investicije n_o), što je moguće postići u pregovorima pri odlučivanju za realizaciju neke planirane vetroelektrane.

Gornji uslovi odnose se na individualno vrednovanje vetroelektrana, koji su primereni njihovom pojedinačnom ili grupnom učešću na tržištu električne energije. Za slučaj vertikalno-integriranih elektroenergetskih sistema, ili većih proizvodnih grupacija, osnovni kriterijum je sposobnost vetroelektrana da doprinesu smanjenju ukupnih operativnih troškova postojećeg sistema, kada se dodaju u proizvodni podsistem (kriterijum najmanjih pogonskih troškova-„Least Cost Criterion”).

Primeru radi, primenom uslova (20) proračunata je najmanja ekonomska prodajna cena proizvedene električne energije vetrogeneratora čiji su fiksni parametri u formuli (23) $c_s=1\ 300\ \text{€/kW}$, $i=9\ \%/godišnje$ (odakle je, za $n=20$ godine i $n_o=15$ godišnje, $=12,406\ \%/godišnje$), $=2\ \%/godišnje$, $=0,005\ \text{€/kWh}$, tako da je ukupna stopa godišnjih troškova za T_{wE}^g u opsegu $1\ 500 - 3\ 500\ \text{h/godine}$ između $14,412\ \%/godišnje$ i $14,419\ \%/godišnje$. Iz rezultata proračuna prikazanih u tabeli 5 lako mogu biti približno proračunate i prihvatljive prodajne cene, za slučaj da je specifična cena po kW instalisane snage vetrogeneratora različita od pretpostavljene ($1\ 300\ \text{€/kW}$), prostim proporcionalnim skaliranjem proračunatih cena odnosom nove i bazne cene, što je i učinjeno u tabeli 5 za slučaj $c_s=1\ 500\ \text{€/kW}$. Uz svu rezervu (zbog korišćenja literaturnih ulaznih parametara i uprošćenog metoda proračuna) rezultati iz tabele 2 pokazuju da su prihvatljive srednje godišnje prodajne cene električne energije proizvedene u vetroelektranama, za opseg optimističkih karakterističnih godišnjih ekvivalentnih vremena iskorišćenja

Tabela 5.

Minimalna prihvatljiva prodajna cena energije iz vetroelektrana

T^g (h/godišnje)		1 500	1 750	2 000	2 500	3 000	3 500
C_{pmin}^{svr} (c€/kWh)	$c_s=1\ 300\ \text{€/kW}$	12,49	10,71	9,37	7,57	6,25	5,36
	$c_s=1\ 500\ \text{€/kW}$	14,41	12,35	10,81	8,65	7,21	6,18

nazivne snage u Srbiji između 2 000 h/godišnje i 2 500 h/godišnje u zoni između 7,57 i 9,37 c€/kWh za specifične troškove investicija od 1 300 €/kW, a između 8,65 c€/kWh i 10,81 c€/kWh za specifične troškove investicija od 1 500 €/kW.

Interesantno je da se uporede fiksne prodajne cene električne energije proizvedene u „on shore” vetroelektranama u 2006. godini u nekim članicama Evropske Unije date u tabeli 4 [1]. One se kreću od 9 c€/kWh u Nemačkoj do 6,1 c€/kWh u Danskoj, uz predviđeno sniženje u svakoj sledećoj godini u Francuskoj i Nemačkoj. Nije jasno da li su u te cene uključene i dotacije shodno „feed-in” tarifama, koje su, inače, u Španiji bile 2,1276 c€/kWh [10]* tako da, ako jesu, podaci iz tabela 5 i 6 pored se direktno, pa se može zaključiti da se one odnose na vetroelektrane koje, prema konstataciji iz tačke 2.2. imaju ekvivalentni broj sati godišnjeg iskorišćenja instalisane snage $T_{wE}^s > 1 750$ h/godišnje, što odgovara podacima iz literature [4] za „on shore” vetroelektrane. Isti je globalni zaključak ako te dotacije nisu uključene u cene iz table 6, što bi bilo povoljnije za investitore.

Tabela 6.

Prodajne cene električne energije proizvedene u „on shore” vetroelektranama nekih članica Evropske Unije [1]

Zemlja članica EU	Inicijalna prodajna cena u 2006. godini, c€/kWh	Napomena
Francuska	8,4	Cena će se postepeno snižavati svake naredne godine
Nemačka	9,0	
Španija	6,3	Državna dotacija u 2004. godini bila je 2,127 6 c€/kWh [10]
Danska	6,1	

3. UTICAJ VETROELEKTRANA NA POUZDANOST ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Pouzdanost elektroenergetskih sistema ima dva aspekta, aspekt sigurnosti i aspekt adekvatnosti. *Sigurnost* je sposobnost sistema da preživi poremećaje iz unapred specifikovane liste mogućih smetnji. Sistemi se obično projektuju da, bez posledica po neprekidnost napajanja potrošača, podnose sve jednostruke i neke verovatne dvostruke (rede višestruke) poremećaje. Sigurnost se obično propisuje preko

* Plaćanje električne energije isporučene u sistem od strane obnovljivih izvora u Španiji se vrši shodno formuli $C = (CM + B) + CB$ (€/kWh), gde je CM tržišna cena po kWh isporučene električne energije, B bonus u €/kWh, a CB dodatni bonus za faktor snage, koji može biti najviše 4 % [10].

„ $N-1$ ” kriterijuma (gde je N ukupan broj komponenta sistema podložnih kvarovima) koji se danas uvažava pri planiranju i eksploataciji elektroenergetskih sistema.

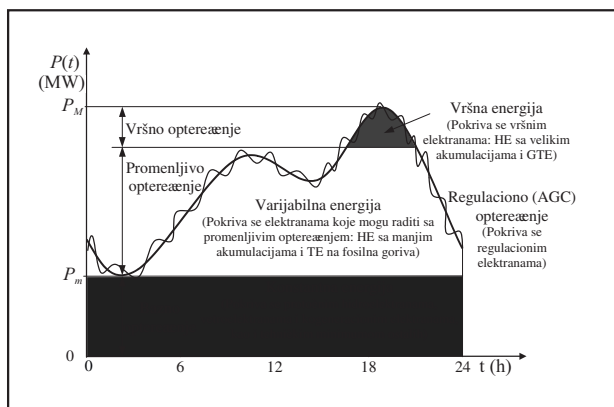
Adekvatnost tretira problem deficita generatorskih kapaciteta potrebnih da zadovolje promenljive potrebe svih potrošača u sistemu, ili moguća ograničenja u prenosu i distribuciji. Za razliku od problema sigurnosti, koji u proračunima koriste determinističke modele, u problemima adekvatnosti, modeli elektroenergetskog sistema su stohastički. Oni se obično definišu ili preko prostih stacioniranih modela, u koje su uključeni samo generatori i potrošači, ili preko složenijih modela, gde su još uključene prenosna i distributivna mreža, sa planiranim remontima i verovatnoćama prinudnih ispada pojedinih komponenata. Kriterijumi koji se koriste za procenu adekvatnosti su *verovatnoća gubitka opterećenja* („Loss of Load Probability” – LOLP), *očekivani gubitak opterećenja* („Loss of Load Expectation” – LOLE) i *očekivani deficit energije* („Loss of Energy Expectation” – LOEE [4,11,12]).

Primena LOLP kriterijuma kombinuje verovatnoću ispada generatorskih kapaciteta i karakteristika potrošača, sa ciljem da se dođe do očekivane verovatnoće gubitka opterećenja. S druge strane, LOLE kriterijum definiše verovatnoću dozvoljenih broja dana, ili sati u godini kada su generatorski kapaciteti nedovoljni da pokriju zahtevanu snagu potrošača, a LOEE iste te pokazatelje za energiju. Dodavanjem novih generatorskih kapaciteta u sistem, pa i vetrogeneratora, smanjuje se potreba za ograničenjem potrošnje, jer se time povećava ukupna generatorska snaga sistema, a s tim se generalno poboljšava i njegova adekvatnost.

4. REGULACIONE MOGUĆNOSTI VETROELEKTRANA

Regulaciona mogućnost je sposobnost elektrane da prati promene opterećenja na definisanom vremenskom intervalu. Zato je u elektroenergetskom sistemu neophodna regulacija odate generatorske snage, da bi se permanentno održavala ravnoteža između proizvodnje i potrošnje. Ove mogućnosti su različite za razne tipove elektrana. Nažalost, za razliku od klasičnih hidro i termoelektrana, vetroelektrane povećavaju potrebe za regulacijom, jer pored slučajnih promena potrošnje sistema, moraju se obezbediti i regulacioni kapaciteti koji će kompenzovati haotične promene odatih snaga vetroelektrana. Međutim, sve dok su faktori penetracije, odnosno udeli vetroelektrana u sistemu manji od 10 %, normalno zahtevana operativna rezerva pri projektovanju sistema od 12 %, obično je dovoljna tako da

nema potrebe da se samo zbog vetroelektrana moraju obezbediti dodatni regulacioni kapaciteti u sistemu [4,5]. U svakom slučaju, energija proizvedena sa vetroelektranama, popunjavaće bazni deo površine ispod dijagrama opterećenja (kao i energija iz protočnih hidroelektrana i kogeneracije), kako je to ilustrovano na slici 3. Nikakva optimizacija režima rada vetroelektrana, osim plana održavanja, zbog zavisnosti njihove proizvodnje od prirodnih pojava, nije moguća (dugoročna prognoza pojave i jačine vetra jako je nesigurna).



Slika 3. Ilustracija popunjavanja površine ispod tipičnog dnevnog dijagrama opterećenja

Vetroelektrana ne može zadovoljavati potrebe sistema u primarnoj i sekundarnoj regulaciji. Štaviše, u slučaju primarne i sekundarne regulacije, efekat vetroelektrana na sistem je otežavajući, ali ne mnogo izražen, kada su u pitanju veći sistemi, sa dominantnim učešćem klasičnih izvora električne energije (hidroelektrane i termoelektrane na fosilna goriva) i umerenom penetracijom vetroelektrana. Slična situacija kao u slučaju dnevnog dijagrama na slici 3, ima se i u slučaju sezonskog praćenja dijagrama opterećenja sistema. Ona se prevazilazi i sa postojanjem pumpno-turbinskih hidroelektrana u zajedničkom sistemu, kada se celokupna proizvodnja vetroelektrana može iskoristiti u njihovom pumpnom režimu i deponovati u akumulacijama takvih postrojenja za korišćenje u vršnom režimu (pumpno-akumulaciono postrojenje Lisina sa HE Vlasine je tipičan primer za ovakav način perspektivnog iskorišćenja energije vetroelektrana u tom delu Srbije) [13].

5. SMANJENJE GUBITAKA U MREŽI

Vrednovanje vetroelektrana po ovom osnovu odnosi se na njihove mogućnosti da smanje gubitke u elektroenergetskim mrežama sistema. Te mogućno-

sti su posebno izražene u slučaju lokacije vetroelektrana u blizini velikih centara potrošnje, koji se normalno snabdevaju proizvodnjom iz udaljenih izvora i prenosima preko dugih dalekovoda. Tada su padovi napona i gubici u prenosnim vodovima znatni i dobro dođe svaka potpora novih elektrana u blizini centara potrošnje. Naravno da se može očekivati negativan efekat istih, ako su vetroelektrane locirane daleko od takvih centara i zahtevaju nove investicije u prenosnu mrežu, ili povećavaju opterećenja i gubitke u postojećim prenosnim vodovima. Pokazuje se da su zagušenja prenosnih mreža veći problem nego intermitentni karakter proizvodnje priključenih vetroelektrana [14]. U tom kontekstu, očekivani efekat vetroelektrana vezanih na distributivnu mrežu, uvek je pozitivan, jer se rasterećuje prenosna mreža, a proizvodni izvori približavaju potrošačima [4].

6. UTICAJ VETROELEKTRANA NA GLOBALNE INVESTICIJE U SISTEMU

Ovaj uticaj se odnosi na poželjne mogućnosti vetroelektrana da smanje troškove investicija u električnim mrežama elektroenergetskog sistema. Zaključak o tome može se doneti ako se prvo prouče troškovi novih investicija u mreže, bez vetroelektrana, a zatim sa vetroelektranama i uporede međusobno. Vrlo je teško doneti neko opšte pravilo po ovom pitanju, jer se i rezultati razlikuju od slučaja do slučaja. Pri tome se pretpostavlja da nove investicije u mrežu opterećuju vetroelektrane, pa se moraju uključiti i njihovi ukupni investicioni troškovi. Verovatnoća je da su ovi troškovi relativno mali u poređenju sa ostalim troškovima proširenja električnih mreža, koja su neophodna da bi se u određenom periodu u budućnosti zadovoljile potrebe svih potrošača u sistemu i bez vetroelektrana.

Problemi sa kojima se vetroelektrane sreću pri priključku na elektroenergetske (posebno distributivne) mreže odnose se na [1]:

- Povećanje nivoa snaga kratkog spoja;
- Teškoće vezane za regulaciju napona i reaktivnih snaga;
- Selektivnu relejnu zaštitu;
- Izolovani rad pri havarijama koje izazivaju raspad sistema i ostrvski rad na sopstvenoj mreži;
- Dodatne investicije koje su neophodne za prilagođenje mreže.

7. STANDARDI KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE I VETROELEKTRANE

Kvalitet električne energije je pojam vezan za elektroenergetski sistem i utvrđuje se preko skupa pokazatelja koji karakterišu isporučenu električnu

energiju potrošačima. On zavisi od parametara i funkcionalnih karakteristika elemenata sistema i praksa je da se propisuje preko normi (ili standarda) kvaliteta, koji se vezuju za osnovne fizičke veličine te energije: napon, učestanost i pojavu parazitskih komponentata u naizmeničnom talasu napona i/ili struje.

Prisustvo vetroenergetskih generatora prvenstveno utiče na kvalitet napona, a kada su oni na sistem vezani preko poluprovodničkih konvertorsko-invertorskih sklopova, i na pojavu viših harmonika u sinusoidama napona i struje. Kako su električne karakteristike vetrogeneratora vezane za samu konstrukciju istih, a ne za njihovu lokaciju i način eksploatacije, za njih je odgovoran proizvođač, pa je neophodno da se sve bitne osobenosti pojedinih vetrogeneratora znaju pre priključenja na energetska mrežu, kako bi se njihov eventualno nepovoljan uticaj na kvalitet električne energije unapred sprečio.

Norme kvaliteta vetrogeneratora sadržane su u Standardu IEC 61400-21 iz 2001. godine [15]. U tom Standardu definišu se sledeći parametri vetroelektrana koji su od uticaja na kvalitet električne energije:

- Nazivne karakteristike: P_n, Q_n, S_n, U_n, I_n ; $S_n = (P_n^2 + Q_n^2)^{1/2}$, dozvoljena 10 min srednja snaga P_{mc} i reaktivna snaga Q kao 10 min srednja vrednost u funkciji od aktivne snage, dobijaju se od isporučioaca vetrogeneratora;
- Izmerene maksimalne srednje snage tokom 60 s (P_{60}) i 0,2 s ($P_{0,2}$);
- Maksimalni broj dozvoljenih uključenja/isključenja generatora u periodu od 10 min (N_{10}) i 2 h (N_{120}) daje isporučilac vetrogeneratora;
- Faktor promene napona u funkciji faznog ugla ekvivalentne impedanse sistema na mestu priključka vetrogeneratora na električnu mrežu ($\Psi_k = \arctg X_k/R_k$, gde su R_k i X_k otpornost i reaktansa ekvivalentne impedanse kratkog spoja i tački priključka vetrogeneratora na električnu mrežu). Definiše se preko formule:

$$k_u(\Psi_k) = \sqrt{3}(v_{max} - v_{min}) \cdot S_k / (S_n U_n), \quad (24)$$

gde su v_{max} i v_{min} fazni naponi vetrogeneratora tokom jedne periode, a U_n nominalni (linijski) napon mreže, čija je snaga kratkog spoja u tački priključka vetrogeneratora S_k ;

- Koeficijent flikera u funkciji faznog ugla impedanse kratkog spoja Ψ_k :

$$c_f(\Psi_k) = P_{st} (S_k/S_n), \quad (25)$$

gde je P_{st} emisija flikera od strane vetrogeneratora, koju daje isporučilac;

- Step-faktor flikera u funkciji ugla impedanse kratkog spoja Ψ_k koji karakteriše operacije uključenja/isključenja vetrogeneratora:

$$k_f(\Psi_k) = P_{st} (S_k/130S_n) \cdot T_p^{0,31}, \quad (26)$$

gde je T_p trajanje prelaznog perioda operacije uključenja/isključenja u (s);

- Naponski propad pri stavljanju u pogon vetrogeneratora koji se proračunava preko formule:

$$d = 100 k_f(\Psi_k) \cdot (S_n/S_k) (\%), \quad (27)$$

i čije su uobičajene vrednosti između 10 i 15 %;

- Maksimalni dozvoljeni broj operacija uključenja/isključenja (koji daje isporučilac generatora), posebno naglašen za slučajeve:
- Uključenja generatora pri startnoj brzini vetra v_{in}
- Uključenja generatora pri nazivnoj brzini vetra v_n
- Najgori slučajevi uključenja/isključenja tipa generator-generator.
- Maksimalne vrednosti emisija struja viših harmonika I_h tokom neprekidnog rada vetrogeneratora, definisanih kao srednje 10 min vrednosti za sve harmonike reda $h = 2-50$. Propisuju se samo za vetrogeneratore koji se na električnu mrežu priključuju preko uređaja energetske elektronike (AC/DC/AC konvertori/invertori). One se ograničavaju na nivo neophodan da se izbegnu neprihvatljive vrednosti napona u tački priključka vetrogeneratora na mrežu (kako individualne harmonijske komponente, tako i ukupna struja viših harmonika). Ukupna harmonijska distorzija:

$$T_{HD} = \left[\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

mora biti manja ili najviše jednaka 8 % [4].

Generalno, uticaj vetrogeneratora na kvalitet napona zavisi od robustnosti mreže na mestu njegovog priključka. Mera te robustnosti je snaga kratkog spoja S_k .

8. ZAKLJUČAK

Vektroelektrane više nisu stvar budućnosti, već su aktuelna sadašnjost većine elektroenergetskih sistema u Evropi. Njihov dalji razvoj sigurno će biti ubrzan sa budućim porastom cena i nestašicom svih energenata za klasične izvore električne energije. U ovom referatu razmotreni su najvažniji aspekti energetske i ekonomskog vrednovanja vetroelektrana, kada rade paralelno sa ostalim elektranama u elektroenergetskom sistemu. Pozitivni su svi aspekti koji

su posledica činjenice da je vetar besplatan i prirodni obnovljiv energent. Za sam elektroenergetski sistem, postoje neke inherentno nepovoljne karakteristike vetroelektrana, koje se moraju na adekvatan način kompenzovati.

Vetroelektrane imaju intermitentnu, jako promenljivu i teško predvidivu proizvodnju. Stoga ne mogu samostalno napajati potrošače, bez pomoći klasičnih termoelektrana i hidroelektrana, ili dodatnih sistema za akumulaciju električne energije [14]. One takođe ne mogu odgovarati regularnim promenama opterećenja u sistemu, što znači da ne mogu učestvovati u primarnoj i sekundarnoj regulaciji, ni u režimu programa praćenja opterećenja. Time vetroelektrane povećavaju zahteve za regulacionom i operativnom rezervom, jer se praktično mogu koristiti samo u režimu rada prema vetru, za popunjavanje baznog dela površine ispod dijagrama opterećenja, sa svom nepredvidljivošću koja karakteriše sam vetar. Za relativne male faktore penetracije (manje od 10 %) svi gornji zahtevi obično ne dovode do značajnijih poremećaja u uobičajenoj praksi eksploatacije elektroenergetskih sistema, niti znatno povećavaju pogonske troškove, što može biti slučaj, ako su faktori penetracije veliki.

9. LITERATURA

- [1] T. J. Hamons INTEGRATING RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO EUROPEAN GRIDS, Int. Journal of Electric Energy Systems, Vol. 30, No. 8, Oct. 2008.
- [2] *** WIND POWER INSTALLED IN EUROPE BY THE END OF 2007 (Cumulative) EWEA Publication 2008.
- [3] S. Heier: GRID INTEGRATION OF WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS, Wiley, Chichester, UK., 1996.
- [4] T. Ackerman (Editor): WIND POWER IN POWER SYSTEMS, Wiley, Chichester, UK., 2005.
- [5] D. Milborrow: NO LIMITS TO HIGH WIND PENETRATION, Windpower Monthly, September 2005, pp. 1-5.
- [6] A. Mazer, ELECTRIC POWER PLANNING FOR REGULATED AND DEREGULATED MARKETS, Wiley Haboken, N. J., USA, 2007.
- [7] M. Čalović i A. Sarić, PLANIRANJE ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA, Beopres, Beograd, 2000.
- [8] M. Čalović, M. Mesarović i P. Stefanov: VETROELEKTRANE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU, Zbornik referata 27. Savetovanja JUKO CIGRE, Zlatibor, 29. 05-3. 06. 2005, Referat C6-01.
- [9] ZAKON O ENERGETICI REPUBLIKE SRBIJE, Službeni glasnik RS br. 84, 24.07.2004. godine.
- [10] Alberto Ortiz de Elgea Olasolo, NATIONAL REPORT ON STATE SSCHP POLICY AND SECTOR SITUATION, Basque Energy Board (EVE), Bilbao Spain, May 2004.
- [11] D. S. Kirschen and G. Štrbac: FUNDAMENTALS OF POWER SYSTEM ECONOMICS, Wiley, Chichester, UK., 2004.
- [12] WIND POWER, Wikipedia, the Free Encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/windpower>
- [13] M. Mesarović: ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES AND RENEWABLE ENERGY SOURCES, Termotehnika godine XXXIV, br. 1, 2008, pp. 31-44.
- [14] D. Milborrow: TRANSMISSION CONJECTURES, Windpower Monthly, September 2006, p. 4.
- [15] *** „Wind Turbine Generator Systems”, Part 21: MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF POWER QUALITY CHARACTERISTICS OF GRID CONNECTED WIND TURBINES, IEC Standard 61400-21, IEC, Geneve, Switzerland, 2001.

Rad je primljen u uredništvo 05. 09. 2008. godine



Milan S. Čalović je penzionisani profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, gde je u periodu od 1980-1998. godine predavao predmete iz oblasti analize, planiranja, eksploatacije, upravljanja i regulacije elektroenergetskih sistema, na diplomskim i postdiplomskim studijama. Pre toga je u periodu od 1958-1980. godine radio u Elektroprivredi Srbije.

Jedini je, ili prvi autor knjiga „Osnovi analize elektroenergetskih mreža i sistema” (2004), „Planiranje elektroenergetskih sistema” (2000), „Eksploatacija elektroenergetskih sistema” (I izdanje: 1999, II izdanje: 2005) i „Regulacija elektroenergetskih sistema” (u dva toma, 1997).



Miodrag Mesarović je diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu i doktorirao na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Zaposlen je u Energoprojektu, gde je prošao razvojni put od projektanta do pomoćnika direktora i predsednika stručnog saveta. Redovni je član Akademije inženjerskih nauka Srbije, Generalni sekretar komiteta Srbije u Svetskom savetu za energiju, član komiteta C1 CIGRE, član Naučnog odbora Društva termičara Srbije i drugih stručnih organizacija. U okviru Nacionalnog programa energetske efikasnosti u Ministarstvu nauke i tehnološkog razvoja vodi program energetske efikasnosti u domaćinstvima. Držao je poslediplomsku nastavu na fakultetima u Beogradu, Zagrebu, Sarajevu i Skoplju. Rukovodio je brojnim projektima, studijama i strateškim dokumentima razvoja energetike. Publikovao je oko 200 stručnih i naučnih radova u zemlji i inostranstvu.

Standardi i metode za određivanje gubitaka snage i stepen iskorišćenja asinhronih motora

Pregledni rad
UDK: 621.3.026; 681.2.083

Rezime:

U radu je dat prikaz standarda i metoda za određivanje gubitaka snage i stepena iskorišćenja asinhronih motora. Obuhvaćene su sve metode, koje se navode u savremenim standardima, i sistematizovane na pogodan način. Detaljnije su prikazane metode za direktno merenje dodatnih gubitaka opterećenja, tj. Metoda inverznog obrtanja i novi Ex-zvezda metod, koji je uvršten u najnoviji standard IEC 60034-2-1, 2008. godine.

Prezentiran je primer određivanja gubitaka snage i stepena iskorišćenja motora po metodi sa merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage i izdvajanjem konvencionalnih gubitaka (gubitaka u namotaju statora, gubitaka u namotaju rotora, gubitaka u gvožđu i gubitaka na trenje i ventilaciju) i indirektnim merenjem dodatnih gubitaka opterećenja (P_d). Takođe je opisana i metoda sa merenjem utrošene snage (P_1) i direktnim merenjem svih gubitaka, konvencionalnih gubitaka i dodatnih gubitaka opterećenja.

Prikazan je postupak za temperaturnu korekciju gubitaka u namotaju statora ($\Delta P_{Cu1\theta}$) i provodnicima rotora ($\Delta P_{Cu2\theta}$). Gubici u gvožđu za dato opterećenje se određuju pomoću krive praznog hoda $P_{fe}(U_0)$ za vrednost napona U_r koja uračunava pad napona na omskom otporu namotaja statora. Ukazano je na potrebu korekcije izmerenih vrednosti utrošene snage (P_1) iz oglada opterećenja, za iznos temperaturne korekcije gubitaka u namotaju statora ($\Delta P_{Cu1\theta}$), iako to ne propisuju navedeni standardi.

Ključne reči: asinhroni motor, gubici snage, stepen iskorišćenja, metode, standardi, dodatni gubici opterećenja

Abstract:

STANDARDS AND METHODS FOR DETERMINING LOSSES AND EFFICIENCY OF INDUCTION MOTORS

Standards and methods for determining losses and efficiency of induction motors are presented in this paper. All methods stated in modern standards are included and systematized in a convenient manner. Methods for direct measurement of additional load losses (stray-load losses) are described in detail, i.e. Reverse-rotation test and new Ex-star test which is for the first time included in IEC 60034-2-1 in 2008.

An example of determining losses and efficiency of induction motors according to input-output methods with direct measurement of conventional losses (stator winding, rotor winding, core losses and windage-friction losses) and indirect measurement of additional load losses (stray-load losses) is presented. Input measurement method P_1 with direct measurement of all losses, conventional losses and additional losses, is also described.

Procedures for correcting the stator winding losses ($\Delta P_{Cu1\theta}$) and rotor winding losses ($\Delta P_{Cu2\theta}$), to the specified temperature, are presented. The core losses of the desired load point are taken from the no-load

curve $P_{je}(U_0)$ for voltage value U_r , which takes in the resistive voltage drop in stator winding. The paper points to the necessity for correcting the measured values of the electrical input power (P_1) for every load point, by the value of temperature correction of losses in the stator winding, though this is not directed by mentioned standards.

Key words: induction motors, losses, efficiency, methods, standards, additional load losses (stray-load losses)

1. UVOD

Asinhroni motori su najveći pojedinačni potrošač električne energije i troše preko 35 % od ukupno proizvedene električne energije u svetu [1]. Iako rade sa visokim vrednostima stepena iskorišćenja (od 80-95 %), troškovi samo za gubitke energije u motorima, u toku radnog veka, su nekoliko puta veći od nabavne cene motora. To je razlog da se nabavka motora sa većim vrednostima stepena iskorišćenja i za neki procenat, po pravilu, uvek isplati. Zato se sve više čine naponi, prvo potpomognuti preporukama a potom i standardima, da se utiče na organizovanu proizvodnju i korišćenje motora sa povećanim vrednostima stepena iskorišćenja.

Sve do 1970-tih godina ciljna funkcija projektovanja asinhronih motora (AM) bio je minimum proizvodnih troškova-troškova materijala i izrade motora. Sa rastom cena električne energije, kriterijum optimalnosti postaje minimum ukupnih svedenih troškova, u koje su pored proizvodnih, uključeni i godišnji troškovi za gubitke aktivne energije W_{gp} (kWh/godišnje) a često i troškovi za utrošenu reaktivnu energiju W_Q (kvarh/godišnje). Prvo su u SAD propisane minimalne vrednosti stepena iskorišćenja za motore snaga od 1-150 kW (200 kS) zbog interesa nacionalne ekonomije da ukupni svedeni troškovi budu najmanji,

Udruženje evropskih proizvođača električnih mašina i energetske elektronike i Evropska komisija, složili su se 1999. godine da propišu zajedničku klasifikacionu šemu za različite nivoe energetske efikasnosti asinhronih motora [2]. Klasifikaciona šema definiše tri klase motora po kriterijumu energetske efikasnosti (eff1, eff2 i eff3), tj. tri niza minimalnih vrednosti stepena iskorišćenja motora snaga 1-100 kW. U klasi eff1 su motori sa najvišim vrednostima, dok se u klasu eff3 svrstavaju motori čije su vrednosti stepena iskorišćenja ispod minimalnih za klasu eff2. To su, uglavnom, ranije proizvedeni motori koji su u eksploataciji. Motori klase eff2 imaju manje gubitke snage za oko 20 %, u odnosu na one u klasi eff3, ali je utrošak materijala i cena takođe veći za 15-20 %. Ekonomski proračuni, za motor snage 15 kW, pokazuju da će biti isplativo nabaviti motor u klasi eff2 ukoliko on radi sa nominalnim opterećenjem najmanje 2 000 h/godišnje i ako se računa sa cenom električne

energije od 0,05 Evro/kWh [2]. Iz toga sledi da bi se, pri opterećenju od 50 %, isplativost postigla tek pri radu od 4 000 h/godišnje.

Na kraju su, zbog planetarnog (ekološkog) interesa, svi ti naponi objedinjeni, pa će tako do kraja 2008. godine, biti usvojen novi standard [3], IEC 60034-30 -Efficiency classes of single-speed three-phase cage Induction motors (IE code), u kome su definisane četiri klase motora po nivoima vrednosti stepena iskorišćenja. Navedena klasifikacija se odnosi na asinhronne motore snage od 0,75 kW do 370 kW, sa 2, 4 i 6 polova, napona do 1 000 V a frekvencije 50 Hz i 60 Hz. Klase IE1, IE2 i IE3 su sada važeći normativ, dok je klasa IE4 navedena samo kao informacija za buduće ciljeve. Da se radi o značajnom pomaku, treba navesti da definisani nivoi stepena iskorišćenja koda IE1 odgovaraju navedenoj klasi eff2, a koda IE2 odgovaraju navedenoj klasi eff1, dok motori klase IE3 imaju gubitke snage manje za 15-20 %, u odnosu na motore iz klase IE2 (eff1) i odgovaraju najvišoj klasi motora po energetskej efikasnosti, koja se za širu upotrebu proizvodi samo u SAD. Činjenica da će takvi motori sve više biti zastupljeni širom planete dovoljno govori o značaju navedene problematike i primene standarda IEC 60034-30.

Prva ponudena klasifikaciona šema (eff1 i eff2 motori) je učinila da su proizvođači u Evropi počeli da se takmiče u proizvodnji motora visoke energetske efikasnosti (High efficiency motors -HEMs), a ne samo po nižim cenama. Izrada navedenih motora je praćena i povećanim troškovima. Najveće razlike u troškovima su između proizvođača HEMs koji se baziraju na poboljšanju standardnih konstrukcija i onih koji stvaraju novi red motora.

Pored povećanja vrednosti stepena iskorišćenja savremenih motora, bilo je potrebno razviti i propisati što tačnije metode za merenje gubitaka snage i stepena iskorišćenja, kako bi se primenom tih metoda dobile vrednosti koje vrlo malo odstupaju od tačnih. Takođe je potrebno da razlike u vrednostima stepena iskorišćenja određene po različitim standardima budu male, kako bi sa sigurnošću mogle biti prihvaćene neke važne pretpostavke:

– o ispunjenosti zahteva da su najviša dozvoljena odstupanja za gubitke snage u granicama od -15 % i + 10 %, u odnosu na iznose koji odgovaraju de-

klarisanim vrednostima stepena iskorišćenja motora, kao i

– da motor pripada deklarisanom klasi, tj. da stvarno ima manje gubitke za 15-20 % u odnosu na motor iz niže klase.

Kako je primena različitih standarda dovela i do razlika koje premašuju navedene vrednosti (npr. vrednosti stepena iskorišćenja motora mogu biti veće za 1-3 % ako su određene po IEC 34-2, umesto po IEEE 112), to se pristupilo harmonizovanju relevantnih standarda. Posledica toga je izrada novog Standarda IEC 60034-2-1 2008, koji bi trebalo da obezbedi da motor koji ima veću deklarisanu vrednost stepena iskorišćenja, ima i veću stvarnu vrednost stepena iskorišćenja, bez obzira u kom je delu sveta proizveden.

2. GUBICI SNAGE I STEPEN ISKORIŠĆENJA ASINHRONIH MOTORA

Stepen iskorišćenja (η) motora se izračunava kao količnik korisne (P_2) i utrošene (P_1) snage motora:

$$\eta = P_2/P_1 \quad (1)$$

ili kao

$$\eta = P_2/(P_2 + P_\gamma) \quad (2)$$

$$\eta = (P_1 - P_\gamma)/P_1 \quad (3)$$

gde su:

P_γ – ukupni gubici snage u motoru

Ukupni gubici snage, u motoru, se određuju na jedan od dva sledeća načina:

a) kao razlika izmerene vrednosti utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage:

$$P_\gamma = P_1 - P_2 \quad (4)$$

ili se određuju, približno, samo na osnovu (katalogske) vrednosti stepena iskorišćenja motora (η);

b) sumiranjem svih pojedinačnih gubitaka snage koji ulaze u ukupne gubitke snage, pri datom korisnom opterećenju motora (P_2).

Uobičajeno je razvrstavanje ukupnih gubitaka u motoru u sledećih 5 kategorija:

Gubici u gvožđu motora (P_{Fe}) koji ne zavise od opterećenja i određuju se iz oglada praznog hoda

$$P_{Fe} = \text{const.} \quad (5)$$

2. Gubici na trenje i ventilaciju (P_{fe}) su stalni po vrednosti jer se brzina asinhronog motora praktično ne menja:

$$P_{fw} = \text{const.} \quad (6)$$

Gubici u namotaju statora (P_{Cu1}), otpornosti (R_1) su

$$P_{Cu1} = 3R_1 I_1^2 \quad (7)$$

Gubici u provodnicima rotora (P_{Cu2})

$$P_{Cu2} = 3R_2 I_2^2 \quad (8)$$

koji se, za kavezne asinhronne motore, određuju na osnovu izmerene vrednosti klizanja (s) motora

$$P_{Cu2} = (P_1 - P_{Fe} - P_{Cu1}) \cdot s \quad (9)$$

pa se približna vrednost tih gubitaka, u nominalnom režimu, može odrediti i po izrazu

$$P_{Cu2n} \approx 0,5(P_{1n} + P_n) \cdot s_n \quad (9a)$$

3. Dodatni gubici opterećenja u motoru (P_d) se definišu kao razlika ukupnih gubitaka u motoru ($P_\gamma = P_1 - P_2$) i zbira navedenih (0-0) kategorija gubitaka, tj.

$$P_d = P_\gamma - (P_{Fe} + P_{fw} + P_{Cu1} + P_{Cu2}) \quad (10)$$

Dodatni gubici opterećenja se utvrđuju na jedan od tri načina:

a) Sračunavaju se kao razlika ukupne vrednosti gubitaka utvrđenih merenjem i zbirne vrednosti navedene četiri komponente konvencionalnih gubitaka snage, po izrazu (10), tj. određuju postupkom indirektnih merenja.

b) Utvrđuju se postupcima direktnih merenja, ili

c) Na osnovu pretpostavljenih vrednosti za dodatne gubitke opterećenja u nominalnom režimu, u procentima % nominalne utrošene (% P_{1n}) ili korisne (% P_n) snage motora. Jedino je taj procenat fiksiran ($P_d = 0,5 \% P_{1n}$) u standardu IEC 34-2, za motore svih snaga, dok je u drugim standardima taj procenat veći što su motori manjih snaga, i ide od 0,5-3 %.

3. PREGLED STANDARDA I METODE ZA ODREĐIVANJA GUBITAKA SNAGE I STEPENA ISKORIŠĆENJA ASINHRONIH MOTORA

3.1. Uvod

U cilju povećanja tačnosti, bilo je potrebno razviti što tačnije metode za merenje gubitaka snage i

stepena iskorišćenja motora. S obzirom na internacionalno tržište elektromotora, potrebno je da se vrednosti stepena iskorišćenja određuju, bar po sličnim, ako ne i istim metodama. U prvo vreme te metode su bile propisane u standardima najrazvijenijih zemalja (Nemačke, Engleske, SAD), da bi se potom došlo do Internacionalnih elektrotehničkih standarda (skraćena IEC). Odgovarajući standardi za ovu problematiku, najčešće nose naziv Standardi za određivanje gubitaka snage i stepena iskorišćenja motora. Najrasprostranjeniji Standard IEC 60034-2, 1972, Part 2: Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machines [4], koji je primenjivan (i još se primenjuje) širom sveta. Drugi po rasprostranjenosti je Američki standard IEEE St. 112-1996: IEEE Standard Test Procedure for Induction Machines [5], koji uključuje više metoda i postupaka. Osnovna prednost IEEE St. 112, u odnosu na IEC 60034-2, je u tome što zahteva da se tačnije utvrdi vrednost dodatnih gubitaka opterećenja, koji su posledica nesinusoidalnosti magnetnog polja duž međugvožda i nesavršenosti izrade mašine, a koji se teško mogu tačno izmeriti. Iz tih razlogu je, u cilju određivanja stepena iskorišćenja motora po IEC 60034-2, pretpostavljeno da dodatni gubici snage pri punom opterećenju iznose $P_d=0,5 \% P_{1n}$ (utrošene nominalne snage motora) i sa tim iznosom ovih gubitaka se računa pri određivanju stepena iskorišćenja. Kako je, sa razvojem mernih metoda i tačnijih instrumenata, sa sigurnošću utvrđeno da su ti gubici veći, to se u IEEE St. 112 računa sa većim procentom dodatnih gubitaka snage, pri čemu su procentni iznosi veći što su nominalne snage motora manje. Posledica toga je da se po IEEE St. 112 dobijaju nešto manje, ali tačnije vrednosti stepena iskorišćenja, za isti motor. Da bi se eliminisao taj nedostatak u novom Standardu IEC 61972, 1998: Methods for Determining Losses and Efficiency of Three-Phase, Cage Induction Motors [6], definisano je da se mora računati sa većim vrednostima dodatnih gubitaka, $P_d=3-1,5 \% P_{1n}$, za motore snaga od 1-200 kW.

I konačno, u sklopu sa planetarnim naporima da se proizvode i koriste, uglavnom, energetska efikasni motori -IE code, u kome su definisane četiri klase motora po nivoima vrednosti stepena iskorišćenja [3], završena je izrada novog Standarda IEC 60034-2-1, 2008, Standard Methods for Determining Losses and Efficiency from test Electrical Machines [7], koji po obuhvatnosti i nekim zahtevima prevazilazi i poznati IEEE St. 112. Na primer, u njemu se uvodi još jedna nova metoda za merenje dodatnih gubitaka opterećenja, „Ex-star test” (tzv. Ex-zvezda test).

3.2. Pregled i analiza metoda i standarda za merenje gubitaka snage i određivanje stepena iskorišćenja

Određivanje stepena iskorišćenja je moguće na više načina. S obzirom na različite zahteve, u pogledu tražene tačnosti, složenosti metode, raspoložive opreme, troškova i potrebnog vremena za sprovođenje merenja, koriste se brojne metode. Sve metode, koje su definisane u pojedinim standardima, se mogu svrstati u sledeće:

1. Metoda sa merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) i indirektnim merenjem dodatnih gubitaka opterećenja (P_d), i
 2. Metoda sa merenjem utrošene snage (P_1) i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}), i
 - a) direktnim merenjem dodatnih gubitaka opterećenja, ili
 - b) sa definisanim procentom dodatnih gubitaka po datom standardu.
 3. Metoda proračuna pomoću ekvivalentne šeme sa merenjem gubitaka praznog hoda (P_{Fe} , P_{fw}), i
 - a) direktnim merenjem dodatnih gubitaka snage, ili
 - b) sa indirektnim merenjem dodatnih gubitaka.
- U nekim standardima se navode (i) propisuju), i sledeće metode:
4. Metoda sa direktnim merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage motora.
 5. Metoda opterećenja motora sa generatorom (asinhroni ili jednosmerne struje) izbaždarene vrednosti stepena iskorišćenja (η_G), po sistemu M-G, pa je korisna snaga motora $P_{2M}=P_{1G}/\eta_G$, gde je P_{1G} – električne snage generatora.
 6. Metoda sa vraćanjem energije u istu mrežu (rekuperativne metode), sa dve jednake mašine i uređajem za podešavanje brzine, tj. prenosnog odnosa (1+2s), ili sa pretvaračem za podešavanje frekvencije.
 7. Kalorimetarska metoda.

Metode navedene pod 1 i 2 se najčešće koriste za određivanje nominalne vrednosti stepena iskorišćenja u ispitnim stanicama proizvođača, dok se metoda 2b može koristiti i za određivanje stepena iskorišćenja motora u eksploataciji ili posle premotavanja. Metoda proračuna pomoću ekvivalentne šeme se koristi u ispitnim stanicama proizvođača, kada su u pitanju motori snaga > 150 kW, pošto su dugotrajnija ispitivanja po Metodu 1 vezana sa velikim utroškom energije i vremena (6 režima ogleda opterećenja) i skupom opremom za merenje mehaničke snage i momenta. Metode navedene od 4 -7 se ređe koriste. Tako je korišćenje metode pod 4 u primeni samo kada su u pitanju motori snaga ≤ 1 kW i manjih vrednosti stepena iskorišćenja, dok je korišćene me-

toda pod 5 i 6 dosta složeno pa se koriste kada se radi o motorima velikih snagu i kada se to reguliše dogovorom proizvođača i kupca motora.

U cilju lakšeg sagledavanja i utvrđivanja osnovnih karakteristika navedenih metoda, u tabeli 1 je dat:

– uporedni prikaz datih metoda sa navođenjem karakterističnih postupaka za određivanje gubitaka, – specificirani su članovi, u IEEE St. 112 i IEC 60034-2-1, u kojima je definisan način merenja pojedinih gubitaka snage pri određivanju stepena iskorišćenja po navedenom metodu.

Tabela 1.

Pregled metoda za određivanje gubitaka snage i stepena iskorišćenja asinhronih motora

Standard	Poglavlje za dodatne gubitke	Posebna oprema	Za motore nominalnih snaga	Tačnost (Pouzdanost)
1. Metode sa merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage motora, i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} ; P_{Cu1} , P_{Cu2}) i indirektnim merenjem dodatnih gubitaka $P_d = (P_1 - P_2) - (P_{Fe} + P_{fw} + P_{Cu1} + P_{Cu2})$				
IEC 60034-2-1, 2008	8.2.2 i 8.2.2.5.1	Dinamometar za $M=0-1,25 M_n$	1-37 (160) kW	Visoka
IEEE 112, Metod B, 1996	6.4 i 5.4.1	– –	– –	– –
2. Metode sa merenjem utrošene snage motora (P_1), i izdvajanjem gubitaka snage (P_{Fe} , P_{fw} ; P_{Cu1} , P_{Cu2}), i sa: 2a. Direktnim merenjem dodatnih gubitaka (Metoda inverznog obrtanja, Ex-zvezda test), ili 2b. Pretpostavljenom vrednosti dodatnih gubitaka definisanom u datom standardu .				
2a. IEC 60034-2-1	8.2.2.5.2 i 8.2.2.5.4	– Za merenje dodatnih gubitaka	1-160 kW	Umerena
2a. IEEE 112, Metod E	6.6 i 5.4.2	– –	– –	Umerena
2b. IEC 60034-2-1	8.2.2 i 8.2.2.5.3	/	1-160 kW	Umerena/Visoka
2b. IEEE 112, Metod E1	6.6 i 5.4.4	/	– –	Umerena/Visoka
3. Metode proračuna pomoću ekvivalentne T-šeme, čiji se parametri određuju iz oglada praznog hoda i oglada sa zakočenim rotorom pri smanjenoj frekvenciji na $0,25 \pm 0,50 f_n$, i sa: 3a. Direktnim merenjem dodatnih gubitaka (Metoda inverznog obrtanja, Ex-zvezda test), ili 3b. Pretpostavljenom vrednosti dodatnih gubitaka definisanom u datom standardu (Izrazi 16a-16d).				
3a. IEC 60034-2-1, Čl. 8.2.2.4.3	8.2.2.5.2 i 8.2.2.5.4	– Izvor 0-15 Hz, I_m , – Za merenje dodatnih gubitaka	> 150 kW	Umerena
3a. IEEE 112, Metod F	6.7 i 5.4.2	– –	> 150 kW	Umerena
3b. IEC 60034-2-1	8.2.2.5.3	– Izvor 0-15 Hz, I_n	> 150 kW	Umerena/Visoka
3b. IEEE 112, Metod F1	6.7 i 5.4.4	–Izvor 0-15 Hz, I_n	> 150 kW	Umerena/ Visoka
4. Metode sa direktnim merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage motora				
IEC 60034-2-1, Čl. 8.1.1	/	Dinamometar	= 1 kW	Visoka
IEEE 112-Metod A, Čl. 6.3	/	– –	– –	– –
5. Metoda opterećenja motora sa generatorom (asinhroni ili jednosmerne struje) izbaždarene vrednosti stepena iskorišćenja (η_G), po sistemu M-G pa je korisna snaga motora $P_{2M} = P_{1G} / \eta_G$, gde je P_{1G} – električne snage generatora				
IEC 60034-2-1, Čl. 8.1.2	Ukupni gubici – 6.3.2.2	Izbaždarena mašina	> 150 kW	Visoka
IEEE 112-Metod C, Čl. 6.5	Čl. 6.5.2	– –	> 150 kW	– –
6. Metoda sa vraćanjem energije u istu mrežu (rekuperativne metode), sa dve jednake mašine i uređajem za podešavanje brzine, tj. prenosnog odnosa (1+2s), ili sa pretvaračem za podešavanje frekvencije.				
IEC 60034-2-1, Čl. 8.2.1	Ukupni gubici po Čl. 8.2.1 i 6.4.1.1.3	– Dve iste mašine i – Podešavanje frekvencije		
7. Kalorimetarska metoda				
IEC 60034-2-1, Čl. 8.1.2	Ukupni gubici – Anex D			Visoka

Metode navedene pod 5 i 6 nisu predmet odgovarajućih standarda u nekim zemljama, ali su obrađene u IEEE Standard 112 i Standard IEC 60034-2-1, 2008. Metod sa povraćajem energije u drugu mrežu (sistem M-G), pogotovu u verziji koja je obrađena u IEEE 112, Metod C, bi mogao biti jedna od najtačnijih metoda pošto uključuje samo merenje električnih veličina. Uz to nema multipliciranja vrednosti greške merenja pošto se direktno mere samo ukupni gubici snage u obe mašine. Postupak merenja propisuje šest režima opterećenja, od 1/4 do 6/4 nominalnog opterećenja pa je, kao i metod pod 1, vezan sa velikim utroškom energije i vremena. Dodatni problem je i u tome što zahteva dve identične mašine, pa se zbog toga retko primenjuje.

Kalorimetarska metoda se koristi u istraživačkim laboratorijama, i data je samo u IEC 60034-2-1, 2008 (Anex D).

4. ODREĐIVANJE STEPENA ISKORIŠĆENJA I DODATNIH GUBITAKA OPTEREĆENJA EKSPERIMENTALNIM METODAMA

Metode po kojima se utrošena (P_1) i (ili) korisna (P_2) snaga, konvencionalni (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) i dodatni gubici opterećenja (P_d), određuju postupcima merenja, smatraju se tačnijim i poznate su kao eksperimentalne metode za utvrđivanje stepena iskorišćenja motora. Određivanje stepena iskorišćenja je moguće na više načina. Ali, s obzirom na rasprostranjenost i tačnost koju obezbeđuju, za određivanje nominalne vrednosti stepena iskorišćenja najviše su u primeni sledeće dve metode:

1. Metoda sa merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}), i sa indirektnim merenjem dodatnih gubitaka opterećenja (P_d), i
2. Metoda sa merenjem utrošene snage (P_1) i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}), i direktnim merenjem dodatnih gubitaka.

Zajedničko za obe metode je da se konvencionalni gubici snage (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) mere i utvrđuju na isti način.

Razlikuju se jedino u načinu utvrđivanja dodatnih gubitaka opterećenja (P_d):

- po 1. metodi, oni se određuju indirektnim merenjem, tj. pomoću izraza $P_d = (P_1 - P_2) - (P_{Fe} + P_{fw} + P_{Cu1} + P_{Cu2})$, a
- po 2. metodi, oni se određuju direktnim merenjem, uglavnom pomoću Metoda inverznog obrtanja, a u novije vreme i iz Ex-zvezda testa, koji je uvršten i u najnoviji standard IEC 60034-2-1, 2008. godine.

4. 1. Metoda sa merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) i indirektnim merenjem dodatnih gubitaka opterećenja (P_d)

Postupak se odvija tačno utvrđenim redom, uključuje precizno definisana ispitivanja (ogleda), koji se sprovode po tačno utvrđenom redosledu i zahtevima. Cilj je da se, na osnovu direktnih merenja i rezultata eksperimentalnih ispitivanja i merenja, prvo odrede vrednosti tzv. konvencionalnih gubitaka snage (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}), a potom i dodatni gubici opterećenja (P_d) po metodi indirektnih merenja.

4.1.1. Određivanje konvencionalnih gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) iz ogleda opterećenja i praznog hoda

Primena postupka je ilustrovana na konkretnom primeru određivanja stepena iskorišćenja motora snage 7,5 kW (10 kS) i napona 575 V. Primer je preuzet iz [8], ali je pregledno sistematizovan i dopunjen sa korekcijom gubitaka u gvožđu (P_{fe}) na promenljive vrednosti napona iza omskog otpora statora $U_{ri} = U_0 - 1,73R_1 I_1 \cos\varphi$ (po zahtevima standarda IEC 60034-2-1 2008, Čl. 8.2.2.3.3).

Postupak uključuje precizno definisana ispitivanja (ogleda), koja se sprovode po tačno utvrđenom redosledu i zahtevima. Prvo je merenjem utvrđena srednja vrednost otpora namotaja statora, za sve tri faze, u hladnom stanju $R_{10} = 1,650 \Omega$, tj. na temperaturi okoline $\Theta_0 = \Theta_{amb} = 18^\circ \text{C}$.

Potom počinje *ogled zagrevanja* motora, koji sa vrši pri punom opterećenju i nominalnom naponu, i traje sve dok se ne dostigne (ustali) konstantna temperatura namotaja statora (u datom slučaju $\Theta = 104^\circ \text{C}$), koja je zbirna vrednost izmerene temperature okoline-ambijenta ($\Theta_{amb} = 29^\circ \text{C}$) i povišenja temperature namotaju statora u nominalnom režimu ($\Delta\Theta_n$). Iz ogleda zagrevanja se određuje nominalno povišenje temperature

$$\Delta\Theta_n = \Theta - \Theta_{amb} = 104^\circ \text{C} - 29^\circ \text{C} = 79^\circ \text{C} \quad (11)$$

Zatim se sprovodi *ogled opterećenja*, po pravilu [6–8], za četiri režima opterećenja od 25–100 %, uključujući i nominalno (100 %), i dva nivoa opterećenja između 100 % i 150 % (često samo do 125 %), po pravilu sa stalnim naponom na priključcima motora ($U_1 = 575 \text{ V}$). Pri tome se mere

- srednje temperature namotaja statora (Θ_1), vrsta 1 u tabeli 2,
- linijska struja opterećenja (I_1), vrsta 2,
- utrošena snaga (P_1), vrsta 3,

- broj okretaja motora (n), vrsta 4,
- obrtni momenat (M), vrsta 5.

Za izmerene temperature namotaja statora, vrednosti Θ_{1i} (vrsta 1 u tabeli 2), sračunate su vrednosti otpora statora (R_{1i}), a potom i odgovarajuće vrednosti gubitaka u namotaju statora ($P_{Cu1}=1,5R_1I_1^2$), vrsta 6 u tabeli 2.

- Motor se rastereti ali ostaje priključen na mrežu, i kada se stabilizuje merena vrednost utrošene snage (varijacije $\leq 3\%$ u narednih 30 minuta) započinje se *ogled praznog hoda*, koji se provodi sa 3 ili više vrednosti napona iz oblasti 60 %-125 % nominalnog i 3 ili više vrednosti napona iz oblasti 50 %-20 %. Pri svakoj od datih vrednosti napona, mere se
- srednje vrednosti (za sve tri faze) napona (U_{0i}) i linijske struje (I_{0i}),
 - utrošene snage ($P_{0,i}$), i
 - srednja temperatura namotaja statora (Θ_0).

Za izmerene temperature namotaja statora, Θ_{0i} ($^{\circ}\text{C}$) i ambijenta $\Theta_{amb,0}=18^{\circ}\text{C}$, sračunate su vrednosti otpora statora ($R_{10,i}$), a potom i vrednosti gubitaka u namotaju statora ($P_{Cu,oi}=1,5R_{10i}I_{0i}^2$). Zbirne vrednosti gubitaka u gvožđu i gubitaka na trenje i ventilaciju se sračunavaju, $(P_{fe}+P_{fw})_i=P_{o,i}-P_{Cu1,oi}$, i na osnovu dobijenih vrednosti se crtaju krive $(P_{fe}+P_{fw})=f_1(U_{0i})$ i $(P_{fe}+P_{fw})=f_2(U_{0i2})$. Ekstrapolacijom druge krive (koja je prava linija u oblasti napona $U_{0i}=0,60 U_n$) do preseka sa ordinatnom osom, gubici na trenje i ventilaciju ($P_{fw}=const$) se određuju kao vrednost ordinate presečne tačke, $P_{fw}=72\text{ W}$. Gubici u gvožđe (P_{fe}) su jednaki razlici ordinate prve krive $(P_{fe}+P_{fw})=f_1(U_{0i})$, za nominalnu vrednost napona, i prethodno utvrđene vrednosti P_{fw} . U datom primeru $P_{fe}=535\text{ W}$. Gubici u gvožđu se smatraju konstantnim u posmatranoj oblasti opterećenja i jednakim datoj vrednosti $P_{fe}=535\text{ W}=const$ (vrsta 7 u tabeli 2), za režim praznog hoda pri nominalnom naponu.

Gubici u provodnicima rotora $P_{Cu2}=(P_1-P_{Fe}-P_{Cu1})$ -s se sračunavaju, na osnovu izmerene vrednosti utrošene snage (P_1) i utvrđenih vrednosti gubitaka u namotaju statora (P_{Cu1}) i gubitaka u gvožđu (P_{Fe}) i klizanja motora ($s=1-n/n_s$), za svaki od 6 režima opterećenja, i dati su u vrsti 9 u tabele 2).

4.1.2. Određivanje dodatnih gubitaka opterećenja (P_d) po metodi indirektnih merenja

Kako se po ovoj metodi, pored broja okretaja motora (n) meri i obrtni momenat (M), to se na osnovu rezultata merenja određuje i korisna snaga motora, $P_2=M\cdot n/9,55$, za svaki od 6 režima opterećenja (vrsta 10 u tabeli 2). To omogućava da se indirektnim merenjima odrede dodatni gubici opterećenja $P_d=(P_1-P_2)-(P_{Fe}+P_{fw}+P_{Cu1}+P_{Cu2})$, pa su tako dobi-

jene vrednosti date u tabeli 2, vrsta 11. S obzirom na poznatu kvadratnu zavisnost ovih gubitaka od opterećenja, oni se prvo aproksimiraju pomoću zavisnosti

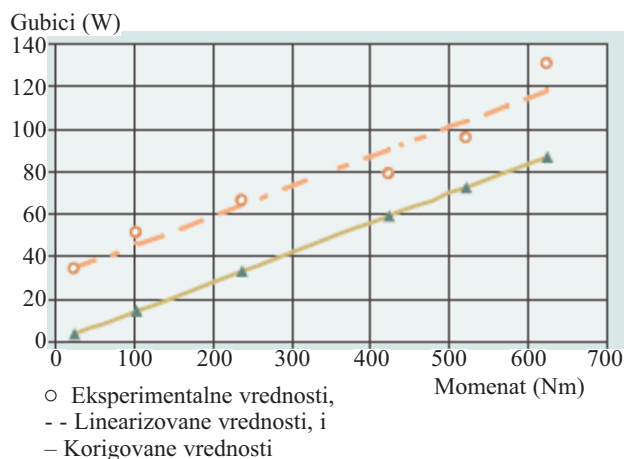
$$P_d(1)=AP^2+B \quad (12)$$

gde se vrednosti za A i B utvrđuju linearnom regresivnom analizom datog niza vrednosti u tabeli 2, vrsta 11. Kako po definiciji ovi gubici uzimaju nultu vrednost za vrednost korisne snagu $P=0$, to proizilazi da je stalni član $B=0$, pa se ovi gubici aproksimiraju sa

$$P_d=AP^2 \quad (13)$$

Tako korigovane vrednosti $P_d=A\cdot P_2^2$ su date u vrsti 12, tabela 2.

Na slici 1 je, u principu, dat prikaz postupka za određivanje dodatnih gubitaka opterećenja.



Slika 1. Principijski prikaz postupka za određivanje dodatnih gubitaka opterećenja

Iako su navedeni konvencionalni gubici snage (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) određeni, po datim izrazima (5)-(9), na osnovu podataka dobijenih eksperimentalnim merenjima, za tačno određivanje istih, u smislu standarda i tražene tačnosti i jednoznačnosti dobijenih rezultata, propisani su precizni postupci. Tako se gubici P_{Cu1} i P_{Cu2} koriguju-svode na radnu temperaturu. Po nekim standardima [5,7], potrebno je i gubitke u gvožđu (P_{Fe}) svesti na promenljive vrednosti napona iza otpora namotaja statora (R_1) sa opterećenjem motora, kako bi se uračunalo smanjenje ovih gubitaka sa opterećenjem mašine.

Tabela 2.

Određivanje stepena iskorišćenja po Metodi sa merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage, gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} ; P_{Cu1} , P_{Cu2}) i indirektnim merenjem dodatnih gubitaka $P_d = (P_1 - P_2) - (P_{Fe} + P_{fw} + P_{Cu1} + P_{Cu2})$, [8].

Ogled opterećenja	1	2	3	4	5	6
1. Temperature namotaja statora, Θ_{1i} (°C)	37	45	48	48,5	49	49
2. Izmerene linijske struje u režimima opterećenja (I_1)	13,76	12,90	11,61	9,66	8,03	6,81
3. Izmerene utrošene snage (P_1)	10 980	10 150	8 880	6 780	4 730	2 710
4. Izmereni broj okretaja motora, n (1/min)	1755	1757	1763	1772	1782	1790
5. Izmereni obrtni momenat motora (M)	50,8	46,8	40,7	30,5	20,3	1,2
6. Gubici u namotaju statora ($P_{Cu1} = 1,5R_1 I_1^2$)	503	457	374	259	179	129
7. Gubici u gvožđu statora ($P_{fe} = const$)	535	535	535	535	535	535
8. Gubici na trenje i ventilaciju	72	72	72	72	72	72
9. Gubici u provodnicima rotora: $P_{Cu2} = (P_1 - P_{Fe} - P_{Cu1}) \cdot s$	249	219	164	93,4	40,2	11,4
10. Izmerena korisna snaga motora ($P_2 = M \cdot n / 9,55$)	9 340	8 610	7 510	5 660	3 790	1 910
11. Dodatni gubici opterećenja (P_d) $P_d = (P_1 - P_2) - (P_{fe} + P_{fw} + P_{Cu1} + P_{Cu2})$	281	257	225	161	114	52,6
12. Aproksimirani dodatni gubici sa $P_d = A \cdot P_2^2 + B$, i korigovani na vrednost $P_d = A \cdot P_2^2$	227	193	146	81,8	36,2	9,1
Korekcije gubitaka u namotaju statora i rotora, i korisne snaga motora, na radnu temperaturu (Θ)						
13. Gubici u namotaju statora korigovani na radnu temperaturu ($\Theta = 75 + 29 = 104$ °C): $P_{Cu1\Theta} = 1,5R_1 \Theta I_1^2$	608	534	433	300	207	149
14. Gubici u provodnicima rotora korigovani na radnu temperaturu (Θ): $P_{Cu2\Theta} = (P_1 - P_{Fe} - P_{Cu1}) \times s \Theta$	309	264	196	112	47,9	13,5
15. Korisna snaga motora (P_2) korigovana na radnu temperaturu (T): $P_{2T} = P_1 - (P_{fe} + P_{fw} + P_{Cu1\Theta} + P_{Cu2\Theta} + P_{d,cor})$	9 229	8 552	7 498	5 679	3 832	1 931
16. Stepen iskorišćenja $\eta = 100 \cdot P_{2\Theta} / P_1$	84,06	84,26	84,44	83,76	81,01	71,26
Korekcije gubitaka u gvožđu (P_{fe}) na napon $U_{ri} = U_0 - 1,73R_1 \cdot I_{1i} \cdot \cos\phi$ (po IEC 60034-2-1 2008, Čl. 8,2,2,3,3)						
17. Gubici u gvožđu statora (P_{fe}) su korigovani na napone $U_{ri} = U_0 - 1,73R_1 \cdot I_{1i} \cos\phi$: $P_{fei} = P_{fe}(U_{ri}) < P_{fe, const}$	449	453	461	476	493	513
18. Dodatni gubici ($P_{d,cor}$), korigovani sa ($P_{fe} - P_{fe,i}$), tj.: $P_{d,cor} = (P_1 - P_2) - (P_{fe,i} + P_{fw} + P_{Cu1} + P_{Cu2})$	367	339	299	220	156	74
19. Aproksimirani dodatni gubici sa $P_{d,cor} = A + B \cdot P_2^2$, i korigovani na vrednost $P_{d,cor} = B \cdot P_2^2$	305	258	193	107	46	11,5
20. Korisna snaga motora ($P_{2\Theta}$) korigovana sa $P_{d1,cor}$ i $P_{fe,i}$, tj.: $P_{2\Theta,cor} = P_1 - (P_{fe} + P_{fw} + P_{Cu1\Theta} + P_{Cu2\Theta} + P_{d,cor}) \approx P_{2\Theta}$	9237	8 569	7 525	5 713	3 864	1 950
21. Stepen iskorišćenja sa korigovanim gubicima $P_{fei} = P_{fe}(U_{ri})$: $\eta_{cor1} = 100 \cdot P_{2\Theta,cor} / P_1 > \eta$	84,12	84,42	84,74	84,26	81,69	71,95
Korekcija utrošene snage (P_1) za iznos temperaturne korekcije gubitaka u namotaju statora $\Delta P_{Cu1\Theta}$						
22. Promena gubitaka u namotaju statora zbog korekcije na radnu temperaturu (Θ): $\eta P_{Cu1\Theta} = P_{Cu1\Theta} - P_{Cu1}$	105	77	59	41	28	20
23. Utrošena snaga uvećana za $\eta P_{Cu1\Theta}$, $P_{1,cor} = P_1 + \eta P_{Cu1\Theta}$	11 085	10 227	8 939	6 821	4 758	2 730
24. Korisna snaga uvećana za $\eta P_{Cu1\Theta}$, $P_{2,cor} = P_{2\Theta,cor} + \eta P_{Cu1\Theta}$	9 342	8 646	7 584	5 754	3 892	1 970
25. Stepen iskorišćenja: $\eta_{cor2} = 100 \cdot P_{2\Theta,cor} / P_{1,cor}$	84,27	84,54	84,84	84,36	81,80	72,16

4.1.3. Svođenje gubitaka snage u namotaju statora i provodnicima rotora na nominalnu temperaturu

Izračunate vrednosti gubitaka u namotaju statora ($P_{Cu1}=1,5R_1I_1^2$), koje su određene na osnovu izmerene vrednosti otpora u namotaju statora (R_1) u ogledu opterećenja, se koriguju-svođe na radnu temperaturu (Θ), koja je zbirna vrednost zadate temperature okoline-ambijenta (najčešće je $\Theta_{amb}=25^\circ\text{C}$) i povišenja temperature u namotaju statora u nominalnom režimu ($\Delta\Theta_n=79^\circ\text{C}$), $\Theta=\Theta_{amb}+\Delta\Theta_n=104^\circ\text{C}$. Prvo se određuju korigovane vrednosti otpora u namotaju statora ($R_{1\Theta}$):

$$R_{1\Theta} = R_{10} \cdot \frac{235 + \Theta_0}{235 + \Theta_{ref}} \quad (14)$$

R_{10} i Θ_0 – izmerene vrednosti otpora namotaja statora (R_{10}) u hladnom stanju, tj. na temperaturi okoline (Θ_0), a

$\Theta_{ref}=\Theta_{amb}+\Delta\Theta_n=104^\circ\text{C}$ – povišenje temperature pri nominalnom opterećenju i temperaturi ambijenta $\Theta_{amb}=25^\circ\text{C}$,

$\Delta\Theta_n=\Theta_{1n}-\Theta_{amb}=79^\circ\text{C}$ – izmereno povišenje temperature pri ogledu nominalnog opterećenja.

Za tako korigovane vrednosti otpora $R_{1\Theta}$, sračunate su korigovane vrednosti gubitaka u namotaju statora ($P_{Cu1\Theta}=1,5R_{1\Theta}I_1^2$), i date u tabeli 2, vrsta 13.

Zatim se izmerene vrednosti klizanja, pri izmenim temperaturama namotaja statora Θ_{1i} ($^\circ\text{C}$) – vrsta 1 u tabeli 2, koriguju na datu radnu temperaturu $\Theta=\Theta_{amb}+\Delta\Theta_n$, pomoću izraza

$$s_{i\Theta} = s_i \frac{235 + \Theta_{1i}}{235 + \Theta_i} \quad (15)$$

Za tako korigovane vrednosti klizanja ($s_{1\Theta}$), sračunate su korigovane vrednosti gubitaka u namotaju rotora $P_{Cu2\Theta}=(P_1-P_{Fe}-P_{Cu1}) \cdot s_{\Theta}$, i date u tabeli 2, vrsta 14.

Korigovana korisna snaga motora ($P_{2\Theta}$), na radnu temperaturu (Θ), je $P_{2\Theta}=P_1-(P_{Fe}+P_{fw}+P_{Cu1\Theta}+P_{Cu2\Theta}+P_{d,cor})$, i tako sračunate vrednosti su date u tabeli 2, vrsta 15. Na kraju su određene vrednosti stepena iskorišćenja, po formuli $\eta=100 \cdot P_{2\Theta}/P_1$, i tako dobijene vrednosti su date u vrsti 16 tabele 2, za svaki od 6 režima opterećenja.

4.1.4. Korekcije gubitaka u gvožđu (P_{Fe}) na napon iza otpora namotaja statora (IEC 60034-2-1 2008)

Iako se u većini standarda uzima da su gubici u gvožđu stalni ($P_{Fe}=const$), ipak, njihova vrednost se menja od praznog hoda do nominalnog opterećenja. Kako bi se i to uzelo u obzir, IEC 60034-2-1 2008

[7] predviđa da se vrednost gubitaka u gvožđu određuje pomoću zavisnosti $P_{Fe}=f(U_0=U_r)$ iz ogleda praznog hoda, gde se promenljive vrednosti napona iza otpora namotaja statora (R_1), $U_0=U_r$, određuju po formuli [7]

$$U_r = \sqrt{\left(U_0 - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R_1 I_1 \cos \varphi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R_1 I_1 \sin \varphi\right)^2} \quad (16)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot UI}; \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \quad (17)$$

gde je

I_1 – izmerena (linijska) struja motora, a

R_1 – izmerena vrednost otpora između dva izvoda na priključnoj ploči motora, bilo da je namotaj statora spregnut u trougao (Δ) ili zvezdu (Y).

Izraz (16) se izvodi na osnovu poznatih odnosa između linijskih (R_1 i I_1) i faznih (R_{1f} i I_{1f}) parametara motora. Naime,

– za vezu trougao (Δ), važe sledeće relacije

$$R_{1f}=(3/2)R_1 \text{ i } I_{1f} = I_1/\sqrt{3} \quad (18)$$

– dok pri vezi namotaja statora u zvezdu (Y), važe relacije

$$R_{1f}=0,5R_1 \text{ i } I_1 = I_{1f} \quad (19)$$

Treba primetiti da se drugi član u potkorenim izrazu (16) može zanemariti, pa je

$$U_r \approx U_0 - (\sqrt{3}/2) \cdot R_1 I_1 \cos \varphi \quad (20)$$

Kako je izraz (20) jednostavniji od izraza (16), to se predlaže da se on koristi u praksi.

Gubici u gvožđu statora (P_{Fe}) su dobijeni (korigovani) pomoću zavisnosti $P_{Fe}=f(U_{0r})$ za vrednosti napona između 60 % i 125 %, za vrednosti napona $U_{r,i}=U_0-1,73R_1 \cdot I_{1i} \cos \varphi$. Tako korigovane vrednosti gubitaka u gvožđu su date u vrsti 17 tabele 2. Za dati niz vrednosti gubitaka u gvožđu ($P_{Fe,i}$), određene su (nove) korigovane vrednosti dodatnih gubitaka opterećenja $P_{d,cor}=(P_1-P_1)-(P_{Fe}(U_{r,i})+P_{fw}+P_{Cu1}+P_{Cu2})$, i dobijene vrednosti date u tabeli 2, vrsta 17. Na pokazani način ovaj niz vrednosti se prvo aproksimira pomoću zavisnosti AP^2+B , i na kraju se ovi gubici aproksimiraju sa AP^2 . Tako korigovane vrednosti $P_{d,cor}=A \cdot P_2^2$ su date u vrsti 19, tabela 2.

Potom je korisna snaga motora (P_2) korigovana na novu vrednost), $P_{2\Theta,cor}=P_1-(P_{Fe}(U_{r,i})+P_{fw}+P_{Cu1\Theta}+P_{Cu2\Theta}+P_{d,cor})$, i tako sračunate vrednosti su date u tabeli 2, vrsta 20. Na kraju su određene vrednosti stepena iskorišćenja, po formuli $\eta_{cor1}=100 \cdot P_{2\Theta}/P_1$, i tako dobijene vrednosti su date u vrsti 21, za svaki od 6 režima opterećenja.

4.1.5. Korekcije utrošene snage (P_1) za temperaturne korekcije gubitaka u namotaju statora $\Delta P_{Cu1\Theta}$

Iako se ova korekcija eksplicitno ne pominje ni u jednim standardima, ona ima logično utemeljenje a, u našem primeru, i primetnu kvantitativnu vrednost. Naime kako je ogled opterećenja sproveden pri temperaturama namotaja statora, $\Theta_{1i}=37\div 49\text{ }^\circ\text{C}$ (vrsta 1, tabele 2) koje su znatno niže od referentne temperature $\Theta=75+29=104\text{ }^\circ\text{C}$ (vrsta 11), to je potrebno izvršiti odgovarajuću korekciju. Tačnije, i izmerene vrednosti utrošene snage (P_1), u ogledu opterećenja, treba uvećati za iznose povećanja gubitaka u namotaju statora zbog korekcije na radnu temperaturu (Θ), tj. za vrednosti $\Delta P_{Cu1\Theta}=P_{Cu1\Theta}-P_{Cu1}$, date u vrsti 22. Naime, moguće je dato povećanje otpora zamisliti kao dodatni otpor ispred namotaja statora na kome se izdvaja snaga jednaka navedenom povećanju gubitaka. Tako uvećane (korigovane) vrednosti utrošene snage, $P_{1,cor}=P_1+\Delta P_{Cu1\Theta}$, su date u vrsti 23 tabele 2. To dovodi do povećanja vrednosti korisna snaga motora za isti iznos $\Delta P_{Cu1\Theta}$ tako da je nova korigovana vrednost korisna snaga), $P_{2,cor}=P_{2\Theta,cor}+\Delta P_{Cu1\Theta}$, čije su vrednosti date u vrsti 24 tabele 2. Na kraju su sračunate korigovane vrednosti stepena iskorišćenja za tako uvećanu utrošenu snagu:

$$\eta_{cor2} = 100 \cdot (P_{2\Theta,cor} + \Delta P_{Cu1\Theta}) / (P_1 + \Delta P_{Cu1\Theta}) \quad (21)$$

Važno je primetiti da su tako dobijene vrednosti struje vrednosti stepena iskorišćenja $\eta_{cor2} > \eta_{cor1}$, tj. veće su samo za 0,10-0,20 %. Istina je da bi navedena greška bila još manja, ukoliko se ogled opterećenja sprovodi pri temperaturama koje se manje razlikuju od radne temperature (Θ). Iz toga proizilazi zaključak da je, ipak, potrebno navedene standarde dopuniti sa stavom, „da se (1) ogled opterećenja, po pravilu, sprovodi pri temperaturama namotaja statora koje se za $\leq 10\text{ }^\circ\text{C}$ razlikuju od temperature (Θ) u nominalnom režimu ili referentne temperature za datu klasu izolacije motora, ili (2) da se, u suprotnom, izmerene vrednosti utrošene snage moraju korigovati za iznose promena gubitaka u namotaju statora $\Delta P_{Cu1\Theta}$ zbog korekcije na radnu temperaturu (Θ)”.

4.2. Metoda sa merenjem utrošene snage (P_1) i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}), i direktnim merenjem dodatnih gubitaka opterećenja

Zajedničko sa metodom koji je opisan u 4.1 je da se konvencionalni gubici snage (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) mere i utvrđuju na isti način. Jedino se razli-

kuju u tome što se po ovoj metodi dodatni gubici opterećenja (P_d) određuju direktnim merenjem, uglavnom pomoću Metoda inverznog obrtanja, a u novije vreme i po Ex-zvezda, koji je uvršćen i u najnoviji standard IEC 60034-2-1, 2008. godine.

4.2.1. Određivanje konvencionalnih gubitaka snage (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) iz ogleda opterećenja i ogleda praznog hoda

Za određivanje konvencionalnih gubitaka snage (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}) je potrebno prvo izvršiti sledeće ogleda:

- ogled zagrevanja,
- ogled opterećenja, i
- ogled praznog hoda ,

Zatim se po postupcima, koji su opisani u 4.1.4, određuju vrednosti navedenih gubitaka snage, i to

- gubitaka u gvožđu (P_{Fe}) i gubitaka na trenje i ventilaciju (P_{fw}) iz ogleda praznog hoda, uz poželjnu korekciju gubitaka u gvožđu po postupku koji je opisan u 4.1.4,
- gubici u namotaju statora ($P_{Cu1}=1,5R_1I_1^2$) i gubici u provodnicima rotora: $P_{Cu2}=(P_1-P_{Fe}-P_{Cu1})\cdot s$, pomoću ogleda opterećenja i ogleda zagrevanja, uz odgovarajuće temperaturne korekcije koje su opisane u 4.1.3.

Dobijene vrednosti, iz praktičnih razloga, je pogodno prikazati u tabeli koja je slična datoj tabeli 1.

4.2.2. Postupci za direktno merenje dodatnih gubitaka opterećenja (P_d)

Kada se ne meri korisna (mehanička) snaga motora (P_2), dodatni gubici opterećenja (P_d) se moraju odrediti postupcima direktnih merenja. Uglavnom se koriste dve metode direktnih merenja: metod inverznog obrtanja i takozvani Ex-zvezda test (St. IEC 60034-2-1, 2008), a u posebnim slučajevima i na osnovu pretpostavljene vrednosti dodatnih gubitaka opterećenja [3–7], koje su date u 5.3.

5. METODE ZA DIREKTNO MERENJE DODATNIH GUBITAKA OPTEREĆENJA

Dodatni gubici opterećenja (P_d) se, pored po metodi indirektnih merenja (4.1.2), mogu odrediti postupcima direktnih merenja. Uglavnom se koriste dve metode direktnih merenja:

- metod inverznog obrtanja + ogled sa izvađenim rotorom (IEEE 112 i IEC 60034-2-1, 2008), i
- takozvani Ex-zvezda test (St. IEC 60034-2-1, 2008),

Ukoliko se dodatni gubici opterećenja (P_d) ne mogu odrediti ni postupkom indirektnih merenja ni-

ti navedenim postupcima direktnih merenja, onda se uzimaju pretpostavljene vrednosti koje zavise od snage motora, ali su te procene različite u pojedinim standardima (videti 5.3).

5.1. Metod inverznog obrtanja i ogled sa izvađenim rotorom za merenje dodatnih gubitaka

Po ovom postupku za direktno merenje, dodatni gubici opterećenja se određuju iz dva nezavisna oglada

– ogled kratkog spoja motora sa izvađenim rotorom i
– ogled inverznog sinhronog obrtanja, pri podešenoj vrednosti napona da struja u oba ogle-da-testa (I_t) bude jednaka komponenti struje optere-ćenja motora, npr. u nominalnom režimu ($I_t = I_{2N}$), tj:

$$I_t = \sqrt{I_{1N}^2 - I_0^2} \quad (22)$$

gde su:

I_{1N} – struja motora u nominalnom režimu i

I_0 – struja motora u praznom hodu pri $U_0 = U_N$.

Naime, ukupni dodatni gubici opterećenja (P_d) se mogu predstaviti u vidu zbira dve komponente [5]:

$$P_d = P_{ds} + P_{dr} \quad (23)$$

gde su

P_{ds} – komponenta dodatnih gubitaka zbog polja osnovne frekvencije u statoru motora, i

P_{dr} – komponenta visokofrekventnih dodatnih gubi-taka u rotoru motora.

Komponenta dodatnih gubitaka zbog polja osnovne frekvencije u statoru motora (P_{ds}) se odre-đuje iz oglada kratkog spoja motora sa izvađenim rotorom, tj. izračunava se po izrazu

$$P_{ds} = P_{ds} - R_s I^2 \quad (24)$$

gde su

P_{ds} – Električna snaga koju motor sa izvađenim ro-torom uzima iz mreže

$R_s I^2$ – Gubici snage u namotaju statora.

Komponenta dodatnih gubitaka (P_{dr}), koji na-staju u rotoru zbog viših prostornih harmonika polja, se određuje pomoću testa inverznog sinhronog obr-tanja. Motor se u sklopljenom stanju (za razliku od sklopa sa odstranjenim rotorom koji se koristi za merenje dodatnih gubitaka osnovne frekvencije) pri-ključuje na regulisani izvor napona osnovne fre-kvencije. Rotor se istovremeno pomoću dodatnog pogona obrće sinhronom brzinom u smeru koji je

suprotan obrtnom polju statora. Vrednost struje tre-ba da bude jednaka izračunatoj vrednosti po izrazu (22). Meri se električna snaga koju motor uzima iz mreže. Mehanička snaga koja je potrebna za pogon rotora se meri u dva slučaja – (1) namotaj statora sa proticanjem struje i (2) namotaj statora bez protica-nja struje. Komponenta visokofrekventnih dodatnih gubitaka u rotoru (P_{dr}) se izračunava po izrazu:

$$P_{dr} = (P_{meh,r} - P_f) - (P_{el} - P_{ds} - R_s I^2) \quad (25)$$

gde su:

$P_{meh,r}$ – Mehanička snaga koja je potrebna za pogon rotora kada kroz namotaj statora protiče struja,

P_f – Mehanička snaga koja je potrebna za pogon ro-tora kada kroz namotaj statora ne protiče struja, i

P_{el} – Električna snaga koju motor uzima iz mreže u testu inverznog obrtanja.

Ponekad je dovoljno samo pomoću testa inverz-nog sinhronog obrtanja odrediti komponente viso-kofrekventnih gubitaka, pošto oni, po pravilu, uče-stvuju sa više od 80 % u ukupnim dodatnim gubici-ma opterećenja-tj. $P_d \approx P_{dr}$, pa je poboljšanje tačno-sti testa inverznog sinhronog obrtanja odlučujući faktor za povećanje tačnosti merenja dodatnih gubi-taka opterećenja. Naime, složenim laboratorijskim merenjima je pokazano [9–12], da rezultati merenja po ovom postupku mogu biti praćeni sa greškom ko-ja iznosi +(10÷40) %, i koja je sistemske prirode.

Argument koji se često ističe protiv ovog po-stupka se zasniva na činjenici da je magnetno polje znatno manje od istog u normalnom radu [9–12], iz-nosi samo 20-30 %. Iz tog razloga, rezultati koji se dobiju iz testa inverznog obrtanja mogu biti sa veli-kom greškom [11,12]. Tako dobijene vrednosti do-datnih gubitaka opterećenja mogu biti veće i do 40 % [11], u odnosu na stvarne vrednosti izmerene pri no-minalnom opterećenju.

Poboljšani postupak inverznog obrtanja [13] se zasniva na izloženom postupku inverznog obrtanja, ali uključuje jednu izmenu i jedan dodatni test . Na-ime vrednosti izmerenih visokofrekventnih gubitaka opterećenja u testu ($P_{dr,t}$), se smanjuju za $(K_{hs,n})^2$ pu-ta, tj. odgovarajuća vrednost visokofrekventnih gu-bitaka je:

$$P_{dr} = P_{dr,t} (1/K_{hs,n})^2 \quad (26)$$

Vrednost koeficijenta zasićenja za više harmo-nike (K_{hs}) se određuje na osnovu izmerenih vredno-sti koeficijenta zasićenja za osnovni harmonik (K_{1S}) po predloženom postupku, ili samo postupkom in-terpolacije vrednosti iz zavisnosti $K_{hs} = f(K_{1S})$ date u tabeli 3 [13].

Tabela 3.

Tabelarni prikaz zavisnosti $K_{hS,n} = f(K_{1S,n})$, za uobičajeno područje krivih praznog hoda $I_o = f(U_o)$ [13]

$K_{1s,n}$	1,000	1,113	1,222	1,284	1,400	1,524	1,727	1,982
$K_{hs,n}$	1,000	1,024	1,076	1,112	1,165	1,232	1,337	1,480

Vrednost koeficijenta zasićenja za osnovni harmonik (K_{1S}) se određuje iz oglada praznog hoda sa promenljivim vrednostima napona, po izrazu

$$K_{1S,i} = I_{0i} / I_{\delta i} \quad (27)$$

gde su:

I_{0i} – izmerene vrednosti struja praznog hoda (magnećenja) pri vrednostima napona U_{0i} , i

$I_{\delta i}$ – deo struje (MPS) praznog hoda (magnećenja) koji odlazi na međugvožđe mašine.

5.2. Ex-zvezda test asinhronne mašine za merenje dodatnih gubitaka (IEC 60034-2-1 2008)

Za ovaj postupak potrebno je da neopterećen asinhroni motor bude priključen na nesimetričan sistem napona. Motor se priključuje po šemi datoj na sl. 2. Ukoliko je motor vezan za normalan rad u vezi trougao (Δ), onda on mora biti prespojen u vezu zvezda (Y) za ovo ispitivanje. Zvezdište mora biti vezano za neutralni provodnik ili provodnik za uzemljenje da bi se izbegle struje nultog reda. Treća faza treba da bude priključena preko otpora R_{ex} (slika 2) približne vrednosti

– za motor koji normalno radi u vezi zvezda (Y)

$$R_{ex} = 0,2 \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (28)$$

– za motor koji normalno radi u vezi trougao (Δ)

$$R_{ex} = 0,2 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{I_n} \quad (29)$$

Regulacioni otpor (R_{ex}) treba da bude podešen tako da struja direktnog (pozitivnog) sistema $I_{ds} \leq 0,3 I_{is}$ (struja inverznog sistema) i da broj okreta motora bude blizu nominalnog. Preporučuje se da ogled počne sa 20 % navedene vrednosti (R_{ex}).

Struja motora u vreme testa (I_t) treba da ima vrednost

– za motor koji normalno radi u vezi zvezda (Y):

$$I_t = \sqrt{I_N^2 - I_0^2} \quad (30)$$

– za motor koji normalno radi u vezi trougao (Δ):

$$I_t = \frac{\sqrt{I_N^2 - I_0^2}}{\sqrt{3}} \quad (31)$$

Napon na koji se priključuje motor treba da ima vrednost

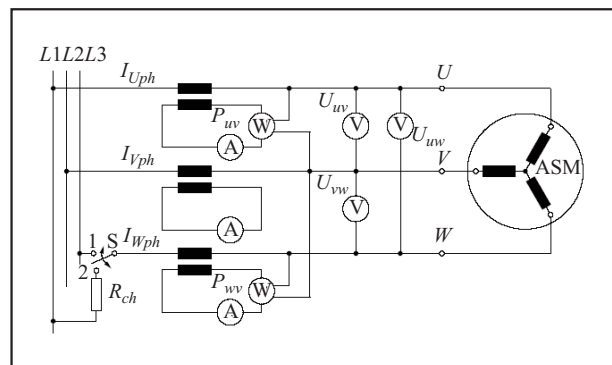
– za motor koji normalno radi u vezi zvezda (Y):

$$U_t = U_N$$

– za motor koji normalno radi u vezi trougao (Δ):

$$U_t = \sqrt{3} \cdot U_N$$

Prethodno treba da se sprovede ogled praznog hoda za uobičajeno područje vrednosti napona.



Slika 2. Ex-zvezda test za određivanje dodatnih gubitaka opterećenja

Otpornost između linijskih priključaka motora U i W (R_{UW}) se meri pre i posle završetka testa. Da bi se izbeglo nejednako zagrevanje namotaja faza, test treba da bude sproveden na hladnoj mašini, pažljivo i što je moguće brže. Veliki motori se mogu pokretati bez otpora R_{ex} (prekidač S u položaju 1, slika 2) pri smanjenom naponu (25 %-40 % U_N). Po dostizanju brzine priključuje se otpor R_{ex} (prekidač S u položaju 2, slika 2). Manji motori se mogu pokretati sa već vezanim otporom R_{ex} , tako da prekidač nije ni potreban.

Ogled se sprovodi za 6 radnih tačaka, koje su izabrane tako da struja koje se meri u fazi V (I_V) uzima vrednost između 150 % i 75 % nominalne struje. Uvek se počinje sa najvećom strujom, i u opadajućem nizu vrednosti dolazi se do najniže vrednosti.

Za nominalnu (100 %) i niže vrednosti struja u testu, otpor R_{UW} je ona vrednost koja je izmerena na kraju testa, tj. pri najnižoj vrednosti struje. Vrednost otpora za struje >100 %, treba da bude određena iz linearne zavisnosti otpora od struje, $R_{UW}(I)$, dobijene za vrednosti otpora pre i posle završetka testa.

U testu se mere vrednosti sledećih veličina I_U , I_V , I_W ; U_{UV} , U_{VW} , U_{WU} ; P_{UV} , P_{VW} ; n , za ispitivane režime. Pomoću postupka detaljno prikazanog u IEC 60034-2-1 2008, Anex B, sprovode se potrebna izračunavanja traženih veličina, za svaku od 6 tačaka ispitivanja.

Treba primetiti da gubici snage koji su posledica sistema inverznih struja, pri klizanju $2-s \approx 2$, odgovaraju dodatnim gubicima opterećenja koji se mere u testu inverznog sinhronog obrtanja. Međutim, rezultati dosadašnjih ispitivanja pokazuju da je ovaj test tačniji [14] i jednostavniji za sprovođenje. Na povećanu tačnost bi moglo uticati i to što se koriste samo rezultati merenja električnih veličina, kao i to što se sprovodi pri većim vrednostima napona, a time i pri većim gustinama fluksa. Ali kako su i ove gustine fluksa niže od onih u normalnom radu motora, ovaj autor smatra da bi i ovde trebalo

- razmotriti uvođenje korekcije koja je u [13] predložena za test inverznog sinhronog obrtanja ili, još bolje,
- razmotriti mogućnost da se test sprovodi pri naponima čije se vrednosti praktično ne razlikuju od nominalnih.

Naravno, da je jedno i drugo vezano za ozbiljna istraživanja. Mišljenje je ovog autora da bi se pomoću Ex-zvezda testa, koji bi bio sproveden za različite vrednosti napona, mogle proveriti pretpostavke koje su uvedene u [13], odnosno vrednosti date u tabeli 3 ili, eventualno, utvrditi drugačije zavisnosti $P_d(U)$.

5.3. Metoda pretpostavljene vrednosti dodatnih gubitaka opterećenja

Ukoliko se dodatni gubici opterećenja (P_d) ne mogu odrediti ni postupkom indirektnih merenja (3.4.2) niti navedenim postupcima direktnih merenja, onda se uzimaju pretpostavljene vrednosti koje zavise od snage motora, ali se te vrednosti dodatno razlikuju i u pojedinim standardima

Tako pretpostavljene vrednosti za dodatne gubitke opterećenja, u nominalnom režimu, se daju u procentima nominalne utrošene ($\% P_{1n}$) ili korisne ($\% P_n$) snage motora. Jedino je taj procenat fiksiran ($P_d=0,5 \% P_{1n}$) u standardu IEC 34-2 $P_d=0,5 \% P_{1n}$, za motore svih snaga, dok je u drugim standardima taj procenat veći što su motori manjih snaga, i ide od

0.5-3 %. Pretpostavljene vrednosti za dodatne gubitke opterećenja u pojedinim standardima, date su sledećim redom:

$$\text{– IEC 34-2: } P_d=0,5 \% P_{1n}, \text{ za motore svih snaga,} \quad (31)$$

$$\text{– IEC 61972: } P_d=3-1,5 \% P_{1n}, \text{ za motore od 1-200 kW} \quad (32)$$

– IEEE 112B:

$$P_d=1,8 \% P_{2n}, \text{ za motore od 1-90 kW}$$

$$P_d=1,2 \% P_{2n}, \text{ za motore 376-1 850 kW}$$

$$P_d=0,9 \% P_{2n}, \text{ za motore } \geq 1 \text{ 851 kW} \quad (33)$$

– Standard IEC 60034-2-1, 2008,

$$P_d=2,5 \% P_{1n}, \text{ za motore nominalne snage } \leq 1 \text{ kW,}$$

$$P_d=2,5-0,5 \cdot \log P_n \text{ (kW) } (\% P_{1n}), \text{ za motore nominalne snage } 1 < P_n \text{ (kW)} \leq 10 \text{ 000 kW,}$$

$$P_d=0,5 \% P_{1n}, \text{ za motore nominalne snage } \geq 10 \text{ 000 kW} \quad (34)$$

5.4. Uticaj vrednosti dodatnih gubitaka opterećenja na vrednost stepena iskorišćenja

S obzirom da se motori iste snage najviše razlikuju u vrednostima dodatnih gubitaka opterećenja, kao i da se ovi gubici određuju sa najmanje pouzdanosti, čak i kada se određuju direktnim merenjem, to je interesantno utvrditi uticaj istih na vrednost stepena iskorišćenja motora.

Tako je za razmatrani motor snage 7,5 kW, indirektnim merenjem, utvrđena vrednost dodatnih gubitaka opterećenja u nominalnom režimu $P_{dn}=193 \text{ W}$ (vrsta 19, tabela 2), ili u iznosu od 2,17 $\% P_{1n}$. Direktna merenja dodatnih gubitaka opterećenja nisu vršena, ali će biti pretpostavljena očekivana (po iz-

Tabela 4.

METODA	$\% P_{1n}$	$\eta \%$	Primedba
1. Standard IEC 60034-2,	0,5 $\% P_{1n}$	85,84 $\%$	Precenjena vrednost za $\eta \%$
2. Standard IEC 61972, 1998	2,17 $\% P_{1n}$	84,22 $\%$	
3. Standard IEC 60034-2-1, 2008	2,06 $\% P_{1n}$	84,53 $\%$	
4. IEEE St. 112-1996, Metod B	2,17 $\% P_{1n}$	84,44 $\%$	Smatra se tačnom vrednošću za $\eta \%$
5. IEEE St. 112-1996, Metod E1	2,80 $\% P_{1n}$	83,91 $\%$	Potcenjena vrednost za $\eta \%$
1- Pretpostavljena uvećana vrednost (po izrazu 26), u odnosu na datu vrednost od 193 W, koja bi se dobila po metodi inverznog sinhronog obrtanja.			

razu 26) uvećana vrednost, u odnosu na datu vrednost od 193 W, koja bi se dobila po metodi inverznog sinhronog obrtanja, tj. vrednost:

$$P_{dr} = P_{dr,t} \cdot (1/K_{hS,n})^2 = 193 \cdot 1,136^2 = 249 \text{ W} \approx P_{dn},$$

$$\text{ili } P_{dn} = 2,80 \% P_{1n}.$$

Tako dobijene vrednosti dodatnih gubitaka opterećenja, u nominalnom režimu, $P_{dn} = 2,17 \% P_{1n}$ i $P_{dn} = 2,80 \% P_{1n}$, su upoređene sa pretpostavljenim (različitim) vrednostima za dodatne gubitke opterećenja koje su utvrđene po pojedinim standardima, i date u tabeli 4. Takođe su dati i podaci o odgovarajućim vrednostima stepena iskorišćenja, za navedene iznose dodatnih gubitaka opterećenja.

Na osnovu podataka u tabeli 4, zaključuje se da razlike u vrednostima stepena iskorišćenja, samo zbog razlika u iznosima dodatnih gubitaka koji su određeni po raznim standardima, iznose od 0,20-1,93 %. U literaturi [14] postoje podaci i o većim razlikama vrednosti stepena iskorišćenja, koje idu od 2-3 %, iz navedenih razloga.

6. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled i prikaz standarda i metoda za određivanje gubitaka snage i stepena iskorišćenja asinhronih motora. Postupci su sistematizovani tako da su obuhvaćene sve metode koje se navode u savremenim standardima. Detaljnije su prikazane metode za direktno merenje dodatnih gubitaka opterećenja, Metoda inverznog obrtanja (iz IEE 112-1996), i novi Ex-zvezda test, koji je uvršten u najnoviji standard IEC 60034-2-1, 2008. godine.

Prezentiran je kompletan primer određivanja gubitaka snage i stepena iskorišćenja motora po Metodi sa merenjem utrošene (P_1) i korisne (P_2) snage i izdvajanjem konvencionalnih gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}), i indirektnim merenjem dodatnih gubitaka (P_d). Izložena je i Metoda sa merenjem utrošene snage (P_1) i izdvajanjem gubitaka (P_{Fe} , P_{fw} , P_{Cu1} i P_{Cu2}), i direktnim merenjem dodatnih gubitaka opterećenja.

Ukazano je na značaj sprovođenja temperaturne korekcije gubitaka u namotajima statora ($\Delta P_{Cu1\theta}$) i rotora ($\Delta P_{Cu1\theta}$) motora. Gubici u gvožđu za dato opterećenje se određuju pomoću krive praznog hoda $P_{fe}(U_0)$ za vrednost napona U_r koja uračunava pad napona na omskom otporu namotaja statora, ali je otklonjena i greška u IEC 60034-2-1, u vezi određivanja vrednosti U_r . Posebno je ukazano na potrebu korekcije izmerenih vrednosti utrošene snage (P_1) iz oglada opterećenja, za iznos temperaturne korekcije gubitaka u namotaju statora

($\Delta P_{Cu1\theta}$), iako to ne propisuje ni jedan navedeni standard.

7. LITERATURA

- [1] NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION, MOTORS AND GENERATORS, MG1-1993, MG3-1974.
- [2] European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP), European Commission (EC), ELECTRIC MOTOR EFFICIENCY, 1999.
- [3] Standard IEC 60034-30: EFFICIENCY CLASSES OF SINGLE-SPEED THREE-PHASE CAGE INDUCTION MOTORS (IE CODE)E
- [4] Standard IEC 60034-2, 1972, Part 2: METHODS FOR DETERMINING LOSSES AND EFFICIENCY OF ROTATING ELECTRICAL MACHINES.
- [5] IEEE St. 112-1996: IEEE STANDARD TEST PROCEDURE FOR INDUCTION MACHINES.
- [6] Standard IEC 61972, 1998: METHODS FOR DETERMINING LOSSES AND EFFICIENCY OF THREE-PHASE, CAGE INDUCTION MOTORS.
- [7] Standard IEC 60034-2-1, 2008, STANDARD METHODS FOR DETERMINING LOSSES AND EFFICIENCY FROM TEST. ELECTRICAL MACHINES.
- [8] CSA Standard C390-93, 1993, ENERGY EFFICIENCY TEST METHODS FOR THREE-PHASE INDUCTION MOTORS.
- [9] B. J. Chalmers, A. C. Williamson, STRAY LOSSES IN SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTORS, Proc.IEE, 1963, 110 (10), pp. 1973-1977.
- [10] K. K. Schwarz, SURVEY OF BASIC STRAY LOSSES IN SQUIRREL-CAGE INDUCTION MOTORS, Proc.IEE, 1964. 111, pp. 1565-1574.
- [11] F. Taegen, R. Walezak, EXPERIMENTAL VERIFICATION OF STRAY LOSSES IN CAGE INDUCTION MOTORS UNDER NO-LOAD, FULL-LOAD AND REVERSE ROTATION TEST, Archiv für Electrotechnik 70 (1987),pp. 255-263.
- [12] А. М. Шарипов, ТОЧНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОЧНЫХ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ В АСИНХРОННЫХ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ДВИГАТЕЛЯХ, Электротехника 1969, Но.9, стр.14-19.
- [13] Miloje Kostić, POBOLJŠANI POSTUPAK INVERZNOG OBRTANJA ZA DIREKTNO MEREÑJE VISOKOFREKVENTNIH GUBITAKA OPTEREĆENJA U ASINHRONIM MOTORIMA, „Elektroprivreda”, No 3, 2007, str. 55-64.

[14] Aoulkadi M.; Binder, A.: EVALUATION OF DIFFERENT MEASUREMENT METHOD TO DETERMINE STRAY LOAD LOSSES IN INDUCTION MACHINES, Proc. of the International

Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM, 23-26 May 2006, Taormina, Italy, 2006, p. S1-13-S1-18.

Rad je primljen u uredništvo 07. 07. 2008. godine



Miloje M. Kostić je rođen 1950. godine u Bioski gde je završio i osnovnu školu. Srednju elektrotehničku školu je završio 1969. godine u Užicu. U Beogradu je na Elektrotehničkom fakultetu diplomirao 1974. godine, a magistrirao 1983. godine. Doktorirao je 1990. godine na Tehničkom fakultetu u Čačku.

U preduzeću „Prvi partizan”, u Užicu, je radio od 1974-1991. godine, kada prelazi u Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i sada radi u zvanju višeg naučnog saradnika.

Ostvario je značajne rezultate u oblastima (1) Racionalnog korišćenja električne energije u industriji, (2) Elektroenergetike, (3) Energetike motornog pogona i (4) Električnih mašina. Izabran je 2006. godine za člana Radne grupe Internacionalnog elektrotehničkog komiteta (IEC WG 31) koja je 2008. izradila Standard IEC 60034-30: Energetske klase trofaznih asinhronih motora, a sada radi na izradi standarda-Uputstva za izbor i primenu motora.

Do sada je objavio 3 knjige, od kojih 2 monografije autora, i 104 rada-46 u nacionalnim i međunarodnim časopisima i 58 radova u zbornicima domaćih i internacionalnih konferencija. Autor je više primenjenih originalnih tehničkih rešenja i patenata.

Procena gubitaka snage i energije na tipičnom nadzemnom izvodu niskog napona seoskog područja

Originalan naučni rad
UDK: 621.3.026; 621.311; 621.3.017.2

Rezime:

U ovom radu se analizira koeficijent raspodele opterećenja duž glavnih vodova niskog napona jugoistočnog seoskog područja Srbije. Formira se ekvivalentni vod sa ravnomerno raspodeljenim opterećenjem i pored gubici snage na njemu sa egzaktno određenim gubicima snage na svakom izvodu niskog napona. Za računanje gubitaka energije koristi se ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka τ .

U radu se istražuje i odnos gubitaka snage na osnovnoj liniji prema ukupnim gubicima linije.

Konačno, rezultat je novi metod procene gubitaka na vodovima ruralnih mreža niskog napona koji je proizišao kao rezultat posmatranja više od 300 izvoda i na bazi čega je formiran tipičan izvod koji je sa svojim gubicima predstavnik razmatranog područja.

Ključne reči: *gubici snage, izvod niskog napona, koeficijent raspodele opterećenja duž voda, mreže niskog napona ruralnih područja, reprezentativni uzorak*

Abstract:

POWER LOSS EVALUATION IN TYPICAL OVERHEAD LOW VOLTAGE FEEDER OF RURAL AREAS

The coefficient of load sharing along low voltage main leads of Serbian south-east rural areas is analyzed in this paper. An equivalent lead with evenly distributed load is formed and the loss on it is compared with exactly determined power loss on each low voltage tap. For calculation of energy loss, the equivalent duration time of peak loss τ is used.

The relation between power loss on the main line and the total loss in the same line is also researched.

Finally, the result is presented as a new method of power loss evaluation in low voltage distribution network of rural areas, issued from observation of more than 300 taps. On that base, a typical tap with own losses, which represents the considered area, is formed.

Key words: *power losses, low voltage tap, coefficient of load sharing along lead, low voltage distribution network of rural areas, representative sample*

1. UVOD

Rad na osnovu reprezentativnog uzorka analizira gubitke snage na nadzemnim izvodima niskog napona u pretežno ravničarskim seoskim područjima u široj okolini Leskovca.

Tretiraju se potrošači seoskih područja iz tarifne kategorije „domaćinstva”.

Uvodi se pretpostavka da je prosečan faktor snage na izvodu $\cos\phi$ jednak jedinici.

Za svaki izvod iz reprezentativnog uzorka nalaze se najpre pravi („etalonski”) gubici snage, a zatim gubici na delu koji predstavlja težišni deo izvoda. Kod trećeg računanja izvod se posmatra kao vod sa ravnomerno raspodeljenim opterećenjem i nalaze se njegovi gubici snage.

Na osnovu ovako nađenih gubitaka i „etalonskih”, mogu se naći godišnji gubici energije koristeći vreme trajanja maksimalnih gubitaka τ .

Posmatraju se izvodi rađeni golim provodnikom AlČe, najvećeg preseka 50 mm^2 . U razmatranje je uključen i presek od 70 mm^2 koji se izuzetno koristi.

2. JEDAN OD OBLIKA TIPIČNOG NADZEMNOG VODA NISKO NAPONA I ODREĐIVANJE PADA NAPONA

Uočimo raspon ili granu koja povezuje dva stuba $k-1$ i k i označimo dužinu raspona sa l_k , a presek sa s_k , kao što je prikazano na slici 1.

Na stub $k-1$ priključeno je m_{k-1} potrošača, a na stub k m_k potrošača.

Za svaki izvod sa n potrošača vršna snaga izvoda je $P_n = P(n)$, a učešće svakog potrošača u ukupnom opterećenju $P(n)$ je:

$$P_1 = \frac{P(n)}{n} \quad (1)$$

Vrednost P_1 je različita za svaki izvod (za različite vrednosti n izvoda).

Važi i relacija:

$$n = \sum_{i=1}^f m_i \quad (1a)$$

gde je:

n – broj potrošača na posmatranom izvodu

m_i – broj potrošača priključenih na i stub

f – ukupan broj stubova na izvodu.

Stub sa slike od $k-1$ do $k+1$ može da bude i stub sa koga se vrši grananje i koji sadrži određen broj priključaka, na primer, stub k sadrži m_k priključaka.

Na slici 2 je data uopštena šema jednog izvoda niskog napona (NN). Na istoj slici se razlikuje početak voda s i krajevi k, r i f .

Osovina izvoda se određuje računanjem pada napona od tačke napajanja do krajnjih tačaka na izvodu.

Na svakom elementu l_i između dva stuba ima se procentualni pad napona:

$$\Delta u_i (\%) = \frac{n_i \cdot P_1 \cdot R_i}{U^2} \cdot 100 \quad (2)$$

gde je n_i broj potrošača čije opterećenje prolazi kroz deonicu i . Otporu R_i deonice i odgovara $\rho (\Omega \text{mm}^2/\text{m})$, presek s_i i dužina l_i .

Postavimo relaciju:

$$l_i (\text{m}) = x_i \cdot 40 (\text{m}) \quad (3)$$

gde je najčešće $x_i \leq 1$ (mada može biti i veće od 1) i relaciju:

$$s_i (\text{mm}^2) = y_i \cdot 50 (\text{mm}^2) \quad (4)$$

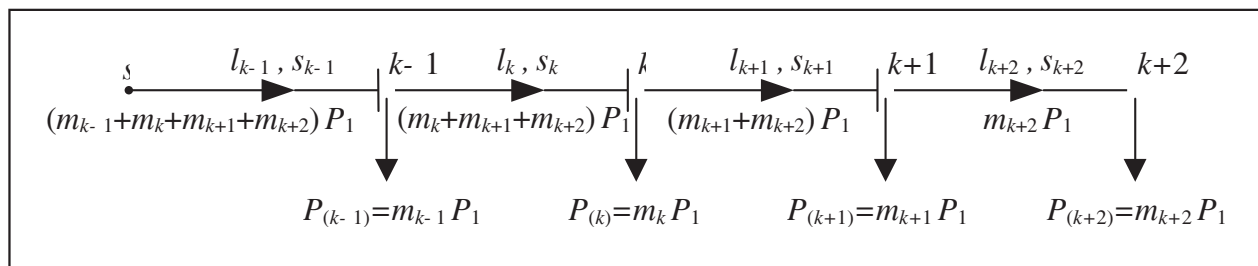
Po relaciji (4), preseku 50 mm^2 odgovara $y_{i50} = 1$, preseku 35 mm^2 $y_{i35} = 0,7$, preseku 25 mm^2 $y_{i25} = 0,5$ i za presek 70 mm^2 imaće se $y_{i70} = 1,4$.

Na ovaj način, otpor elementa l_i može se predstaviti izrazom:

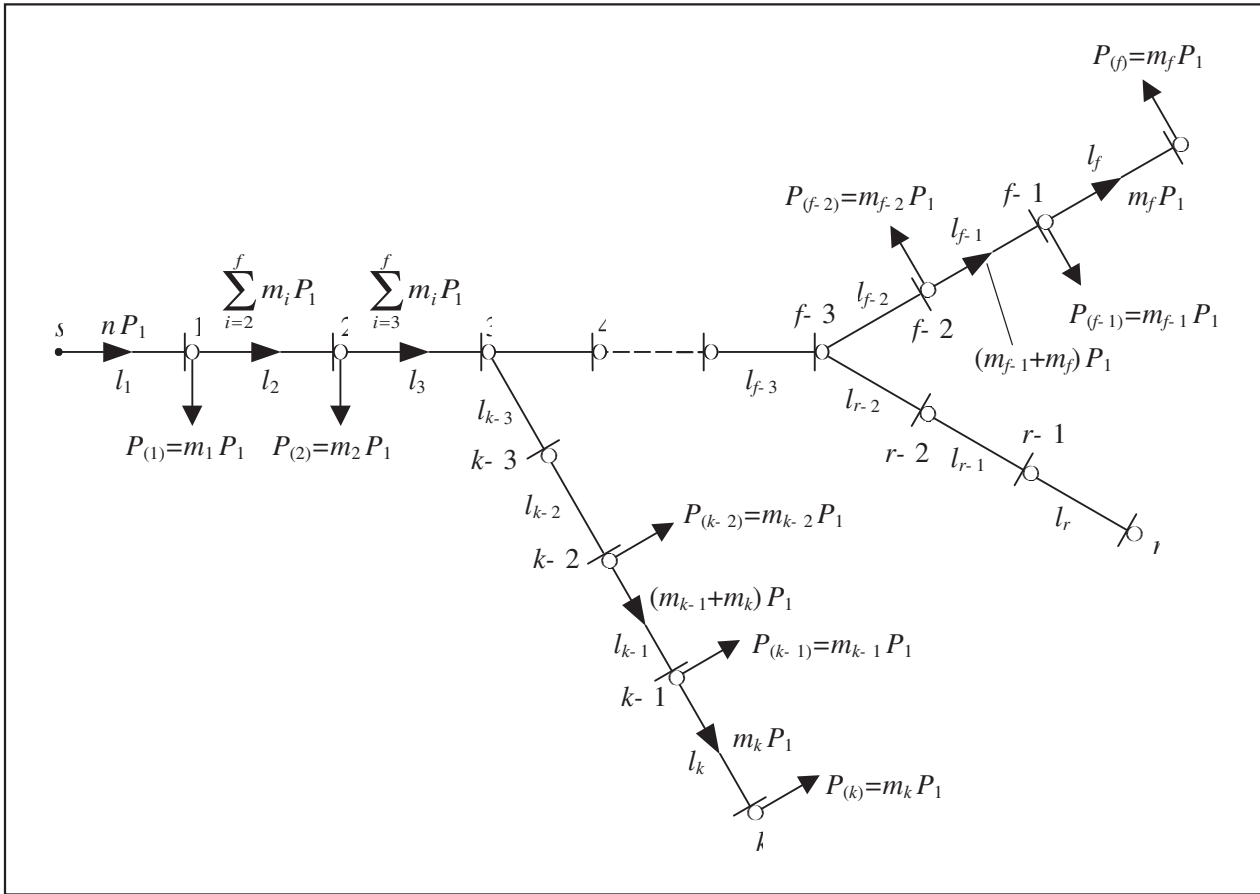
$$R_i (\Omega) = 23,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{x_i}{y_i} \quad (5)$$

Pad napona na elementu l_i je:

$$\Delta u_i (\%) = \frac{1,45}{100} \cdot \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i \cdot P_1 \quad (6)$$



Slika 1. Uopštavanje izvoda niskog napona



Slika 2. Uopštena šema jednog izvoda niskog napona

gde je n_i broj potrošača čija snaga prolazi kroz element l_i i, na primer, za element l_i , gde je $i=k$, iznosi $(m_k + m_{k+1} + m_{k+2}) \cdot P_1$.

Ukupan pad napona od početka do nekog od krajeva, na primer do k i f iznosi:

$$\Delta u_{s-k} (\%) = \frac{1,45}{100} \cdot P_1 \cdot \sum_{i=1}^k n_i \cdot \frac{x_i}{y_i} \quad (7)$$

$$\Delta u_{s-f} (\%) = \frac{1,45}{100} \cdot P_1 \cdot \sum_{i=1}^f n_i \cdot \frac{x_i}{y_i} \quad (8)$$

Liniju od početka do nekog kraja voda sa $\Delta u(\%) = \max$ proglašavamo osovinom izvoda ili fiderom.

3. SNAGA SA KOJOM TREBA RAČUNATI PAD NAPONA I GUBITAK SNAGE

U relaciji (1) vršna snaga izvoda za n potrošača označena je sa $P_n = P(n)$. Jedan od problema koji se pojavljuje kod procene gubitaka snage je i oblik formule za $P_n = P(n)$.

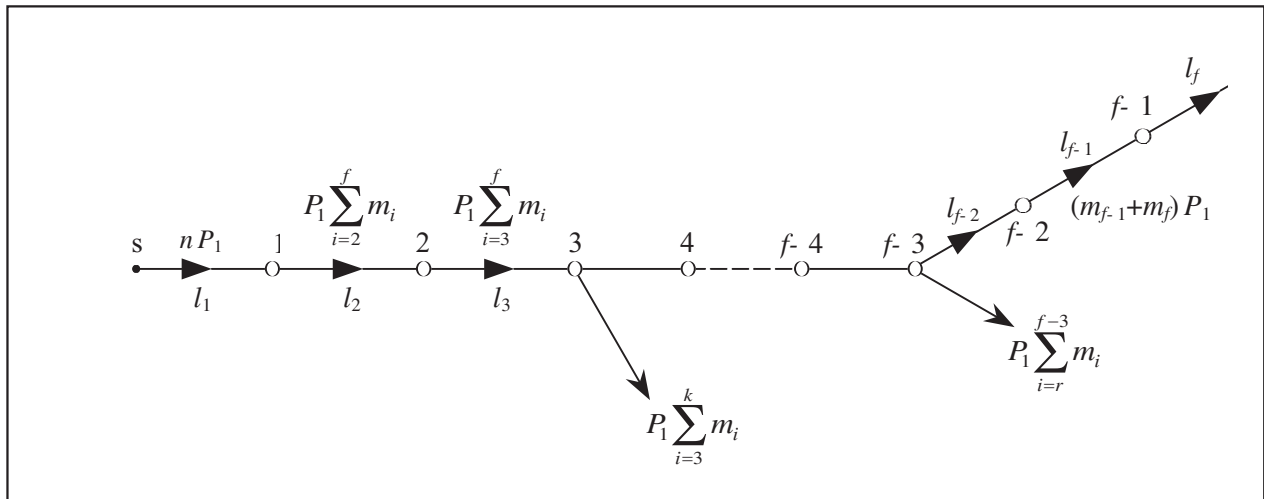
Ova formula treba da bude u što većoj meri reprezentivna realnih prilika u postojećoj mreži. Ona treba

da odlikava energetske prilike kao što su prosečna godišnja potrošnja potrošača i godišnje iskorišćenje vršne snage na nivou izvoda niskog napona. Potrebno je i da u što većoj meri zadovolji ograničenja kao što su dozvoljeno opterećenje transformatora 10/0,4 kV/kV, dozvoljeno opterećenje provodnika duž izvoda i, konačno, naznačenu struju osigurača kojima se izvod štiti.

Autori smatraju da $P_n = P(n)$ treba da se zasniva na obliku formule koja se preporučuje u Tehničkim preporukama ED Srbije broj 14b [1], a čija namena je za planiranje i izgradnju mreža niskog napona.

$$P_n = n \cdot 0,75 \cdot \left(0,55 + \frac{0,45}{\sqrt{n}} \right) + 2,86 \cdot n^{0,88} \quad (9)$$

U formuli (9), uslove eksploatacije je najlakše „pogoditi” izborom eksponenta n u drugom sabirku. Obzirom da se ova formula preporučuje za planiranje i izgradnju, logično je da u postojećoj mreži ona može da se koristi sa manjom vrednošću eksponenta 0,88. Autori smatraju da tu vrednost treba prilagoditi elektroenergetskim karakteristikama distributivnih područja Srbije.



Slika 3. Formiranje fidera za $\Delta u_{s-f}(\%) = \max$

Takođe, autori smatraju da se ova vrednost za jugoistočno područje Srbije kreće između 0,80 i 0,82. Ako eksponent iz formule (9) označimo sa a , vrednost P_1 za svakog potrošača onda iznosi:

$$P_1 = \frac{P_n}{n} = 0,75 \cdot \left(0,55 + \frac{0,45}{\sqrt{n}} \right) + 2,86 \cdot n^{a-1} \quad (10)$$

4. FAKTOR RASPODELE OPTEREĆENJA DUŽ VODA

Neka je za primer na slici 2 najveći pad napona od izvora do tačke f . Prikažimo to na slici 3.

Definišimo koeficijent K_r koji je mera ravnomernosti raspodele opterećenja duž voda na način [12]:

$$K_r = \frac{P_{\max}}{P_{sr,kv}} \quad (11)$$

gde je:

$$P_{sr,kv} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^3 l_i \cdot P_{l_i}^2 + \sum_{i=3}^{f-3} l_i \cdot P_{l_i}^2 + \sum_{i=f-3}^f l_i \cdot P_{l_i}^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 l_i + \sum_{i=3}^{f-3} l_i + \sum_{i=f-3}^f l_i}} \quad (12)$$

Za idealno ravnomerno raspodeljeno opterećenje duž voda $K_r = \sqrt{3}$, a za vod opterećen samo na kraju je $K_r = 1$.

Na osnovu istraživanja nekoliko stotina tipičnih izvoda pretežno ravničarskih sela istraživana je raspodela vrednosti $K_{r,j}$ za različite izvode j . Dokazuje se da se ova statistička raspodela može predstaviti normalnom raspodelom.

5. GUBITAK SNAGE

Gubici snage na elementu i računaju se po relaciji:

$$\Delta P_i = \frac{1}{U^2} R_i \cdot n_i^2 \cdot P_1^2 \quad (13)$$

Ako se ima u vidu R_i po relaciji (5), ukupni procentualni gubitak snage na celom izvodu j po slici 2 može se računati prema:

$$\Delta p_{u,N_j}(\%) = \frac{1,45}{100} \cdot \frac{P_{1,j}}{n_j} \cdot \left[\sum_{i=1}^3 \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i^2 + \sum_{i=k-3}^k \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i^2 + \sum_{i=4}^{f-3} \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i^2 + \sum_{i=f-2}^f \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i^2 + \sum_{i=r-2}^r \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i^2 \right], \quad (14a)$$

gde je n_j broj domaćinstava na izvodu j .

Ovo je formula koja izračunava ukupne gubitke na celom izvodu kada se opterećenje svakog potrošača nalazi po formuli (1).

Jedna od ideja rada je da se proveri, odnosno kvantifikuje gubitak snage na osovini izvoda ili fideru, kako je prikazan na slici 3. Ta vrednost se dobija koristeći sliku 3 i relaciju (14b).

$$\Delta p_{os,N_j}(\%) = \frac{1,45}{100} \cdot \frac{P_{1,j}}{n_j} \cdot \left[\sum_{i=1}^3 \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i^2 + \sum_{i=4}^f \frac{x_i}{y_i} \cdot n_i^2 \right] \quad (14b)$$

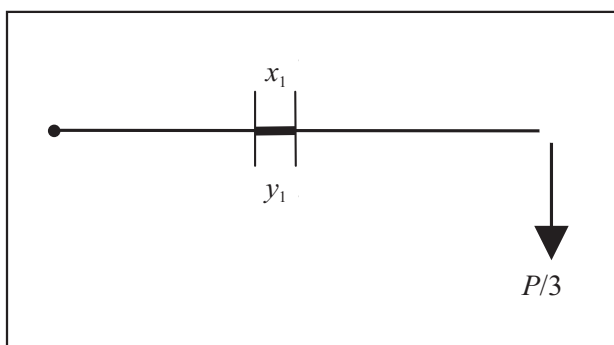
Rezultati koji se tako dobijaju navode na korisnost traženja gubitaka snage na „glavnom” delu izvoda.

Pokazuje se da je malo odstupanje u gubicima nađenim po šemi na slici 2 i slici 3. Može se naći gu-

bitak snage na, recimo, 20, 40, 60 i 80 % izvoda. Autori smatraju da, u svakom slučaju, treba registrovati gubitak snage od početka izvoda do prvog većeg račvanja koje se realizuje na nekom od stubova duž osovine izvoda.

Izvod koji je sveden na vod koji imitira vod sa ravnomerno raspodeljenim opterećenjem sa vrednošću K_{r,N_j} , sa već ugrađenom spoznajom da K_r može da odstupa od idealne vrednosti jednake 1,73, može se predstaviti na pojednostavljen način.

On može da imitira vod sa ravnomerno raspodeljenim opterećenjem što znači da će se na njegov kraj staviti 1/3 od ukupnog opterećenja voda koje će prolaziti kroz svaki element l_i , kao na slici 4.



Slika 4. Pojednostavljena šema izvoda

Tada se dobije formula za procentualni gubitak snage po relaciji:

$$\Delta p_{os,j}(\%) = \frac{0,48}{100} \cdot P_{1,j} \cdot n_j \cdot \sum_{i=1}^r \frac{x_i}{y_i} \quad (14c)$$

gde je r broj deonica na osovini izvoda N_j .

Jedna od ideja ovog rada je da se rezultati po relacijama (14a) i (14c) uporede pojedinačno za svaki izvod ponaosob i zbirno za sve izvode. Vrlo je indikativan odnos:

$$\alpha_j = \frac{\Delta p_{os,j}(\%)}{\Delta p_{u,j}(\%)} \quad (16)$$

gde je:

$\Delta p_{os,j}(\%)$ - gubitak snage na osovini izvoda j
 $\Delta p_{u,j}(\%)$ - ukupan gubitak snage na izvodu j .

Prosečna vrednost ovog odnosa:

$$\alpha_{pr} = \frac{1}{N_{izv}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{izv}} \alpha_j \quad (16a)$$

sigurno je veća od 0,9 i najčešće se kreće između 0,92 i 0,96.

Pokazuje se da se težišni deo gubitaka javlja na osovini što nju još jednom potvrđuje kao adekvat-

nog predstavnika izvoda. Istovremeno, može se tražiti pojedinačna i zbirna greška.

Zavisno od usvojene greške koja se čini na dovoljno reprezentativnom uzorku, može se usvojiti izloženi koncept pojednostavljenja izvoda NN, odnosno nalaženje procene gubitaka na njemu.

Za posmatrano područje, ukupan broj izvoda neka je N_{izv} , a neka je ukupna dužina vodova svih izvoda L_u . Neke je ukupan broj domaćinstava n_u . Prosečna ukupna dužina izvoda će biti:

$$L_{u,pr} = \frac{L_u}{N_{izv}} \quad (17)$$

Treba naći prosečnu dužinu osovine izvoda $L_{os,pr}$ na osnovu parametara reprezentativnog uzorka.

Za osovinu j -tog izvoda razlikujemo njegovu dužinu $L_{os,j}$ i gubitak snage $\Delta p_{os,j}(\%)$. Za j -ti izvod razlikujemo i njegovu ukupnu dužinu vodova $L_{u,j}$ kao i ukupne („tačne”) gubitke snage $\Delta p_{u,j}(\%)$.

Postavimo odnos:

$$\frac{L_{os}}{L_u} = \delta \cdot \frac{\sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_{os}(\%)}{\sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_u(\%)} \quad (18)$$

gde je δ faktor koji redukuje ukupnu dužinu izvoda u skladu sa njegovim doprinosom u stvaranju gubitaka.

Tada je:

$$\delta = \frac{L_{os}}{L_u} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_u(\%)}{\sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_{os}(\%)} \quad (19)$$

gde su:

$$\frac{1}{N_{izv}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_{os,j}(\%) = \Delta p_{os}(\%) \quad (19a)$$

i

$$\frac{1}{N_{izv}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_{u,j}(\%) = \Delta p_u(\%) \quad (19b)$$

a L_u i L_{os} ukupna dužina svih izvoda i ukupna dužina svih fidera, respektivno.

U skladu sa relacijom (18) može se postaviti odnos:

$$\frac{L_{os,pr} \cdot N_{izv}}{L_u} = \delta \cdot \frac{\Delta p_{os}(\%)}{\Delta p_u(\%)} \quad (20)$$

a onda naći i prosečna dužina jednog izvoda $L_{os,pr}$ kao:

$$L_{os,pr} = \left(\delta \cdot \frac{\Delta p_{os} (\%)}{\Delta p_u (\%)} \right) \cdot \frac{L_u}{N_{izv}}$$

uz:

$$K_L = \delta \cdot \frac{\Delta p_{os} (\%)}{\Delta p_u (\%)} \quad (20a)$$

tako da je:

$$L_{os,pr} = K_L \cdot L_{u,pr} \quad (21)$$

$L_{u,pr}$ je već definisano relacijom (17) i može se naći iz podataka L_u i N_{izv} koji su pored n_u jedini dostupni parametri uzorka. Koeficijent K_L možemo nazvati faktorom smanjenja ukupne prosečne dužine izvoda. Sada je $L_{os,pr}$ jedna od karakteristika tipičnog izvoda reprezentativnog uzorka.

Prosečan broj domaćinstava po jednom izvodu iznosiće:

$$n_{pr} = \frac{n_u}{N_{izv}} \quad (22)$$

Suma $\sum_{j=1}^r \frac{x_j}{y_j}$ može da dobije drugačiji oblik ako

se ima $x_i = \frac{l_i}{40}$ i ako je $p_{70} + p_{50} + p_{35} + p_{25} = 1$,

pri čemu je:

$$p_{s_i} = \frac{1}{N_{izv}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{izv}} (p_{s_i})_j \quad (23)$$

gde je $s_i \in \{70, 50, 35, 25\}$ mm², a učešće preseka s_i na j -tom izvodu.

Tada je:

$$\sum_{j=1}^r \frac{x_j}{y_j} = \frac{1}{40} \cdot L_{os,pr} \cdot \left(\frac{p_{70}}{1,4} + \frac{p_{50}}{1} + \frac{p_{35}}{0,7} + \frac{p_{25}}{0,5} \right) \quad (24)$$

Ova relacija omogućava da se uzme u obzir i eventualno nejednaki presek duž osovine voda.

Reprezent svih fidera (osovina) označen sa K_S :

$$K_S = \frac{p_{70}}{1,4} + \frac{p_{50}}{1} + \frac{p_{35}}{0,7} + \frac{p_{25}}{0,5} \quad (24a)$$

je faktor koji uzima u obzir eventualno različite preseke na osovini tipičnog izvoda.

Konačno, gubici na tipičnom izvodu reprezentativnog uzorka su:

$$\Delta p_{izv} (\%) = \frac{0,012}{100} \cdot K_L \cdot K_S \cdot P(n_{pr}) \cdot \frac{L_u}{N_{izv}} \quad (25)$$

Kod starijih mreža NN (u kojima je dominantan presek provodnika od 35 mm²) vrednosti faktora K_S kreću se u granicama od 1,34 do 1,54, dok je kod

NN mreža novijeg datuma (u kojima dominira presek provodnika od 50 mm²) njegova vrednost u opsegu $1,08 \div 1,39$.

Po relaciji (25), na osnovu podataka o dužinama vodova niskog napona, broju izvoda, funkciji $P(n)$ i koeficijentata K_L i K_S koji (respektivno) uzimaju u obzir uticaj redukovane dužine prosečnog izvoda i nejednakosti preseka na gubitke, može se jednostavno odrediti tipičan izvod sa prosečnim gubicima snage.

6. GUBITAK ENERGIJE

Definišimo procentualni gubitak energije sa:

$$\Delta w (\%) = \frac{\Delta W}{W} \cdot 100 \quad (26)$$

Imajući u vidu da je $\Delta W = \Delta P_{max} \cdot \tau$ i $W = P_{max} \cdot T_{max}$, izraz (26) može da se napiše i kao:

$$\Delta w (\%) = \frac{\Delta P_{max}}{P_{max}} \cdot \frac{\tau}{T_{max}} \cdot 100 \quad (26a)$$

i kako je $\Delta p (\%) = \frac{\Delta P_{max}}{P_{max}} \cdot 100$, konačno se dobija izraz za gubitak energije u formi:

$$\Delta w (\%) = \Delta p (\%) \cdot \frac{\tau}{T_{max}} \quad (27)$$

Autori su izabrali put za određivanje gubitaka energije koristeći najpre određivanje gubitaka snage, jer se najšesće smatra da su oni funkcija vršne godišnje snage, a ona se smatra dovoljno „čvrstim” podatkom za analizu mreža. Neizvesnija vrednost je za τ koja može da se kreće u širem opsegu.

Za ovakva područja, autori su usvojili nalaženje τ preko vrednosti T_{max} koja se može kretati između 1 750 i 2 500 h, a na osnovu [9].

Veličinu τ određujemo poznatom empirijskom formulom Kezeviča [9]:

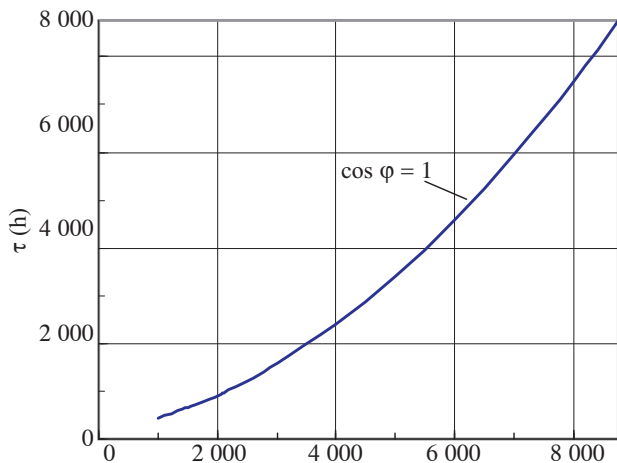
$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10\,000} \right)^2 \cdot 8\,760 \quad (28)$$

Za egzaktno nađenu vrednost $\Delta p_{max} (\%)$, vrednost $\Delta w (\%)$ zavisi od odnosa τ/T_{max} .

Na slici 5 dat je dijagram $\tau = f(T_{max})$. Primećuje se skoro linearan odnos τ i T_{max} što se i sa slike vidi za interval T_{max} od 1 750 h do 3 000 h. Za taj interval može se postaviti nova relacija na osnovu metode najmanjeg kvadratnog odstupanja:

$$\tau = 0,509 \cdot T_{max} - 64 \quad (29)$$

ili uz apstrahovanje slobodnog člana približno $\tau = 0,509 \cdot T_{max}$ što govori da su gubici energije upo-



Slika 5. Zavisnost vremena trajanja maksimalnih gubitaka u funkciji vremena trajanja maksimalnog opterećenja

la manji od maksimalnih gubitaka snage, tako da je definitivno:

$$\Delta w (\%) = 0,5 \cdot \Delta p (\%) \quad (30)$$

Mogućnost zaokruženja koeficijenta pravca prave iz relacije (29) omogućava sam metod procene.

7. ODREĐIVANJE REPREZENTATIVNOG UZORKA

Ukupan broj izvoda posmatranog područja, sa sličnim načinom korišćenja električne energije, u teoriji verovatnoće i matematičke statistike naziva se *populacija* ili *osnovni skup* i označava se sa N_u .

Od populacije izvoda NN bira se jedan deo koji se u teoriji verovatnoće naziva *uzorak* i sadrži N izvoda ili N_{izv} .

Za svaki, na poseban način, izabran član uzorka računaju se gubici električne energije, a zatim i matematičko očekivanje gubitaka za uzorak i na osnovu njega se određuju gubici električne energije populacije sa željenom tačnošću i željenom verovatnoćom.

Uzorak koji dobro reprezentuje populaciju naziva se *reprezentativni uzorak*.

Reprezentativnost uzorka obezbeđuju sledeći faktori:

- 1) izbor elementa uzorka treba da bude slučajnog karaktera i
- 2) uzorak treba da bude dovoljno brojan.

Ako je $\Delta p_{u,j} (\%)$ procentualni gubitak snage j -tog izvoda NN, srednja vrednost $\overline{\Delta p_{u,N_{izv}}} (\%)$ ili matematičko očekivanje gubitaka snage izabranog uzorka od N_{izv} izvoda određuje se prema:

$$\overline{\Delta p_{u,N_{izv}}} (\%) = \frac{1}{N_{izv}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_{u,j} (\%) \quad (31)$$

Statističko srednje kvadratno odstupanje gubitaka snage N_{izv} izvoda reprezentativnog uzorka je:

$$\sigma_{N_{izv}} = \sqrt{\frac{1}{N_{izv} - 1} \sum_{j=1}^{N_{izv}} (\Delta p_j (\%) - \overline{\Delta p_{u,N_{izv}}} (\%))^2} \quad (32)$$

Kada osnovni skup ili populacija ima N izvoda, onda je moguće napraviti $\binom{N}{n}$ kombinacija skupova sa n izvoda.

Definišimo σ_m kao standardno odstupanje raspodele sredina svih uzoraka. Moguće je formiranje uzoraka bez ponavljanja, pri čemu je N dovoljno veliko i uzoraka za slučaj odabiranja sa ponavljanjem. Posmatranjem tako napravljenih uzoraka i traženjem raspodele njihovih sredina, pokazuje se da je sredina skupa jednaka sredini osnovnog skupa.

Standardno odstupanje osnovnog skupa nalazi se iz standardnog odstupanja uzorka prema:

$$\sigma = \frac{\sigma_{N_{izv}}}{\sqrt{n}} \quad (33)$$

Ako se ima uzorak i poznaje njegova sredina, onda se može odrediti interval u kome se može nalaziti sredina osnovnog skupa jer je verovatnoća da je razlika $\Delta p_{u,i} (\%)$ uzorka i $\overline{\Delta p_u} (\%)$ osnovnog skupa od $-\frac{2\sigma_{N_{izv}}}{\sqrt{n}}$ do $+\frac{2\sigma_{N_{izv}}}{\sqrt{n}}$ jednaka 95 %.

Ova vrednost verovatnoće dobija se na osnovu pretpostavke da je raspodela sredina uzoraka jednaka normalnoj verovatnoći. Ova pretpostavka se i potvrđuje formiranjem raspodele sredina analiziranih izvoda iz uzorka.

Na ovaj način se na bazi osnovnih svojstava uzorka mogu ustanoviti sa velikom verovatnoćom osnovne karakteristike osnovnog skupa.

Postavlja se pitanje od koliko elemenata mora da se sastoji uzorak da bi bio reprezentativan, a da greška u procentima ne bude veća od, na primer, 5 % sredine osnovnog skupa i da verovatnoća za to bude 90 %.

Označimo grešku sa $0,05 \overline{\Delta p_{u,N_{izv}}} (\%)$. Imajući u vidu normalnu raspodelu i vrednost Laplasove funkcije:

$$\Phi \left(\frac{0,05 \cdot \overline{\Delta p_{u,N_{izv}}} (\%)}{\sigma_{N_{izv}}} \right) = 0,90 \quad (34)$$

nalazi se $\frac{0,05 \cdot \overline{\Delta p_{u,N_{izv}}} (\%)}{\sigma_{N_{izv}}} = 1,65$ i obzirom na rela-

ciju (33) dobija se relacija za potreban broj elemenata reprezentativnog uzorka:

$$N_{\min} = \left(\frac{1,65 \cdot \sigma_{N_{izv}}}{0,05 \cdot \Delta p_{u, N_{izv}} (\%)} \right)^2 \quad (35)$$

Ukoliko je po relaciji (35) $N_{\min} > N_{izv}$, znači da nije bilo dovoljno izvoda u uzorku od N_{izv} izvoda, pa on i nije reprezentativni uzorak i treba formirati reprezentativni uzorak od N'_{izv} elemenata, tj. povećati prethodni uzorak za još M izvoda, tako da bude $N_{izv} + M = N'_{izv}$ i to sve dok se ne zadovolje uslovi iz relacije (35).

8. PRIMER

Za sela oko Leskovca, Vlasotinca, Lebana i Surdulice, po pravilima iz poglavlja 7, odabrana su 344 izvoda koji čine reprezentativni uzorak.

Usvojena je relacija za $P(n_{pr})$ prema (9). Ukupan broj domaćinstava je 12 068. Ukupna dužina vodova niskog napona je 577,774 m, a ukupna dužina osovina izvoda iznosi 191,603 m.

Matematičko očekivanje faktora raspodele opterećenja duž voda iznosi $K_r = 1,78$, što je blisko vrednosti $K_{r_i} = 1,73$ koja odgovara idealno ravnomerno raspedeljenom opterećenju duž voda. Srednje kvadratno odstupanje je onda $\sigma K_r = 0,378$. Pokazuje se da se faktor raspodele opterećenja duž voda raspodeljuje po normalnoj raspodeli.

Bliske vrednosti K_r i K_{r_i} daju nam za pravo da tipičan vod tretiramo kao vod sa ravnomerno raspedeljenim opterećenjem i koristimo relaciju (25) za $\Delta p_{izv} (\%)$.

Prosečan broj domaćinstava po relaciji (22) iznosi:

$$n_{pr} = \frac{n_u}{N_{izv}} = \frac{12\,068}{344} = 35,0814 \approx 35$$

dok je prema relaciji (9) prosečna snaga jednog izvoda:

$$P(n_{pr}) = 35 \cdot 0,75 \cdot \left(0,55 + \frac{0,45}{\sqrt{35}} \right) + 2,86 \cdot 35^{0,8} = 65,722 \text{ kW}$$

Na osnovu izračunatih vrednosti

$$\sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_{os,j} (\%) = 1\,784,848 \text{ i } \sum_{j=1}^{N_{izv}} \Delta p_{u,j} (\%) = 1\,860,181,$$

dobija se $\sigma = 0,345\,6$, a zatim po relaciji (20a):

$$K_L = 0,345\,6 \cdot \frac{5,188\,5}{5,407\,5} = 0,331\,6$$

gde je $\Delta p_u (\%) = 5,407\,5$ i $\Delta p_{os} (\%) = 5,188\,5$.

Po relaciji (24a) izračunava se .

Konačno, gubici na tipičnom izvodu prema (35) iznose:

$$\Delta p_{izv} (\%) = 5,484\,3$$

Ako se uporedi srednja vrednost $\Delta p_u (\%)$ po relaciji (19b) sa vrednošću $\Delta p_{izv} (\%)$ koju dobijamo po prikazanoj metodologiji, greška iznosi samo $-1,421\,3\%$. Može se pokazati da raspodela vrednosti $\Delta p_u (\%)$ takođe podleže normalnoj raspodeli.

Imajući u vidu da se po relaciji (32) izračunava $\sigma_{N_{izv}} = 2,955\,2$, prema relaciji (35) nalazi se potreban broj elemenata reprezentativnog uzorka:

$$N_{\min} = \left(\frac{1,65 \cdot \sigma_{N_{izv}}}{0,05 \cdot \Delta p_{u, N_{izv}} (\%)} \right)^2 = \left(\frac{1,65 \cdot 2,955\,2}{0,05 \cdot 5,407\,5} \right)^2 = 328$$

Pošto je $N_{\min} < N_{izv}$, obezbeđena je reprezentativnost uzorka.

Gubitak energije za reprezentativni izvod je po relaciji (30):

$$\Delta w (\%) = 0,5 \cdot \Delta p (\%) = 0,5 \cdot 5,484\,3 = 2,74\%$$

Konačno, ukupnu populaciju od 1 264 izvoda predstavljaće jedan izvod sa karakteristikama K_L , K_S , $P(n_{pr})$, L_u , N_{izv} i n_u .

Nadena vrednost $\Delta w (\%)$ je i vrednost gubitaka energije u tipičnim nadzemnim vodovima niskog napona jugoistočnog seoskog područja.

9. ZAKLJUČAK

Izloženi metod, koji je, s obzirom na relaciju (19), donekle heurističan, daje rezultat za gubitke snage tipičnog reprezentativnog uzorka sa neznatnom razlikom od tačnog rezultata.

Velika prednost metoda je da zavisi samo od ukupnog broja domaćinstava, ukupne dužine vodova niskog napona, ukupnog broja izvoda i odabrane funkcije $P(n)$.

Posmatrane izvode možemo smatrati nadzemnim vodovima sa ravnomerno raspedeljenim opterećenjem duž voda sa najvećim padom napona.

Na tako formiranoj osovini izvoda stvara se preko 90 % gubitaka u odnosu na gubitke na izvodu sa svim odvojcima.

Gubici snage na izvodima posmatranog uzorka raspodeljuju se po zakonu normalne raspodele.

Procentualni gubici energije za seoska područja sa vrednošću T_{max} od 1 750 do 3 000 h mogu se računati kao polovina procentualnih gubitaka snage.

Konačno, formira se tipičan izvod koji je predstavnik svih izvoda i čiji gubici energije predstavljaju i gubitke energije ukupno preuzete energije za posmatrano seosko područje.

10. LITERATURA

- [1] ZBIRKA TEHNIČKIH PREPORUKA ED SRBIJE, EPS – Direkcija za distribuciju električne energije, Beograd, 2001.
- [2] Savić P., METODE PRORAČUNA GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U RADIJALNIM MREŽAMA, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Beograd, 2002.
- [3] Vranić V., VJEROJATNOST I STATISTIKA, Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.
- [4] Vukadinović S., Popović J., MATEMATIČKA STATISTIKA, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1996.
- [5] Ventcelý E. S., Ov~arov L. A., TEORIJE VEROVJATNOSTI I ICH IN@ENERGIJE PRILO@ENIJE, Nauka, Moskva, 1988.
- [6] Piskunov N. S., DIFFERENCIAL'NOE I INTEGRAL'NOE IS^ISLENIE, Nauka, Moskva, 1976.
- [7] Grdić G., Njegić R., Obradović S., STATISTIKA ZA EKONOMISTE, Savremena administracija i Institut za ekonomska istraživanja, Beograd, 1975.
- [8] Mihalek E., GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U RAZDIELNIM MREŽAMA, prevod sa nemačkog, Graphis, Zagreb, 2002.
- [9] Ime{eneckiy V. N., Ro`avskiy S. M., SEL'YSKIE ÇLEKTRI^ESKIE SETI, Kolos, Moskva, 1970.
- [10] @elezko Ö. S., VBBOR MEROPRIETIY PO SNI@ENIÖ POTERY ÇLEKTROÇNERGII V ÇLEKTRI^ESKIH SETÆH, Çnergoatomizdat, Moskva, 1989.
- [11] Vorotnickiy V. Ç., Kalinkina M. A., RAS^ET, NORMIROVANIE I SNI@ENIE POTERY ÇLEKTROÇNERGII V ÇLEKTRI^ESKIH SETÆH, Institut Upravleniæ v çnergetike, Institut Povÿ{eniæ Kvalifikacii Çnergetikov, Institut Povÿ{eniæ Kvalifikacii Gosudarstvennyh Slu`aaih, Moskva, 2003.
- [12] Spirić V. J., OPTIMALNO PLANIRANJE VAN-GRADSKIH DISTRIBUTIVNIH MREŽA SREDNJEJ NAPONA, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Beograd, 1996.
- [13] Magda I. I. i dr., ÇKONOMIJE ÇNERGII V ÇLEKTRI^ESKIH SETÆH, Tehnika, Kiev, 1986.

Rad je primljen u uredništvo 30. 12. 2008. godine



Josif V. Spirić je rođen 1945. godine u Leskovcu. Diplomirao je 1970. godine, magistrirao 1985. i doktorirao 1997. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 1970. do 1974. godine radio je u fabrici „Mačkatica” u Surdulici na problemima motornog pogona i elektrotermije. Od 1974. godine radi u JP „Elektrodistribucija” Leskovac kao glavni inženjer eksploatacije, šef projektnog biroa, tehnički direktor i direktor. Od 2007. godine radi kao savetnik u PD „Jugoistok” u Nišu.

Na stručnom planu bavio se problemima kompenzacije, eksploatacije, kvaliteta električne energije, gubitaka, upravljanja opterećenjem, automatizacijom srednjenaponskih mreža i planiranjem gradskih i ruralnih mreža.



Miroslav B. Dočić je rođen 1976. godine u Leskovcu, gde je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je 2001. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu na smeru za Industrijsku energetiku, a trenutno je student postdiplomskih studija na istom fakultetu. Posle diplomiranja zaposlio se u JP „Elektrodistribucija” Leskovac. Radio je na poslovima tehničkog rukovodioca Pogona Lebane, inženjera za merenja i kontrolu, a trenutno je direktor za Tehnički sistem Ogranka „Elektrodistribucija Leskovac”.

Do sada je objavio desetak radova koji su prezentovani u časopisima i na domaćim i međunarodnim konferencijama. Oblasti interesovanja su mu analiza, eksploatacija i automatizacija distributivnih mreža.



Slaviša G. Ivković je rođen 1979. godine u Leskovcu. Osnovnu i srednju školu je završio u Lebanu. Diplomirao je na Elektronskom fakultetu u Nišu, aprila 2005. godine, na smeru za telekomunikacije. Student je postdiplomskih studija, takođe na Elektronskom fakultetu u Nišu. Od februara 2006. godine radi u PD „Jugoistok” d.o.o. Niš, Ogranak „Elektrodistribucija Leskovac”.

Trofazni simulacioni model za analizu ugroženosti izolacije elemenata 110/35/10 kV/kV/kV „Kraljevo 2” usled povratnog preskoka

Stručni rad

UDK: 621.315.612; 303.725.38; 621.3.015.3

Rezime:

U radu je definisan trofazni simulacioni model za analizu ugroženosti izolacije elemenata transformatorske stanice. Model je veoma detaljan, ali rad sa njim nije previše složen jer se zadaju geometrijske karakteristike voda, dok električne softverski alat ATP-EMTP izračunava sam. Preskočni napon izolacije modelovan je tzv. modelom razvoja lidera, koji se danas smatra najboljim modelom za nestandardne naponske talase, kakav se javlja pri povratnom preskoku. Izvedeno je i poređenje trofaznih i monofaznih simulacionih modela.

Ključne reči: koordinacija izolacije, transformatorska stanica, povratni preskok, ATP-EMTP, atmosferski prenapon

Abstract:

THREE-PHASE SIMULATION MODEL FOR ANALYZING THE BACKFLASHOVER HARMFUL EFFECT ON „KRALJEVO 2” 110/35/10 kV/kV/kV SUBSTATION SWITCHGEAR INSULATION

In the paper a three-phase simulation model for the analysis of insulation stress of station elements is developed. The model is very detailed, but it is not so hard to work with it because the geometric characteristics are needed, while the electrical parameters are calculated by the ATP-EMTP software tool using embedded modules. The flashover across the line insulation process is modelled by the so called „Leader propagation model” which is nowadays the best known strength model for the non-standard voltage shapes. The three and one-phase models are compared.

Keywords: insulation coordination, switchgear, backflashover, ATP-EMTP, lightning overvoltage

1. UVOD

Radovi iz oblasti koordinacije izolacije dugi niz godina unazad bili su zasnovani na pojednostavljenim simulacionim modelima i načinima modelovanja pojedinih elemenata mreže i postrojenja. Primenjeni pristupi uticali su na tačnost izračunatih napona na izolacijama.

Pod pojednostavljenim simulacionim modelima prvenstveno se misli na izbor monofaznog simulacionog modela. U ranijim istraživanjima ceo vod predstavljan je faznim provodnikom i zaštitnim užetom, ukoliko ono postoji. Ovakvim modelom posmatra se prostiranje talasa po jednom faznom provodniku, bilo da se radi o povratnom preskoku ili o direktnom pražnjenju u provodnik, dok se na druga dva fazna provodnika pojavljuju indukovani prena-

Dr Saša Stojković, vanredni profesor – Tehnički fakultet, Svetog Save 65, 32 000 Čačak

Dragan Milojević, dipl. inž. el. – JP „EPS”, PD „Elektrosrbija Kraljevo”, 36 000 Kraljevo, Dimitrija Tucovića 5

poni. Ovakav pristup uticao je i na način modelovanja pojedinih elemenata mreže i postrojenja. Pod ovim pojmom prvenstveno se misli na način proračuna karakterističnih impedansi pojedinih raspona dalekovoda, sabirnica, pojedinačnih stubova, kao i načina modelovanja uzemljivača stubova i preskoka na izolacijama faznih provodnika. U ranijim razmatranjima pojedini rasponi dalekovoda modelovani su kao impedanse sa raspodeljenim parametrima koje se izračunavaju prema unapred datim izrazima i sa brzinom prostiranja talasa približno jednakoj brzini prostiranja svetlosti. Ovim je praktično zanemareno niz faktora, pre svega uticaj povratnog puta kroz zemlju, međusobni uticaj između faznih provodnika i faznih provodnika i zaštitnog užeta, omska otpornost provodnika, skin efekat itd.

Uzemljivači su predstavljani koncentrisanim čisto omskim otporima redno vezanim sa modelom stuba, pri čemu je zanemarivan uticaj sopstvene induktivnosti uzemljivača.

Izolacije faznih provodnika predstavljane su volt-sekundnom karakteristikom, eksperimentalno dobijenom za standardni talas napona. Ovakav model praktično potpuno ignoriše činjenicu da vrednost preskočnog napona izolacije zavisi od oblika prenaponskog talasa.

Programski alati koji se odnose na elektromagnetne prelazne procese sadrže veći broj različitih modela vodova. Ti modeli danas omogućavaju da se uzmu u obzir i pomenuti efekti. Stav o tome kakve modele treba koristiti nije jedinstven. Na primer, u [1, str. 25-26] preporučuje se što detaljnija prezentacija voda u analizama povratnog preskoka, uzimanjem u obzir faznih provodnika i zaštitnog užeta. Preporučuje se da se nekoliko raspona detaljno modeluje uzimanjem realne visine provodnika (netransponovan vod), uzemljenja stuba i preskočne karakteristike izolacije. Ipak, u nastavku se kaže da su takve analize često teške i numerički zahtevne, zbog čega se zadovoljavajući rezultati mogu dobiti i modelovanjem jednog faznog provodnika i zaštitnog užeta. Taj tehnički izveštaj odnosi se na procenu parametara vodova, a ne na analizu prenapona koji ulaze u stanicu. Slične, kontradiktorne tvrdnje o modelima vodova, date su i u [2]. U ovom radu analizirani su posebno jednofazni i trofazni modeli. Prikazani su trofazni vodovi i njihovo poređenje sa monofaznim, a rezultati primene različitih monofaznih vodova prikazani su u već objavljenom radu [3].

Osnovni cilj rada jeste upravo sagledavanje uticaja pojedinih aproksimacija koje su do sada korišćene pri modelovanju elemenata mreže i postrojenja na vrednosti izračunatih prenapona na izolacijama opreme. Takođe, analizira se i uticaj koji na te vrednosti imaju neke karakteristične veličine. Tu se

pre svega misli na uticaj otpornosti uzemljenja uzemljivača pojedinih stubova, uticaj udaljenosti odvodnika prenapona od energetskog transformatora, kao i uticaj mesta (stuba) na kome je došlo do pražnjenja. Preskok na zaštitnoj armaturi izolatorskog lanca modelovan je tzv. modelom razvoja lidera (engl. *Leader propagation model*), koji se smatra najtačnijim za nestandardne naponske talase. Kao osnov za modelovanje poslužila je TS 110/35/10 kV/kV/kV „KRALJEVO 2” i njen priključni dalekovod DV 110 kV „KRALJEVO 1” – „KRALJEVO 2”.

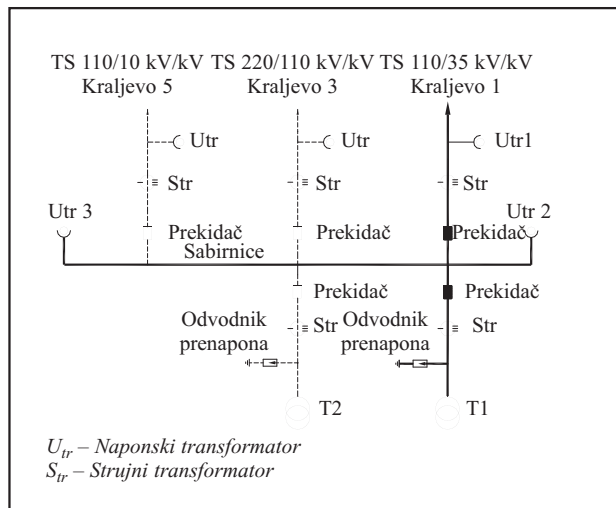
Za analizu prelaznih procesa korišćen je programski paket ATP-EMTP [2] i [4]. Autori su sebi postavili dva cilja. Prvi je da razviju trofazni simulacioni model za analizu ugroženosti izolacije elemenata transformatorske stanice usled povratnog preskoka i analiziraju pojedine karakteristične uticaje na visinu prenapona. Drugi cilj je da se uporede rezultati koji se dobijaju korišćenjem monofaznog i trofaznog voda. Autorima nije poznato da su u literaturi objavljeni uporedni rezultati korišćenja monofaznog i trofaznog voda.

2. SIMULACIONI MODEL

U ovom radu analizirana je ugroženost izolacije elemenata jedne realne transformatorske stanice u PD „Elektrosrbija Kraljevo”. Primenjen je klasičan (deterministički) postupak koordinacije izolacije. U stvarnosti, preskok je slučajna pojava, koja ima veliki uticaj na ishod procesa prilikom atmosferskog pražnjenja, zbog čega su razvijeni i stohastički modeli, ali oni nisu tema u ovom radu. Razvijeni su trofazni i monofazni model tri raspona voda i elemenata stanice, sa ciljem da se uporede rezultati koji se dobijaju primenom ta dva modela. Prenaponi mogu biti različitog porekla, a u ovom radu razmatraće se isključivo uticaj atmosferskih prenapona usled povratnog preskoka.

Analizirana je transformatorska stanica (TS) 110/35/10 kV/kV/kV „KRALJEVO 2”. Sama TS na svojim sabirnicama 110 kV ima priključena 3 pravca (dalekovoda), i to pravac TS 110/10 kV/kV „Kraljevo 5”, TS 220/110 kV/kV „Kraljevo 3” i TS 110/35 kV/kV „Kraljevo 1”. Sa aspekta atmosferskog pražnjenja na dalekovod i naprezanja izolacije energetskog transformatora zbog nailaska prenaponskog talasa u postrojenje, neophodno je pretpostaviti najkritičniji slučaj što se tiče uklopnog stanja, a to je da su prva dva pomenuta dalekovoda 110 kV isključena i rastavljena, dok je na sabirnice 110 kV priključen samo pravac TS 110/35 kV „Kraljevo 1”. Zbog toga što TS „Kraljevo 2” ima dve transformacije 110/x kV/kV kao kritičniji slučaj pretpostaviće

se da je uključen samo jedan transformator, i to T1, prenosnog odnosa 110/35 kV/kV. Na slici 1 prikazana je jednopolna šema TS „Kraljevo 2”. Punom linijom prikazani su elementi koji se modeluju za dato uklopno stanje, a isprekidanom linijom elementi koji su isključeni.



Slika 1 Jednopolna šema TS 110/35/10 kV/kV/kV „Kraljevo 2”

Radi proračuna prenapona na pojedinim izolacijama formirana je zamenska šema postrojenja i priključnog dalekovoda, i to zamenska šema tip E prema [5, str. 181-183].

2.1. Modelovanje atmosferskog pražnjenja

Klasični metod koordinacije izolacije podrazumeva proračun prenapona prema jednoj, najvećoj očekivanoj, vrednosti amplitude i strmine čela struje groma. Prema [1], [5] i [6] to su vrednosti koje po Bergeru mogu biti premašene sa verovatnoćom od svega 2 %, odnosno:

- Amplituda talasa: 121 kA,
- Strmina talasa: 43,3 kA/μs (trajanje čela 2,8 μs), i
- Trajanje začelja talasa: 50 μs.

Struja groma modelovana je strujnim talasom linearno rastućeg čela i linearno opadajućeg začelja. Usvojena je vrednost karakteristične impedanse kanala groma od 400 Ω.

2.2. Modelovanje elemenata postrojenja

U obzir je uzet uticaj naponskih transformatora, strujnih transformatora, energetskog transformatora i prekidača. Svi ovi elementi modelovani su svojim tipičnim kapacitetima, čije tipične vrednosti iznose [5, str. 163]:

C_{nt} – kapacitet naponskih transformatora: 300 pF,
 C_{st} – kapacitet strujnih transformatora: 700 pF,
 C_{et} – kapacitet energetskog transformatora: 3 nF, i
 C_{pf} – kapacitet prekidača u zatvorenom položaju: 500 pF.

2.3. Modelovanje odvodnika prenapona

Primenjeni odvodnik prenapona je metal-oksidni. Volt-amperska karakteristika za atmosferske udarne struje, preuzeta iz kataloga proizvođača, prikazana je u tabeli 1.

Tabela 1.

Karakteristika metal-oksidnog odvodnika prenapona

Naznačeni napon: 102 kV	U-I karakteristika odvodnika prenapona			
I (kA)	2×10^{-6}	10	20	
U (kV)	255	286	317	

2.4. Modelovanje preskoka na izolaciji voda

Faznu izolaciju 110 kV dalekovoda čini izolatorski lanac sa zaštitnom armaturom. Osnovna izolacija se sastoji od 6 članaka, a rastojanje između iskrišta armature iznosi oko 0,8 m. Preskočna karakteristika izolacije na armaturi izolatorskog lanca često je opisivana eksperimentalnom volt-sekundnom karakteristikom, dobijenom pomoću talasa standardnog oblika. U osnovi, ona povezuje maksimalnu trenutnu vrednost napona sa vremenom do preskoka, pri čemu te dve veličine ne moraju biti jednovremene (u slučaju preskoka na začelju talasa). U slučaju povratnog preskoka, napon na izolaciji ima oblik koji se znatno razlikuje od standardnog. Zbog toga se volt-sekundna karakteristika ne smatra adekvatnom u slučaju modelovanja povratnog preskoka [1, str. 30-33], [8, str. 629-636] i [9, str. 46-47]. Metod površine [5, str. 160-161] zasnovan je na fizičkim procesima pri pražnjenju. Manje je tačan, prema pomenutim referencama, od modela razvoja lidera, takode zasnovanog na procesima pražnjenja.

U ovom radu, primenom modula za programiranje MODELS u ATP-EMTP-u, izolacija je modelovana modelom razvoja lidera. Prema tom modelu, proces pražnjenja nastaje ukoliko je srednja jačina električnog polja između elektroda veća od $E_0=535$ kV/m. Lider se kreće brzinom u (m/s), definisanom izrazom:

$$v(t) = k \cdot u(t) \cdot [u(t) / x - E_0]$$

gde je k – konstanta, jednaka $k=7,785 \cdot 10^{-7}$, $u(t)$ – trenutna vrednost napona (u kilovoltima), i x – preostalo rastojanje (u metrima) koje luk treba da pređe. Iz-

računava se napredovanje lidera u svakom koraku. Ukoliko lider dostigne drugu elektrodu, udaljenu 0,8 m, nastaje preskok. Preskok ne zavisi od oblika talasa, već od trenutne vrednosti napona, zbog čega je najtačniji do sada poznat model preskoka za ne-standardne talase. Model preskoka primenjen je na svakom izolatorskom lancu, i to na svim stubovima. Međufazni preskoci smatraju se malo verovatnim. Kod jednofaznog modela radni napon je zadat kao maksimalna negativna vrednost faznog napona od $U=-89$ kV. U trofaznom modelu taj radni napon važi za fazu A, a zadati su i odgovarajući naponi faza B i C. Simboli modela preskoka, zbog glomaznosti, nisu prikazani na slici 2, na kojoj je prikazan simulacioni trofazni model.

2.5. Modelovanje stubova

Da bi tačnost modelovanja bila veća, dalekovodni stubovi u simulacionom modelu simuliraju se pomoću redne veze četiri kratka monofazna voda sa raspodeljenim parametrima konstantnih karakterističnih impedansi, pri čemu se na drugom kraju te redne veze nalazi otpornost uzemljenja. Svaki od ova tri voda predstavljaju po jedan deo stuba i to:

- deo između zaštitnog provodnika i najviše konzole provodnika treće faze, čije je rastojanje 3,3 m,
- deo između konzole provodnika treće i konzole provodnika druge faze, čije je rastojanje 2 m,
- deo između srednje konzole provodnika druge i najniže konzole provodnika prve faze, čije je rastojanje 2 m, i
- deo između konzole provodnika prve faze i zemlje, čije je rastojanje 13,3 m.

U simulacionom modelu treća faza (na najvišoj konzoli) označena je sa A, druga (na srednjoj konzoli) sa B, i prva (na najnižoj konzoli) sa C.

U modelu kao parametri figurišu podužna otpornost, talasna impedansa, brzina prostiranja talasa i dužina. Posmatrani dalekovod je izgrađen kao jednostruk, na čelično-rešetkastim stubovima tipa „jela”, sa zaštitnim užetom.

Talasna impedansa stuba čelične konstrukcije tipa jela računata je pomoću relacije [5, str. 144]:

$$Z_s = 30 \ln \left[2 \left(1 + \frac{h^2}{r^2} \right) \right] = 30 \ln \left[2 \left(1 + \frac{20,6^2}{1,75^2} \right) \right] = 169 \Omega$$

gde su: h – visina stuba, koja iznosi 20,6 m, i r – poluprečnik osnove, koji iznosi 1,75 m.

2.6. Modelovanje uzemljiivača dalekovodnog stuba

Pri injektiranju vrlo strmih strujnih impulsa dolazi do izražaja uticaj induktivnosti uzemljiivača, ko-

ji se ogleda u povećanju napona na uzemljiivaču za vreme trajanja čela talasa. Uzemljiivač je zbog toga modelovan modelom prikazanim paralelnom vezom R_1 i R_2L elemenata, pri čemu je:

L – ekvivalentna induktivnost uzemljiivača, čija vrednost zavisi od oblika i strukture uzemljiivača. Prema [1, str. 157, tabela 5.1], za uzemljiivač čija je stacionarna vrednost otpora jednaka $R=5,66 \Omega$, a koji je prikazan na str. 156 u istoj referenci, vrednost induktivnosti je $8,74 \mu H$,

R_2 – aktivni otpor od $6,68 \Omega$, koji u paralelnoj vezi sa R_1 daje stacionarni otpor rasprostiranja od $5,66 \Omega$, i

R_1 – aktivni otpor, koji iznosi 37Ω .

2.7. Modelovanje raspona dalekovoda – trofazni model

Pojedini rasponi dalekovoda modelovani su pomoću LINE CABLE CONSTANTS (LCC) modula. Odabran je model JMARTI. On predstavlja frekventno zavisani model. Pri modelovanju su korišćeni četvorofazni LCC moduli (tri fazna provodnika i zaštitno uže). U modelu LCC definišu se geometrija i podužna otpornost provodnika, a softverski alat ATP-EMTP automatski izračunava karakteristične impedanse i brzine prostiranja, potrebne za definisanje modela voda. Stranica voda sadrži sledeće geometrijske i podatke o materijalu provodnika nadzemnog voda:

- unutrašnji poluprečnik faznog provodnika: 0,32 cm,
- spoljašnji poluprečnik faznog provodnika: 0,85 cm,
- podužna otpornost faznih provodnika: 0,119 Ω/km ,
- spoljašnji poluprečnik zaštitnog užeta: 0,45 cm,
- podužna otpornost zaštitnog užeta: 3,64 Ω/km ,
- visina vešanja provodnika: prva faza: 13,3 m, druga: 15,3 m, treća: 17,3 m i zaštitno uže: 20,6 m,
- visina provodnika u sredini raspona računata je u odnosu na ugib za srednji raspon (200 m) i iz tabele ugiba vidi se da ugibi iznose 4,6 m za fazni provodnik i 0,2 m za zaštitno uže,
- za dužinu raspona uzeta je vrednost srednjeg raspona 200 m.

U simulacionom modelu uzeta su u obzir tri susedna stuba i tri raspona. Ostatak nadzemnog voda, odnosno fazni provodnici i zaštitno uže, modelovani su trofaznim vodom, odnosno, monofaznim vodom sa raspodeljenim parametrima, respektivno. Da bi se anuliralo dejstvo reflektovanih talasa sa kraja voda, pretpostavljeno je da je trofazni vod velike dužine u odnosu na pojedine raspona. Parametri trofaznog voda sa raspodeljenim parametrima izraču-

nati su pomoću ugrađenog EMTP modula Beržeron. Ulazni podaci vezani za geometriju provodnika isti su kao i za ostale raspone. Na osnovu tih podataka dobijene su sledeće vrednosti vezane za karakteristike prostiranja:

1. podužna otpornost pozitivnog redosleda: 12,2 Ω/km,
2. podužna otpornost nultog redosleda: 439 Ω/km,
3. karakteristična impedansa pozitivnog redosleda: 409 Ω,
4. karakteristična impedansa nultog redosleda: 780 Ω,
5. brzina prostiranja talasa pozitivnog redosleda: 297 683 km/s,
6. brzina prostiranja talasa nultog redosleda: 286 792 km/s, i
7. dužina voda: 1 km.

Karakteristična impedansa zaštitnog užeta je 547 Ω, za efektivnu visinu provodnika od 20,46 m i spoljašnji poluprečnik provodnika od 0,45 cm.

2.8. Modelovanje sabirnice – trofazni model

Sabirnice su modelovane trofaznim vodom sa raspodeljenim parametrima, pri čemu su parametri dobijeni pomoću LCC modula, model Beržeron. Za razliku od modela JMARTI, model Beržeron je model sa konstantnim parametrima, pri čemu se parametri računaju za unapred zadatu učestanost. Prema [2], tipična vrednosti dominantne učestanosti za atmosferske prenapone je 400 kHz. Takođe, pretpostavljena je i specifična otpornost tla od $\rho=100 \Omega\text{m}$. Parametri za delove sabirnice prikazanih na slici 2 prikazani su u tabeli 2.

2.9. Monofazni model

Rasponi dalekovoda i sabirnice u postrojenjima modelovani su kao monofazni vodovi sa raspodeljenim parametrima, pri čemu je karakteristična impedansa provodnika izračunata na osnovu izraza:

$$Z_f = 60 \ln \frac{2H_{ef}}{R_u}$$

gde je: H_{ef} – efektivna visina provodnika iznad zemlje, f – ugib, i R_u – poluprečnik faznog provodnika, koji u ovom slučaju iznosi 8,5 mm, dok je za zaštitno uže 4,5 mm. Kako je ovo frekventno nezavisan model, to su brzine prostiranja talasa jednake brzini svetlosti 300 000 km/s. Podužni omski otpor faznog provodnika je 0,119 Ω/km, a zaštitnog užeta 3,61 Ω/km. Ne postoje induktivna ni kapacitivna sprema između faznog provodnika i zaštitnog užeta. U sledećoj tabeli prikazane su izračunate vrednosti karakterističnih impedansi pojedinih vodova u simulacionom modelu.

Zbog ograničenog prostora, simulacioni model monofaznog voda nije prikazan jer je strukturno isti kao i model trofaznog voda. Jedina razlika je u modelovanju raspona voda. U trofaznom modelu raspon je modelovan četvorofaznim LCC modulom, dok je monofazni vod modelovan sa dva Beržeronova modela – jedan za fazni provodnik, a drugi za zaštitno uže, bez ikakve sprege između njih.

3. REZULTATI SIMULACIJA

3.1 Trofazni model – udar u prvi stub do transformatorske stanice

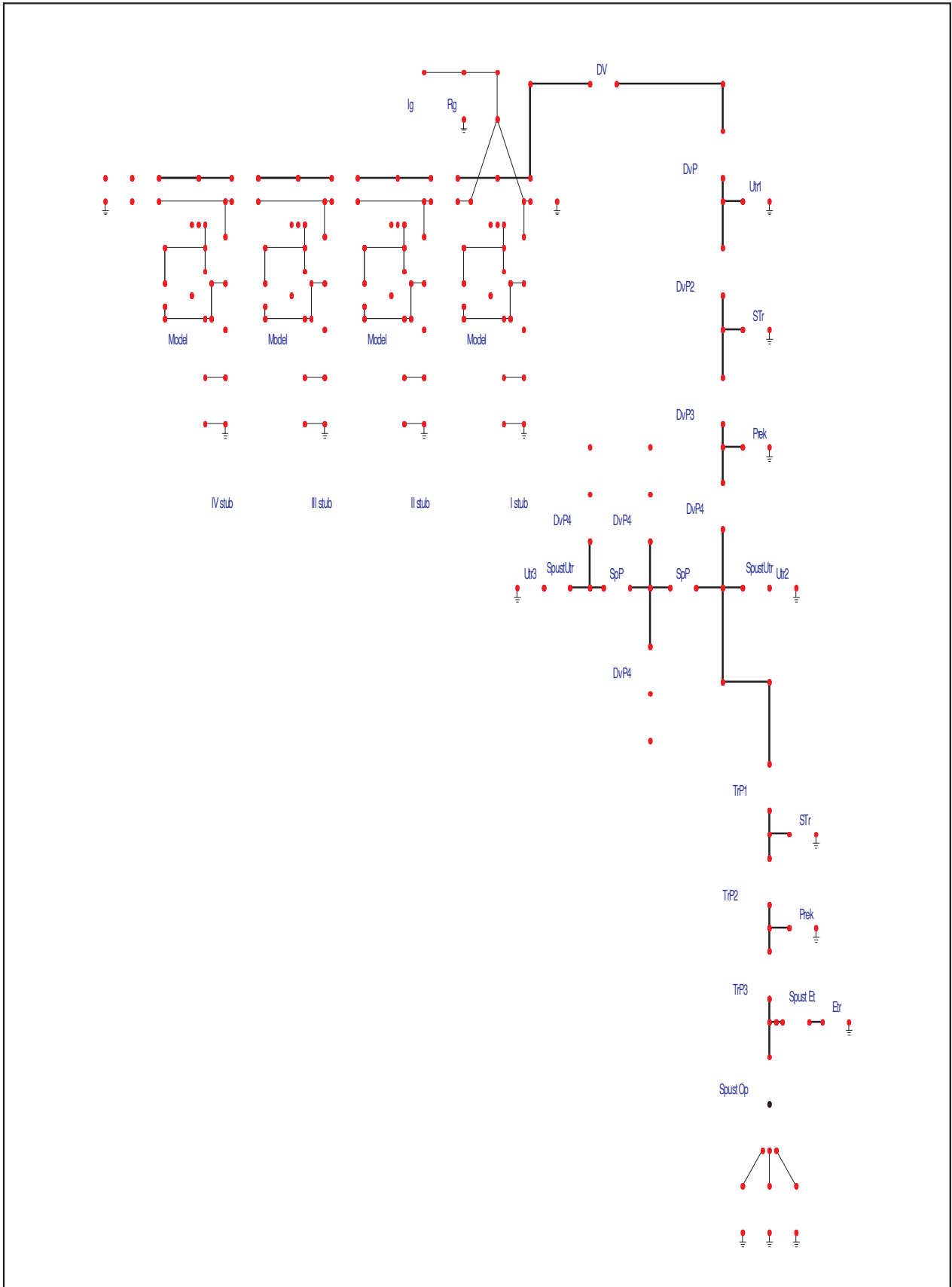
Prilikom udara u prvi stub, nastaju veoma visoki prenaponi na konzolama i vrhu stuba. Na slici 3 prikazani su naponi na sve tri konzole, a raspon je simulisan kao netransponovan.

Slika pokazuje da je napon na najvišoj konzoli najviši, a na donjoj najniži, jer konzole nisu na istoj visini. Napon na konzolama je dovoljan da izazove preskok. Preskok nastaje na gornjoj konzoli, iz dva razloga. Prvo, na toj konzoli prenapon je najviši, a radni napon je, po pretpostavci, jednak negativnoj maksimalnoj vrednosti, što je najnepovoljniji moguć

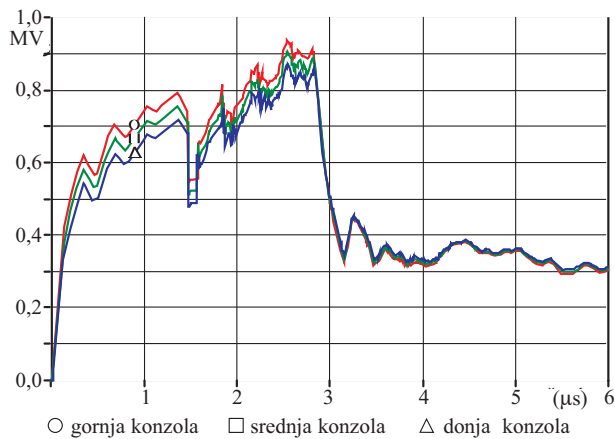
Tabela 2.

Parametri modela delova sabirnica

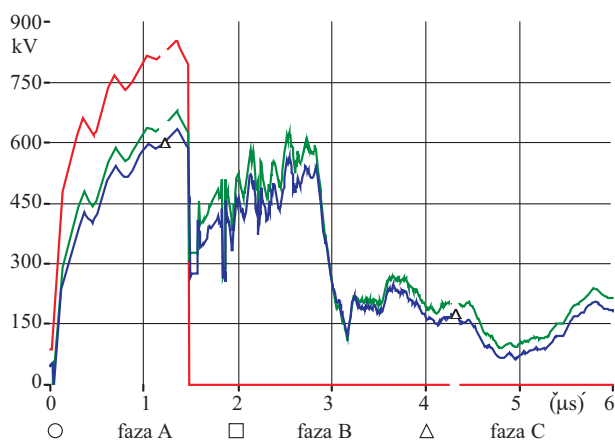
	R_d (Ω/km)	R_0 (Ω/km)	Z_d (Ω)	Z_0 (Ω)	v_d (km/s)	v_0 (km/s)	l (m)
DvP1	5,2	463	340	720	298 297	283 722	6,0
DvP2	7,18	608	339	649	297 837	273 742	2,0
DvP3	7,18	608	339	649	297 837	273 742	3,5
DvP4	6,42	548	339	678	298 086	278 268	9,0
SpP	5,53	492	340	705	298 238	281 952	9,0
SpustUtr	5,94	339	526	688	298 155	279 798	2,5
SpustEtr	5,21	463	340	720	298 297	283 722	1,7
SpustOp	6,87	598	339	658	297 925	275 198	1,5



Slika 2. Simulacioni trofazni model



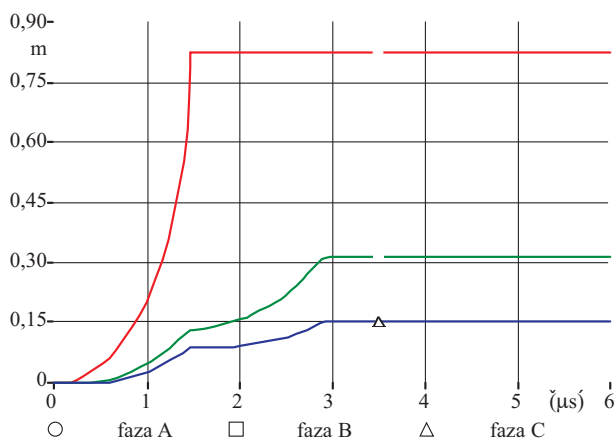
Slika 3. Prenaponi na sve tri konzole stuba



Slika 4. Apsolutne vrednosti preskočnih napona na izolatorskim lancima

slučaj. Na slici 4 prikazane su apsolutne vrednosti napona na armaturama izolatorskih lanaca u sve tri faze.

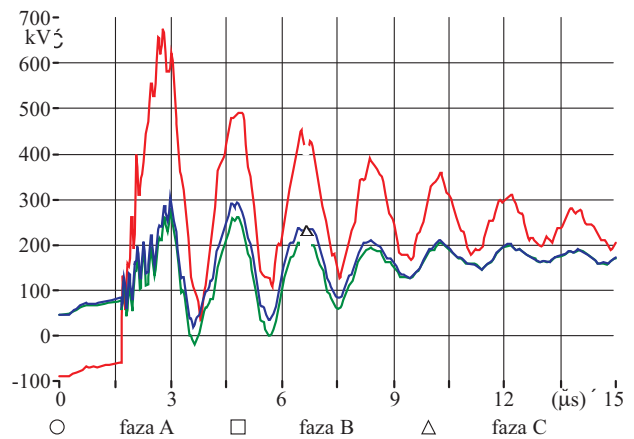
Preskok nastaje na fazi A (na najvišoj konzoli), dok ga nema na drugim dvema fazama. Razlog tome je što u trenutku preskoka ($t=1,46 \mu s$) na fazi A na-



Slika 5. Razvoj lidera

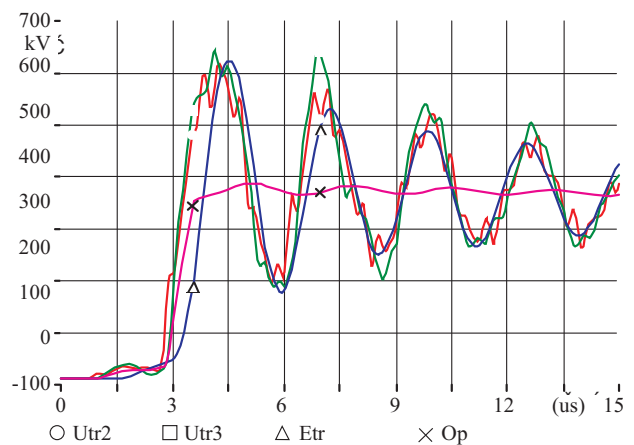
glo pada napon na drugim dvema konzolama, zbog čega lideri između elektroda armature zastaju i ne uspevaju da se razviju do druge elektrode (0,8 m). Razvoj lidera prikazan je na slici 5.

Za koordinaciju izolacije bitna je maksimalna trenutna vrednost napona na pojedinim elementima. Ukoliko je ona viša od $0,85 \times 550 = 468 \text{ kV}$, prema determinističkom postupku koordinacije izolacije element se smatra ugroženim [7]. Međutim, u prirodi, zbog stohastičke prirode atmosferskog pražnjenja i preskoka, ugroženost se javlja sa određenom verovatnoćom. Isto važi i za usvojene parametre pražnjenja. Podnosivi atmosferski udarni napon celokupne opreme smatra se jednakim 550 kV. Na slici 6 prikazani su naponi na naponskim mernim transformatorima, na slici 1 označenim sa Utr1. Oni su najugroženiji jer su najudaljeniji od odvodnika prenapona.



Slika 6. Naponi na naponskim transformatorima Utr1

Slika jasno pokazuje da je merni transformator u fazi A ugrožen od prenapona. U slučaju amplitude struje od 121 kA i strmine 43 kA/μs, napon na njemu bio bi 661 kV, dok transformatori u druge dve faze



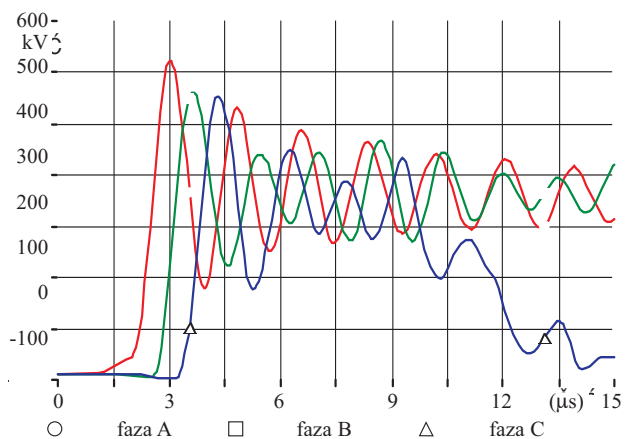
Slika 7. Naponi na mernim transformatorima Utr2 i Utr3, energetsom transformatoru Etr i odvodniku Op

nisu ugroženi. Na slici 7 prikazani su naponi na mer-nim transformatorima Utr2, Utr3, energetskom trans-formatoru Etr i na odvodniku prenapona Op, sve za fazu A, jer je samo u ovoj fazi oprema ugrožena.

Maksimalna vrednost napona na Utr2 je 516 kV, na Utr3 iznosi 543 kV, a na energetskom trans-formatoru Etr, koji je najvažniji za prenaponsku zaštitu, 522 kV. Jasno je da su te vrednosti iznad 468 kV, pa elementi nisu adekvatno zaštićeni. Rastojanje od odvodnika prenapona do energetskog trans-formatora je veće nego što treba da bude.

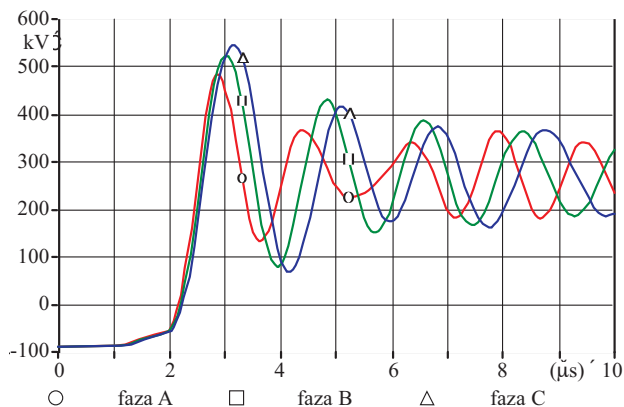
3.2 Analiza uticajnih parametara

Naponi na elementima opreme zavise od toga da li je praznjenje pogodilo prvi, drugi ili treći stub. Na slici 8 prikazani su naponi na energetskom trans-formatoru u ta tri slučaja.



Slika 8 Naponi na energetskom transformatoru, faza A, pri udaru u prvi (krug), drugi (kvadrat) i treći stub (trougao)

Pri udaru u prvi stub maksimalna trenutna vrednost napona iznosi 522 kV, drugi 460 kV i treći 454 kV. Dakle, pri udaru u drugi stub izolacija transformatora nije ugrožena, a preskok nastaje na fazama A i B na drugom stubu, a nigde na prvom. Pri udaru u treći stub, preskok nastaje na fazama A i B na trećem stubu, na fazi A na drugom i nigde na prvom stubu. I u tom slučaju napon je niži od 468 kV.



Slika 9 Uticaj udaljenosti odvodnika prenapona od energetskog transformatora (krug – udaljenost 10 m, kvadrat – udaljenost 17 m, trougao – udaljenost 24 m)

Na slici 9 prikazan je uticaj udaljenosti odvodnika prenapona od energetskog transformatora na napon na transformatoru.

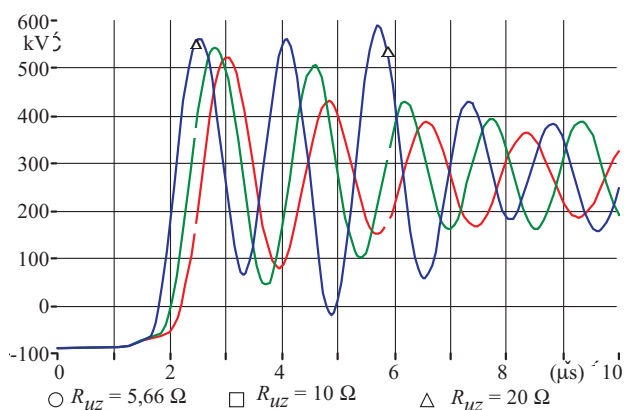
Rezultat je prikazan u tabeli 2.

Tabela 2 pokazuje ono što je poznato – da odvodnik prenapona treba da bude što bliže priključku transformatora.

Tabela 2.

Uticaj udaljenosti odvodnika na vrednost napona na transformatoru

Udaljenost	10 m	17 m	24 m
Napon	486 kV	522 kV	546 kV



Slika 10 Uticaj otpornosti uzemljenja stuba na napon na energetskom transformatoru

Tabela 3.

Karakteristične impedanse pojedinih vodova

	faze	zašt. uže	DvP1	DvP2	SpP	SpustUtr	TrP1	TrP2	TrP3	SpustOp	Etr
Hst (m)	17,3	20,6	10,0	5,0	7,5	7,5	7,5	5,0	5,0	5,50	10,0
f (m)	4,6	0,5	2,5	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,25	2,5
d (mm)	8,5	4,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,50	8,5
Z (Ω)	487,0	546,0	455,0	424,0	449,0	443,0	437,0	424,0	424,0	428,00	455,0

Na slici 10 prikazani su naponi na energetskom transformatoru (faza A) u slučajevima kada je otpornost uzemljenja 5,66 Ω, 10 Ω i 20 Ω.

Rezultat je prikazan u tabeli 3.

Tabela 3.

Uticaj otpornosti uzemljenja stuba na napon na transformatoru

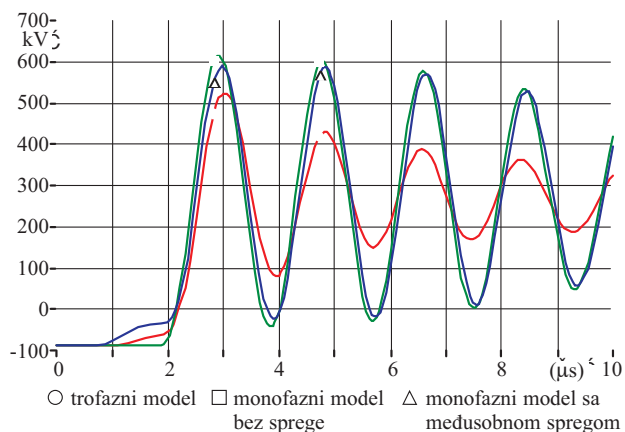
R_{uz}	5,66 Ω	10 Ω	20 Ω
U_{tr}	522 kV	543 kV	590 kV

3.3 Poređenje trofaznog i monofaznog modela

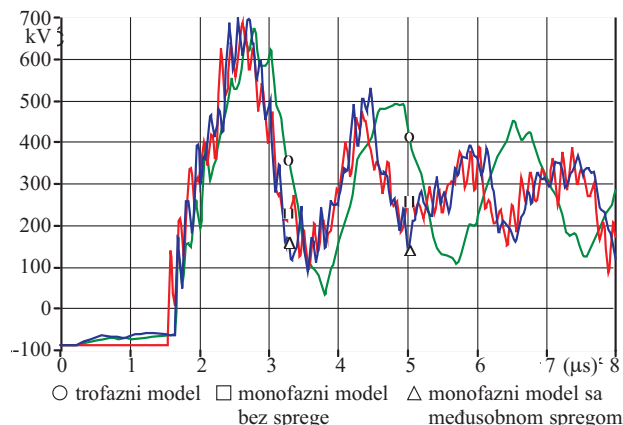
U ovom delu rada prikazani su rezultati poređenja trofaznog i monofaznog modela. Analiziran je samo udar u prvi stub do transformatorske stanice. Trofazni model uzima u obzir sva četiri provodnika, frekventnu zavisnost parametara i svu međusobnu spregu između provodnika. On je, po prirodi, najtačniji. Drugi model koji se analizira je Beržeronov model dva provodnika – najvišeg faznog provodnika i zaštitnog užeta, bez njihove međusobne sprege. Treći model je monofazni, dobijen modulom LCC2, koji definiše fazni provodnik, zaštitno uže i međusobnu spregu između njih.

Na slici 11 prikazani su naponi faze A energetskog transformatora u slučajevima kada su rasponi voda modelovani na pomenuti način.

Slika pokazuje da je maksimalni napon dobijen trofaznim modelom najniži (522 kV), dok je za monofazni model bez sprege taj napon 616 kV, 18 % viši nego kod trofaznog modela. U slučaju monofaznog modela sa međusobnom spregom taj napon je 589 kV, što je za 13 % više od trofaznog modela. Uticaj međusobne sprege kod monofaznog voda je 4,6 %. Naravno, zaključak ne može biti generalan, već se naponi moraju izračunati za svaki konkretan slučaj.



Slika 11 Naponi faze A energetskog transformatora



Slika 12 Naponi na naponskom transformatoru Utr1

Na slici 12 prikazani su naponi na naponskom transformatoru Utr1.

Primenom trofaznog modela dobija se maksimalna vrednost napona od 672 kV, primenom monofaznog modela bez sprege 686 kV (razlika 2 %), a primenom monofaznog modela sa spregom 691 kV (razlika 2,8 %). Krive za monofazne modele su slične, a kriva za trofazni model počinje da se razlikuje od njih posle $t=3 \mu s$. Slično je i sa naponima na transformatorima Utr2 i Utr3.

4. ZAKLJUČCI

Mogu se izvući sledeći zaključci:

- U radu je definisan trofazni model nekoliko raspona voda na kojem nastaje povratni preskok. Model je veoma detaljan, ali rad sa njim nije previše složen jer se zadaju geometrijske karakteristike voda, dok električne karakteristike softverski alat ATP-EMTP izračunava sam. Ovo je, po prirodi, najtačniji model voda jer se uzimaju u obzir realne geometrijske karakteristike, frekventna zavisnost parametara i induktivnost uzemljivača.
- U radu je primenjen, za ovu vrstu analiza veoma značajan model preskočne karakteristike izolacije, poznat kao model razvoja lidera. On važi za ne-standardne naponske talase.
- Poređenje trofaznog i monofaznih modela pokazuje da se, u ovom konkretnom slučaju, trofaznim modelom dobija niži napon nego monofaznim modelom, ali ta razlika zavisi od položaja elementa u transformatorskoj stanici (udaljenosti od odvodnika prenapona). U slučaju u ovom radu razlika napona na energetskom transformatoru je 18 %, dok je znatno manja na ostalim elementima.

5. LITERATURA

- [1] Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33: Guide to procedures for estimating the lightning

- performance of transmission lines, CIGRE Brochure No. 63, October 1991.
- [2] Electro-Magnetic Transients Program (EMTP) Theory Book, Bonneville Power Administration, USA, August, 1986.
- [3] D. Milojević, S. Stojković: Poređenje monofaznih modela vodova za analizu ugroženosti transformatorskih stanica 110/10 kV/kV od atmosferskih prenapona, 28. Savetovanje JUKO CIGRE 30. septembar-05. oktobar 2007., Vrnjačka Banja, R C4-02, str. 173-182.
- [4] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book, Canadian/American EMTP User Group, 1987-92.
- [5] M. Savić, Z. Stojković: Tehnika visokog napona – Atmosferski prenaponi, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1996.
- [6] Z. Zdravković, P. Vukelja, J. Mrvić: Koordinacija izolacije objekata visokih napona trofaznih mreža, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd,
- [7] IEC 60071-2, 1996, Insulation Coordination – Part 2: Application guide.
- [8] A. R.Hileman: Insulation Coordination for Power Systems, Marcel Dekker, Inc., 1999.
- [9] Working Group 07 of Study Committee 33: Guidelines for the Evaluation of the Dielectric Strength of External Insulation, CIGRE Brochure No. 72, 1992.

Rad je primljen u uredništvo 03. 02. 2008. godine



Saša Stojković rođen je 1958. godine u Prizrenu. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 1982. godine. Magistrirao je na istom fakultetu 1989. godine, a doktorirao 1997. godine na Tehničkom fakultetu u Čačku.

Zaposlen je na Tehničkom fakultetu u Čačku, gde predaje predmete Tehnika visokog napona, Relejna zaštita, Projektovanje pomoću računara u energetici i Visokonaponska ras-klopna oprema. Autor je 3 pomoćna udžbenika, 12 radova u časopisima i 34 rada na domaćim i međunarodnim konferencijama. Učestvovao je na 4 projekta finansirana od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju i na jednom projektu Evropske unije.



Dragan Milojević je rođen 1974. godine u Kraljevu, gde je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je 1998. godine na Tehničkom fakultetu u Čačku, na smeru Elektroenergetika. Na istom fakultetu upisao je postdiplomske studije, gde završava magistarski rad iz oblasti Koordinacije izolacije. U PD „Elektrosrbija Kraljevo – Elektrodistribucija Kraljevo” zaposlen je od 2000. godine, gde trenutno radi na poslovima rukovodioca sektora upravljanja. Objavio je dva stručna rada.

Pokazatelji pouzdanosti za distributivne sisteme

Stručni rad
UDK: 621.31.

Rezime:

U radu je dat pregled pokazatelja pouzdanosti koji se definišu isključivo za distributivne sisteme. Ovi pokazatelji se mogu računati za mreže, postrojenja ili pojedina potrošačka područja. Proračun pokazatelja je ilustrovan na nekoliko urađenih primera.

Ključne reči: *distributivni sistem, prekidi, pokazatelji pouzdanosti*

Abstract:

DISTRIBUTION SYSTEMS RELIABILITY INDICES

The paper gives an overview of reliability indices defined for distribution systems. These indices can be calculated for distribution networks, substations or some customer areas. Calculation of the indices is illustrated with several solved examples.

Key words: *distribution system, interruptions, reliability indices*

1. UVOD

Pre objašnjenja pokazatelja pouzdanosti koji se definišu isključivo za distributivne sisteme, ukazaćemo na grešku koja se često pravi u analizama pouzdanosti, a koja se odnosi na poistovećivanje značenja reči *ispad* i *prekid*. *Ispad* znači kvar dela sistema (ispad voda, ispad transformatora, ispad prekidača,...). *Prekid* znači prestanak napajanja jednog ili više potrošača električnom energijom. *Prekid* je, najčešće, uzrokovan *ispadom*. [1]

Trajanje ispada, najčešće, nije jednako trajanju prekida. Ako dođe do prekida u napajanju koji je posledica ispada, a postoji mogućnost dvostranog napajanja potrošača, prekid će trajati dok se ne obave potrebne manipulacije da bi se ispalio deo odvojio od ispravnog dela sistema i potrošačima obezbedi na-

pajanje iz drugog pravca. Ako nema mogućnosti dvostranog napajanja potrošača, trajanje prekida će biti jednako trajanju ispada. Trajanje ispada zavisi od vrste kvara (popravljiv ili nepopravljiv kvar) i od toga da li je potreban rezervni element i, ako jeste, da li je raspoloživ ili je neophodna naknadna nabavka. [2,3]

Kada su u pitanju analize pouzdanosti distributivnih sistema, dve ključne veličine su učestanost prekida napajanja i dužina trajanja prekida napajanja. U zavisnosti od kategorije potrošača, češći prekidi u napajanju kraćeg trajanja neće imati isti efekat kao ređi prekidi dužeg trajanja.

Klasifikacija prekida se vrši prema njihovom trajanju. Prema tradicionalnoj IEEE klasifikaciji [1], prekidi se dele na:

- trenutne prekide (*Momentary*)- prekidi koji se otklanjaju automatskim sklopnim uređajima ili se manipuliše mehaničkim sklopnim uređajima na licu mesta kada je lice za manipulaciju trenutno raspoloživo. Tipično trajanje ovih prekida je kraće od 5 minuta i
- duže prekide (*Sustained*)- prekidi koji nisu klasifikovani kao trenutni i, tipično, traju duže od 5 minuta.

Gornje definicije prekida nisu striktno i razlikuju se od korisnika do korisnika, u smislu dužine trajanja.

Primer radi, potrošači u Severnoj Americi u proseku imaju 2 prekida napajanja godišnje, pri čemu je ukupno trajanje ova 2 prekida u opsegu (100÷120) min [2,3].

Takođe, prekidi se dele na planirane i neplanirane. Ključna razlika između ove dve vrste prekida je da se pre planiranog prekida (najčešće zbog održavanja) potrošači u razumnom terminu obaveste o terminu isključenja, čime se bitno smanjuju štete koje oni mogu da pretrpe zbog prekida u napajanju.

2. POKAZATELJI POUZDANOSTI

Pokazatelji pouzdanosti se mogu računati na nivou sistema, kada se dobijaju prosečne vrednosti koje se odnose na sve potrošače unutar sistema ili za pojedina, uža, potrošačka područja ili za pojedine vrste opreme.

U pokušajima da se izmeri pouzdanost nečega osnovni problem je kako povezati dve veličine – učestanost prekida i trajanje prekida. Da li su dva jednočasovna prekida ekvivalentna jednom dvočasovnom prekidu ili da li su dva jednočasovna prekida dva puta lošija od jednog dvočasovnog prekida? Važnost učestanosti i važnost trajanja variraju od kompanije do kompanije. Kod nekih potrošača 5-minutni prekid ima skoro isti efekat kao i jednočasovni, jer imaju osetljive proizvodne procese ili njihovi računarski uređaji i robotizovana oprema zahtevaju sate za ponovno vraćanje u rad. Kod drugih, tek prekidi duži od 30-ak minuta prave probleme [3].

Učestanost prekida napajanja je dobila na značaju od trenutka masovne upotrebe računara i digitalne opreme, kod koje i prekidi od nekoliko sekundi stvaraju značajne probleme. To je vrlo često izgovor da se u sistemu traži visok nivo pouzdanosti.

Važan činilac je i količina neisporučene energije zbog prekida u napajanju, koja je srazmerna dužini trajanja prekida i snazi koju su potrošači zahtevali u trenutku prekida. U tom smislu, neke kompanije kao cilj su postavile postizanje raspoloživosti sistema od 0,999 999 (*šest devetki*). Sa ovom raspoloživošću, ukupno trajanje prekida napajanja u toku

godine bilo bi 32 s. S druge strane, na primer, maksimalna raspoloživost koju ostvaruju distributivne kompanije u SAD je 0,999 8, odnosno godišnje trajanje prekida napajanja je 105 min [3].

Četiri najčešće korišćena pokazatelja u analiza-ma pouzdanosti distributivnih sistema ne uzimaju u obzir veličinu sistema. Ovi pokazatelji tretiraju sve potrošače jednako, bez obzira na njihovu potrošnju električne energije i angažovanu snagu. To su SAIFI i CAIFI, kojima se računa samo učestanost prekida, i SAIDI i CTAIDI, kojima se računa samo trajanje prekida napajanja. Proračunom napred pomenutih pokazatelja, može se sagledati šta se dešava u smislu systemske pouzdanosti [1].

Kao i kod svih ostalih pokazatelja, proračun se vrši za neki posmatrani period, obično mesec ili godina. Uzimaju se u obzir svi prekidi kod svih potrošača. Na primer, ako je jedan potrošač pretrpeo tri prekida u napajanju tokom godine, to se računa kao tri prekida napajanja potrošača.

Pokazatelji SAIFI i SAIDI se odnose na čitav sistem (početno slovo S-System), a pokazatelji CAIFI i CTAIDI se odnose na potrošače koji su pretrpe-li prekide u napajanju (slovo C-Customer). Potrošači koji nisu imali prekida u napajanju nisu obuhvaćeni pokazateljima CAIFI i CTAIDI.

Pokazatelj SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) predstavlja prosečan broj dužih prekida (*sustained*) napajanja potrošača tokom analiziranog perioda (obično godina). Računa se kao količnik ukupnog broja potrošača koji su ostajali bez napajanja u toku jedne godine i ukupnog broja potrošača na području koje se analizira:

$$SAIFI = \frac{\sum_i N_i}{N_T} \cdot \left(\frac{1}{god} \right) \quad (1)$$

gde su:

N_i – broj potrošača koji su ostali bez napajanja prilikom prekida i ,

N_T – ukupan broj potrošača na analiziranom području.

Indeksom i obuhvataju se svi prekidi koji su se dogodili tokom jedne godine.

Za dati broj potrošača, jedini način da se poboljša vrednost pokazatelja SAIFI je da se smanji broj prekida.

Pokazatelj SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) predstavlja prosečno trajanje dužih prekida napajanja potrošača tokom analiziranog perioda (obično godina). Računa se kao količnik zbira ukupnog trajanja prekida napajanja u toku jedne godine i ukupnog broja potrošača na području koje se analizira:

$$SAIDI = \frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{N_T} \cdot \left(\frac{h(\text{min})}{\text{god}} \right) \quad (2)$$

gde je:

r_i – trajanje prekida napajanja tokom događaja i .

Ostale oznake imaju isto značenje kao u (1).

Za dati broj potrošača, vrednost pokazatelja SAIDI se može poboljšati ili smanjenjem broja prekida ili skraćenjem trajanja prekida.

Pokazatelj CAIFI (*Customer Average Interruption Frequency Index*) predstavlja prosečan broj dužih prekida napajanja potrošača koji su u toku analiziranog perioda (obično godina) imali bar jedan prekid:

$$CAIFI = \frac{\sum_i N_i}{C_N} \cdot \left(\frac{1}{\text{god}} \right) \quad (3)$$

gde je C_N ukupan broj potrošača koji su tokom analiziranog perioda imali jedan ili više prekida u napajanju. Ako je potrošač imao više prekida, taj potrošač se računa samo jednom, jer bi se, inače, moglo dogoditi da bude $C_N > N_T$.

Samo prividno, čini se da su pokazatelji SAIFI i CAIFI slični. Međutim, jedna velika razlika između njih je da je minimalna moguća vrednost za SAIFI – nula, dok je minimalna moguća vrednost za CAIFI – jedan.

Pokazatelj CTAIDI (*Customer Total Average Interruption Duration Index*) predstavlja prosečno trajanje dužih prekida napajanja potrošača koji su u toku analiziranog perioda (obično godina) imali bar jedan prekid:

$$CTAIDI = \frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{C_N} \cdot \left(\frac{h(\text{min})}{\text{god}} \right) \quad (4)$$

Osim napred navedenih pokazatelja, u analiza ma pouzdanosti efekti dužih prekida napajanja se ređe obuhvataju i preko parametara CAIDI i ASAI.

Pokazatelj CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) predstavlja prosečno vreme potrebno za ponovno uspostavljanje napajanja potrošača koji su pretrpeli duže prekide:

$$CAIDI = \frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{\sum_i N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (h(\text{min})) \quad (5)$$

Pokazatelj ASAI (*Average Service Availability Index*) predstavlja raspoloživost sistema sa stanovišta potrošača:

$$ASAI = \frac{N_T \cdot 8760 - \sum_i r_i \cdot N_i}{N_T \cdot 8760} \quad (\text{r.j.}) \quad (6)$$

Ostali pokazatelji, koji računaju neisporučenu električnu energiju ili ispalu snagu, znatno ređe se koriste, zbog nesigurnosti ulaznih podataka.

Za obuhvatanje efekata privremenih prekida najčešće se koristi pokazatelj koji se označava sa MAIFI (*Momentary Average Interruption Frequency Index*). Ovaj pokazatelj predstavlja prosečan broj trenutnih prekida napajanja potrošača tokom analiziranog perioda (obično godina):

$$MAIFI = \frac{\sum_i I_{Di} \cdot N_i}{N_T} \cdot \left(\frac{1}{\text{god}} \right) \quad (7)$$

gde I_{Di} predstavlja broj operacija sklopnog uređaja.

Ilustracije radi, u tabeli 1. navedeni su podaci za neke pokazatelje pouzdanosti do kojih se došlo na osnovu podataka koji važe za potrošače u SAD. Potrošači su podeljeni u četiri grupe po vrednostima pokazatelja pouzdanosti: 25 % najlošijih, potrošači koji su u grupama (25-50) % i (50-75) % i 25 % najboljih.

U tabeli 2 date su uporedne vrednosti pokazatelja pouzdanosti izračunate za pojedine države.

Tabela 1

Tipični pokazatelji pouzdanosti za potrošače u SAD [2,3]

	SAIFI (1/go- dina)	SAIDI (min/go- dina)	CAIDI (min)	ASAI (r.j.)
Prosek za 25 % najboljih	0,90	54	55	0,999 90
Prosek za potrošače iz grupe (50-75) %	1,10	90	76	0,999 83
Prosek za sve potrošače	1,26	117	88	0,999 78
Prosek za potrošače iz grupe (25-50) %	1,45	138	108	0,999 74
Prosek za 25 % najlošijih	3,90	423	197	0,999 20

3. PRIMERI PRORAČUNA

3.1. Primer 3.1 [5,6]

U tabeli 3 navedeni su eksploatacioni podaci o prekidima tokom jedne godine na potrošačkom području sa 2 000 potrošača i ukupnim opterećenjem od 4 MW. Radi jednostavnosti, izostavljeni su datumi. Izračunati pokazatelje pouzdanosti na godišnjem nivou.

Tabela 2
Pokazatelji pouzdanosti za pojedine države [2,3]

	SAIFI (1/go- dina)	SAIDI (min/go- dina)	CAIDI (min)	ASAI (r.j.)	Gustina stanov- ništva (1/km ²)
Gradske sredine					
Finska	0,8	33	41	0,999 94	
Švedska	0,5	30	60	0,999 94	
Danska	0,3	7	20	0,999 99	
Italija	2,5	120	48	0,999 77	
Holandija	0,3	15	58	0,999 97	
Seoske sredine					
Finska	5,0	390	78	0,999 26	15
Švedska	1,5	180	120	0,999 66	20
Danska	1,2	54	45	0,999 90	120
Italija	5,0	300	60	0,999 43	200
Holandija	0,4	34	79	0,999 94	390
UKUPNO					
Norveška	2,0	300	150	0,999 43	13
SAD	1,3	120	90	0,999 40	29
Velika Britanija	0,7	67	92	0,99987	250
Holandija	0,4	27	73	0,999 95	390

Tabela 3
Podaci o prekidima napajanja potrošača

Vreme prekida napajanja	Vreme ponovnog uspostavljanja napajanja	Broj potrošača koji su ostali bez napajanja	Ispala snaga, (kVA)	Dužina trajanja prekida	Vrsta prekida
12:12:20	12:20:30	200	800	8,17	duži
18:23:56	18:24:26	400	1 600	0,50	trenutni
00:23:10	01:34:29	600	1 800	71,30	duži
23:17:00	23:47:14	25	75	30,30	duži
09:30:10	09:31:10	2 000	4 000	1,00	trenutni
15:45:39	20:12:50	90	500	267,20	duži
08:20:00	10:20:00	700	2 100	120,00	duži
17:10:00	17:20:00	1 500	3 000	10,00	duži
10:15:00	10:55:00	100	200	40,00	duži

Na osnovu prethodno navedenih izraza, korišćenjem podataka iz tabele 3, jednostavno se izračunava:

$$SAIFI = \frac{200 + 600 + 25 + 90 + 700 + 1500 + 100}{2000} = 1,6075 \frac{1}{god}$$

$$SAIDI = \frac{8,17 \cdot 200 + 71,3 \cdot 600 + 30,3 \cdot 25 + 267,2 \cdot 90 + 120 \cdot 700 + 10 \cdot 1500 + 40 \cdot 100}{2000} = 86,11 \frac{min}{god}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{86,11}{1,6075} = 53,567 min$$

Da bi se izračunali pokazatelji CTAIDI i CAIFI potrebni su dopunski podaci. Ukupan broj potrošača C_N koji su pretrpeli prekide u napajanju ne može biti veći od 2 000. Pošto je u tabeli 3 dat samo deo raspoloživih podataka, nije moguće utvrditi precizno podatak za C_N . Malo je verovatno da su svih 2 000 potrošača u toku godine imali prekide u napajanju. S obzirom da je, jednom prilikom, prekidom bilo pogođeno 1 500 potrošača, usvojićemo realnu pretpostavku da je tokom godine 90 % potrošača imalo prekide u napajanju, odnosno da je $C_N = 1 800$.

Sada računamo:

$$CTAIDI = \frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{C_N}$$

$$\sum_i r_i \cdot N_i = 8,17 \cdot 200 + 71,3 \cdot 600 + 30,3 \cdot 25 + 267,2 \cdot 90 + 120 \cdot 700 + 10 \cdot 1500 + 40 \cdot 100 = 172218,6 \frac{min}{god}$$

$$CTAIDI = \frac{172218,6}{1800} = 95,677 \frac{min}{god}$$

$$ASAI = \frac{N_T \cdot 8760 - \frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{60}}{N_T \cdot 8760}$$

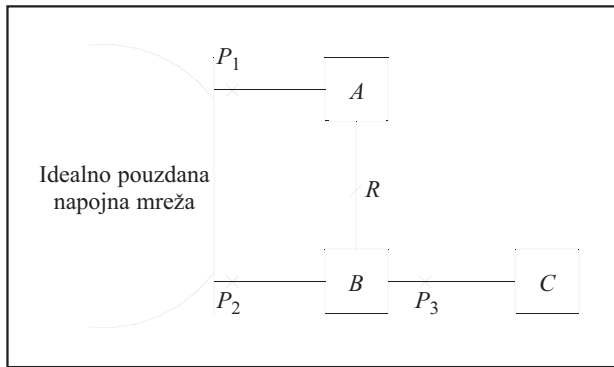
$$\frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{60} = 2870,31 h$$

$$ASAI = \frac{2000 \cdot 8760 - 2870,31}{2000 \cdot 8760} = 0,99983617$$

Primer 3.2 [4]

Na slici 1 šematski je prikazan deo sistema, u kome se potrošači mogu grupisati u tri velika potrošačka područja A, B i C.

Napojna mreža se može smatrati idealno pouzdanom. Na vodovima koji povezuju napojnu mrežu sa područjima A i B, respektivno, ugrađeni su prekidači. Od ukupno isporučene energije u području A se troši 40 %, a u područjima B i C po 30 % respektivno. Na vodu između područja A i B ugrađen je rastavljač. Ako se dogodi kvar, vreme potrebno za njegovo otvaranje iznosi 30 min. Na vodu između područja B i C nalazi se prekidač, čija je verovatnoća ispravnog reagovanja 90 %. U svakom od potrošačkih područja dogodi se jedan kvar godišnje čije je pro-



Slika 1. Šematski prikaz analiziranog sistema

sečno trajanje 2 h. Izračunati SAIFI, SAIDI i ASAI za sistem.

Sa srednjom vrednošću intenziteta otkaza $\lambda = 1 \frac{1}{\text{godina}}$ u potrošačkom području C i verovatnoćom otkaza 10 % prekidača P_3 , srednji intenzitet „iznetih” kvarova u delove A i B je $1 \cdot 0,1 = 0,1 \frac{1}{\text{godina}}$.

Rezultati proračuna za pojedina potrošačka područja dati su u tabeli 4. Značenja oznaka su:

λ – intenzitet otkaza, $\left(\frac{1}{\text{god}} \right)$,

r – srednje vreme trajanja kvara, (h),

$U = \lambda \cdot r$ – očekivano trajanje prekida napajanja, $\left(\frac{h}{\text{god}} \right)$

Ako se ima u vidu definicija za U , u tabeli 4 koeficijent $\frac{\sum U}{\sum \lambda}$ predstavlja srednje vreme trajanja kvara u pojedinim područjima.

Sada se jednostavno izračunavaju traženi pokazatelji:

$$SAIFI = \frac{2,1 \cdot 0,4 + 2,1 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,3}{1} = 2,37 \frac{1}{\text{god}}$$

$$SAIDI = \frac{2,55 \cdot 0,4 + 2,7 \cdot 0,3 + 4,5 \cdot 0,3}{1} = 3,18 \frac{h}{\text{god}}$$

$$ASAI = \frac{1 \cdot 8760 - (2,55 \cdot 0,4 + (2,7 + 4,5) \cdot 0,3)}{8760} = \frac{8760 - 3,18}{8760} = 0,9996370$$

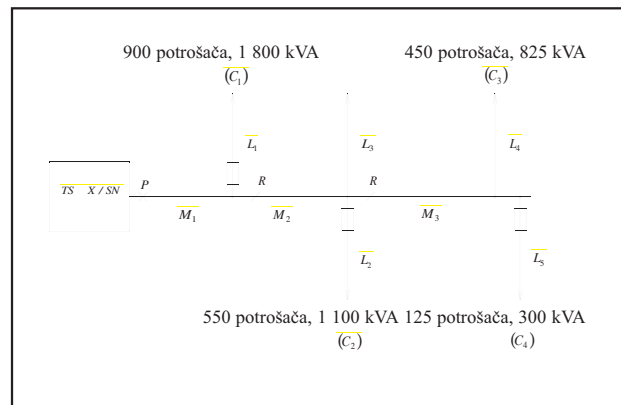
Primer 3.3 [4]

Na slici 2 prikazan je jedan srednjenaponski izvod sa ograncima. Na početku voda je ugrađen prekidač, duž voda – dva rastavljača. Sa ogranaka L_1, L_2, L_4 i L_5 napajaju se potrošački čvorovi C_1, C_2, C_3 i C_4 , respektivno, za koje su broj potrošača i snaga koju zahtevaju dati na slici. Ogranak L_3 je u praznom hodu. Na ograncima L_1, L_2 i L_5 postavljeni su VN-osigurači. Vreme potrebno da se otvori rastavljač na izvodu, ako dođe do kvara, je 0,5 h. Podaci o dužinama pojedinih deonica i izvoda i pokazatelji pouzdanosti navedeni su u tabeli 5. Izračunati SAIFI, SAIDI, CAIDI i ASAI.

Značenja oznaka su:

λ – intenzitet otkaza, $\left(\frac{1}{\text{god}} \right)$, r – srednje vreme trajanja kvara, (h),

$U = \lambda \cdot r$ – očekivano trajanje prekida napajanja, $\left(\frac{h}{\text{god}} \right)$



Slika 2. Šema analiziranog dela sistema

Tabela 4.

	A			B			C		
	λ	r	U	λ	r	U	λ	r	U
A	1,0	2,0	2,0	1,0	0,5	0,5	1	0,5	0,5
B	1,0	0,5	0,5	1,0	2,0	2,0	1	2,0	2,0
C	0,1	0,5	0,05	0,1	2,0	0,2	1	2,0	2,0
Ukupno	$\sum \lambda$	$\frac{\sum U}{\sum \lambda}$	$\sum U$	$\sum \lambda$	$\frac{\sum U}{\sum \lambda}$	$\sum U$	$\sum \lambda$	$\frac{\sum U}{\sum \lambda}$	$\sum U$
	2,1	1,21	2,55	2,1	1,28	2,7	3	1,5	4,5

Tabela 5.

Deonica voda (izvod)	$\lambda \left(\frac{1}{\text{god}} \right)$	r (h)
M_1	0,10	4
M_2	0,25	4
M_3	0,30	4
L_1	0,20	3
L_2	0,40	3
L_3	0,10	1
L_4	0,10	2
L_5	0,25	2

Kada se izvrši analiza efekata kvarova na pojedinim deonicama (izvodima), dobijaju se rezultati kao u tabelama 5 i 6.

Sada se, jednostavno, izračunavaju traženi pokazatelji:

$$SAIFI = \frac{\sum_i N_i}{N_T} = \frac{1,05 \cdot 900 + 1,25 \cdot 550 + 0,85 \cdot 450 + 1,1 \cdot 125}{900 + 550 + 450 + 125} = 1,06 \frac{1}{\text{god}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{N_T} = \frac{1,375 \cdot 900 + 2,90 \cdot 550 + 2,90 \cdot 450 + 3,40 \cdot 125}{900 + 550 + 450 + 125} = 2,253 \frac{h}{\text{god}}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = 2,12 h$$

$$ASAI = \frac{N_T \cdot 8760 - \frac{\sum_i r_i \cdot N_i}{60}}{N_T \cdot 8760} = \frac{2025 \cdot 8760 - 4562,5}{2025 \cdot 8760} = 0,999743$$

Tabela 6.

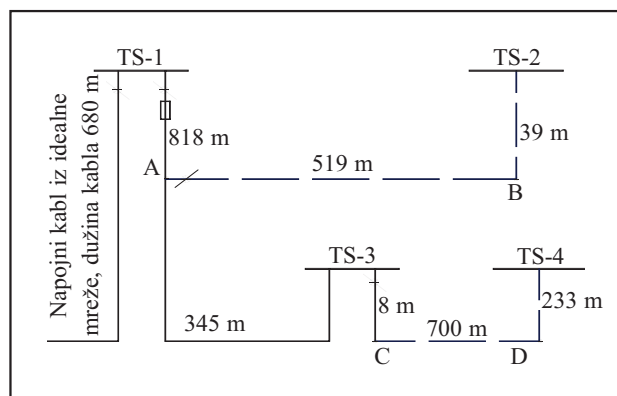
	Potrošački čvor C ₁			Potrošački čvor C ₂		
	λ	r	$U=\lambda \cdot r$	λ	r	$U=\lambda \cdot r$
M_1	0,10	4,00	0,400	0,10	4,00	0,40
M_2	0,25	0,50	0,125	0,25	4,00	1,00
M_3	0,30	0,50	0,150	0,30	0,50	0,15
L_1	0,20	3,00	0,600			
L_2				0,40	3,00	1,20
L_3	0,10	0,50	0,050	0,10	1,00	0,10
L_4	0,10	0,5	0,050	0,10	0,50	0,05
L_5						
Ukupno	$\sum \lambda$	$\frac{\sum U}{\sum \lambda}$	$\sum U$	$\sum \lambda$	$\frac{\sum U}{\sum \lambda}$	$\sum U$
	1,05	1,31	1,375	1,25	2,32	2,90

Tabela 7.

	Potrošački čvor C ₁			Potrošački čvor C ₂		
	λ	r	$U=\lambda \cdot r$	λ	r	$U=\lambda \cdot r$
M_1	0,10	4	0,40	0,10	4	0,40
M_2	0,25	4	1,00	0,25	4	1,00
M_3	0,30	4	1,20	0,30	4	1,20
L_1						
L_2						
L_3	0,10	1	0,10	0,10	1	0,10
L_4	0,10	2	0,20	0,10	2	0,20
L_5				0,25	2	0,50
Ukupno	$\sum \lambda$	$\frac{\sum U}{\sum \lambda}$	$\sum U$	$\sum \lambda$	$\frac{\sum U}{\sum \lambda}$	$\sum U$
	0,85	3,4	2,9	1,1	3,10	3,40

Primer 3.4 [4]

Na slici 3 prikazan je mali deo distributivne oblasti naponskog nivoa 10 kV.



Slika 3. Šema analiziranog dela sistema

TS-1 je priključena na napojnu idealnu mrežu, preko kabla dužine 680 m.

Isprekidane linije predstavljaju nadzemne vodove 10 kV. Jedinični intenzitet kvarova je $0,20 \left(\frac{1}{\text{km} \cdot \text{godina}} \right)$, a srednje vreme otklanjanja kvara je 2,5 h.

Pune linije predstavljaju kablove 10 kV, sa jediničnim intenzitetom kvarova $0,02 \left(\frac{1}{\text{km} \cdot \text{godina}} \right)$ i srednjim vremenom otklanjanja kvara 2,5 h.

Dužine pojedinih deonica date su u metrima. Na napojnom kabl, u TS-1, ugrađena je rastavna

sklop-ka, na deonici između TS-1 i tačke A-rastavna sklopka i osigurač, a na deonicama između tačke A i tačke B i između TS-3 i tačke C-po jedna rastavna sklopka. U slučaju kvara osigurač će reagovati u 40 % slučajeva. Rastavne sklopke se smatraju idealnim i, u normalnom pogonu, zatvorene su. Ako se dogodi kvar, vreme potrebno za manipulaciju rastavnim sklopkom iznosi 1h.

Sve četiri srednje-naponske TS se kvare sa intenzitetom 0,05 (1/godina), a srednje vreme otklanjanja kvarova iznosi 3h.

Ostali delovi sistema se posmatraju kao da su idealni.

Izračunati SAIFI, SAIDI i CAIDI za šemu sa slike 3.

Rešenje:

Izračunaćemo intenzitete kvarova na pojedinim deonicama:

- događaj D_1 : ispad napojnog kabla dužine 680 m: $0,68 \cdot 0,02 = 0,0136$ 1/godina,
- događaj D_2 : ispad deonice između TS-1 i tačke A, dužine 818 m: $0,818 \cdot 0,02 = 0,01636$ 1/godina,
- događaj D_3 : ispad deonice između tačke A i TS-2, ukupne dužine 558 m: $(0,519 + 0,039) \cdot 0,2 = 0,1116$ 1/godina,
- događaj D_4 : ispad deonice između tačke A i TS-3, dužine 345 m: $0,345 \cdot 0,02 = 0,0069$ 1/godina
- događaj D_5 : ispad deonice između TS-3 i TS-4, ukupne dužine 933 m nadzemnih vodova i 8 m

Tabela 8.

TS	TS-1			TS-2		
Događaj:						
Kvar u TS-1	0,05	3	0,15	0,05	3,0	0,15
D_1	0,0136	2,5	0,034	0,0136	2,5	0,034
D_2	0,009816	1	0,009816	0,01636	2,5	0,0409
D_3	0,06696	1	0,06696	0,1116	2,5	0,279
D_4	0,00414	1	0,00414	0,0069	2,5	0,01725
D_5	0,112056	1	0,112056	0,18676	1,0	0,18676
Ukupno	0,256572	-	0,376972	0,38522	-	0,70791

TS	TS-1			TS-2		
Događaj:						
Kvar u TS-1	0,05	3,0	0,15	0,05	3,0	0,15
D_1	0,0136	2,5	0,034	0,0136	2,5	0,034
D_2	0,01636	2,5	0,0409	0,01636	2,5	0,0409
D_3	0,1116	1,0	0,1116	0,1116	1,0	0,1116
D_4	0,0069	2,5	0,01725	0,0069	2,5	0,01725
D_5	0,18676	1,0	0,18676	0,18676	2,5	0,4669
Ukupno	0,38522	-	0,54051	0,38522	-	0,82065

kablovskog voda:

$$(0,7+0,233) \cdot 0,2 + 0,008 \cdot 0,02 = 0,18676 \text{ 1/godina.}$$

Sada ćemo izračunati intenzitet ispada i neraspoloživost sve četiri TS, tabela 5. Trebalo bi imati u vidu da osigurač između TS-1 i tačke A nije idealan i da će u 60 % slučajeva kvarova na pojedinim vodovima doći do ispada pojedinih TS.

Značenja oznaka su:

λ – intenzitet otkaza, (1/godina), r – srednje vreme trajanja kvara, (h),

$U=l \cdot r$ – očekivano trajanje prekida napajanja, (h/godina).

Sada se izračunavaju traženi pokazatelji:

$$SAIFI = \frac{51 \cdot 0,256572 + (33 + 10 + 13) \cdot 0,38522}{51 + 33 + 10 + 13} = 0,3239 \frac{1}{god}$$

$$SAIDI = \frac{51 \cdot 0,376972 + 33 \cdot 0,70791 + 10 \cdot 0,54051 + 13 \cdot 0,82065}{107} = 0,5482 \frac{h}{god}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = 1,6925h$$

4. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled pokazatelja pouzdanosti, koji se definišu isključivo za distributivne sisteme. Dat je pregled tipičnih vrednosti ovih parametara, zabeleženih u velikim svetskim elektrodistribucijama, a na nekoliko primera je pokazano kako se vrši proračun. Vrednosti ovih parametara za našu zemlju nisu dati, zbog malog raspoloživog uzorka i nesigurnih podataka.

5. PRILOG

Definicije stacionarnih pokazatelja pouzdanosti elemenata sistema [7]

Neka je m_i – srednje vreme trajanja ispravnog rada elementa i , i r_i – srednje vreme trajanja obnavljanja.

Stacionarna vrednost raspoloživosti elementa i jednaka je:

$$A_i = \frac{m_i}{m_i + r_i} \quad (P-1)$$

a stacionarna vrednost neraspoloživosti:

$$U_i = \frac{r_i}{m_i + r_i} = 1 - A_i \quad (P-2)$$

Veličina T_i je periodičnost otkaza:

$$T_i = m_i + r_i \quad (P-3)$$

Učestanost otkaza f_i elementa i jednaka je:

$$f_i = \frac{1}{T_i} \quad (P-4)$$

Intenzitet kvarova λ_i elementa i jednak je:

$$\lambda_i = \frac{1}{m_i} \approx f_i \quad (P-5)$$

a intenzitet obnavljanja:

$$\mu_i = \frac{1}{r_i} \quad (P-6)$$

Za nadzemne i podzemne vodove intenzitet otkaza se izražava kao broj kvarova po jedinici dužine u toku godine, (1/km·godina), dok se za ostale elemente izražava broj kvarova u toku godine, (1/godina).

Mreža kojom se modeluje neki tehnički sistem naziva se *blok-dijagram* pouzdanosti ili *funkcionalni graf*.

Funkcionalni graf odražava način rada sistema u pogledu pouzdanosti i ne mora da ima nikakve sličnosti sa fizičkom strukturom sistema.

Njime se predstavljaju neispravna stanja sistema.

Grane komponenti su u paralelnoj vezi ako je sistem neispravan kada su sve odgovarajuće komponente neispravne. Rednom vezom povezuju se sve situacije u kojima je sistem neispravan.

Ukoliko se graf sastoji od grana koje su u pogledu pouzdanosti međusobno nezavisne, mogu se dobiti jednostavni analitički izrazi za pokazatelje pouzdanosti za elementarne kombinacije grana (redna, paralelna ili redno-paralelna).

Redna veza

Neka se funkcionalni graf nekog sistema sastoji od n_e redno vezanih elemenata.

Sistem je ispravan samo ako su ispravne sve komponente.

Raspoloživost A redne veze elemenata je:

$$A = \prod_{i=1}^{n_e} A_i \quad (P-7)$$

Stacionarna vrednost neraspoloživosti U sistema jednaka je:

$$U = 1 - A = 1 - \prod_{i=1}^{n_e} A_i = 1 - \prod_{i=1}^{n_e} (1 - U_i) \quad (\text{P-8})$$

Imajući u vidu da su vrednosti U_i vrlo male, može se pisati:

$$U \approx \sum_{i=1}^{n_e} U_i \quad (\text{P-9})$$

Intenzitet kvarova redne veze jednak je zbiru intenziteta kvarova komponenti:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n_e} \lambda_i \quad (\text{P-10})$$

Za učestanost kvarova f sistema dobija se:

$$f = \left(\sum_{i=1}^{n_e} \lambda_i \right) \cdot \prod_{i=1}^{n_e} A_i = \sum_{i=1}^{n_e} f_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_e} A_j \quad (\text{P-11})$$

Za praktične proračune može se smatrati da je :

$$f \approx \sum_{i=1}^{n_e} f_i \quad (\text{P-12})$$

Paralelna veza

Neka se funkcionalni graf nekog sistema sastoji od n_e paralelno vezanih grana. Sistem prelazi u neispravno stanje samo kada su sve komponente u neispravnom stanju.

Stacionarna vrednost nerasploživosti u paralelne veze elemenata jednaka je:

$$U = \prod_{i=1}^{n_e} U_i \quad (\text{P-13})$$

a raspoloživosti :

$$A = 1 - \prod_{i=1}^{n_e} U_i \quad (\text{P-14})$$

Sistem prelazi u radno stanje obnavljanjem bilo koje komponente, intenzitet obnavljanja μ sistema jednak je:

$$\mu = \sum_{i=1}^{n_e} \mu_i \quad (\text{P-15})$$

Učestanost neispravnosti f sistema je:

$$f = \left(\sum_{i=1}^{n_e} \mu_i \right) \cdot \prod_{i=1}^{n_e} U_i = \sum_{i=1}^{n_e} f_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_e} U_j = \sum_{i=1}^{n_e} \lambda_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n_e} U_j \quad (\text{P-16})$$

Za izračunatu vrednost nerasploživosti U elementa (sistema), očekivano godišnje trajanje prekida napajanja τ iznosi:

$$\tau = U \cdot 8760 [h] \quad (\text{P-17})$$

6. LITERATURA

- [1] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std. 1366, 2001 Edition
- [2] R. E. Brown, Electric Power Distribution Reliability, Marcel Dekker, 2002.
- [3] H. Lee Willis, Power Distribution Planning Reference Book, Marcel Dekker, 2004.
- [4] Lina Bertling and Carl Johan Wallnerström, Exercises on reliability assessment of electric power systems, KTH – Royal Institute of Technology, School of Electrical Engineering, October 2007
- [5] S. R. K. Yeddapanudi, Distribution System Reliability Evaluation, Iowa State University, 2007.
- [6] R. E. Goodin et al., Distribution Reliability Using Reclosers and Sectionalisers, ABB, 2007.
- [7] J. Nahman, V. Mijailović, Razvodna postrojenja, Elektrotehnički fakultet & Akademski misao, Beograd, 2005.

Rad je rezultat rada na projektu TR 17001, Pouzdanoš dereguliranih distributivnih sistema, koji u okviru programa Tehnološkog razvoja finansira Ministarstvo nauke.

Rad je primljen u uredništvo 07. 07. 2008. godine



Vladica Mijailović je rođen 1966. godine u Kraljevu, gde je završio osnovnu i srednju školu. Na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu je diplomirao 1991. godine. Magistrirao je i doktorirao na istom fakultetu 1995. i 1999. godine, respektivno. Nakon diplomiranja zaposlio se na Tehničkom fakultetu u Čačku, gde je i sada zaposlen u zvanju vanredni profesor, na Katedri za industrijsku energetiku.

Kao autor ili koautor do sada je objavio 3 rada u vodećim međunarodnim časopisima, 4 rada u vodećem nacionalnom časopisu i 14 radova na domaćim konferencijama i savetovanjima. Koautor je jednog univerzitetskog udžbenika, jedne zbirke zadataka i dve monografije nacionalnog značaja. Učestvovao je na tri projekta finansirana od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine.

Dragan Vučković,
Miodrag Stojanović i Predrag D. Rančić

Ostvarljivi energetske efekti primene kompaktnih fluorescentnih svetlosnih izvora u osvetljenju domaćinstava

Stručni rad
UDK: 628.9.03; 535.371

Rezime:

U radu su predstavljene i analizirane podatke o upotrebi električne energije za osvetljenje domaćinstava. Izvršena su merenja na odabranom uzorku na teritoriji grada Niša, pri čemu su korišćeni, za ovu potrebu razvijeni, mali, jednostavni i jeftini merni uređaji. Uređaji su montirani u blizini svetlosnih izvora i u svoju internu memoriju beležili su vremena uključivanja/isključivanja svetlosnih izvora. Osim toga, u radu su prikazani i rezultati primene štedljivih električnih svetlosnih izvora za osvetljenje domaćinstava, dobijeni na osnovu ankete. Na osnovu podataka prikupljenih kroz anketu i eksperimente izvršena je procena mogućnosti uštede električne energije u domaćinstvima upotrebom štedljivih svetlosnih izvora.

Ključne reči: kompaktni fluorescentni svetlosni izvori, potrošnja domaćinstava

Abstract:

**POSSIBLE ENERGY EFFECTS OF USING COMPACT FLUORESCENT LAMPS
IN RESIDENTIAL LIGHTING**

Experimentally collected data of electricity consumption in residential lighting is presented and analyzed in this paper. Measurements were done in the City of Nis as a case study. Measurement devices for experimental evaluation of electricity consumed by the residential lighting have been developed. The devices were placed close to the light sources on each of the selected locations, in order to register times when the light sources are turned on and off. Additionally, the paper presents the data about the use of energy efficient lamps in residential lighting obtained from a questionnaire. Possible energy effects obtained by using compact fluorescent lamps in residential lighting are estimated based on the experimentally collected data, as well as on the data obtained from the questionnaire.

Key words: compact fluorescent lamps, residential electricity consumption

1. UVOD

Veštačko osvetljenje je prisutno u svakom domaćinstvu i predstavlja važan deo potrošnje električne energije u domaćinstvima. Energetski efikasno osvetljenje predstavlja jedan od ključnih faktora za uspešnu energetske strategiju. Mnogi ljudi nisu

svjesni da mnogi tipovi tradicionalnih električnih svetlosnih izvora (ESI) koje koriste, imaju veoma malu efikasnost i da korišćenjem izvora veće efikasnosti mogu uštedeti veliku količinu električne energije i novca. Imajući u vidu mogućnosti za uštedu energije, smanjenje zagađenja i sprečavanje klimatskih promena, mnogi projekti su realizovani u po-

Dragan Vučković, mr Miodrag Stojanović, prof. dr Predrag D. Rančić – Elektronski fakultet, 18 000 Niš, A. Medvedeva 14

slednjih petnaest godina [1–5]. Jedna od ovih studija je Domestic Efficient Lighting (DELIGHT) [1] koja objedinjuje podatke o osvetljenju domaćinstava iz čitave Evrope, sa fokusom na tri zemlje Evropske unije (EU): Nemačku, Švedsku i Veliku Britaniju. Pored analize potrošnje električne energije u domaćinstvima, ovo istraživanje ispituje mogućnost uštede električne energije zamenom standardnih sijalica (sijalice sa užarenim vlaknom sa balonom kruškastog oblika) kompaktnim fluorescentnim sijalicama (KFS). U studiji je procenjeno da se u Velikoj Britaniji do 2020 godine potrošnja energije za osvetljenje domaćinstava može smanjiti za 50 % (400 kWh godišnje po domaćinstvu), u Švedskoj procenjena ušteda iznosi 36 %, a u Nemačkoj 38 %.

U ovom radu najpre su izloženi podaci o stanju tehnike osvetljenja domaćinstava u svetu, a zatim su prikazani podaci o upotrebi električnih svetlosnih izvora za osvetljenje domaćinstava kod nas dobijeni anketom. Nakon toga u radu su prikazani podaci o vremenima uključenosti ESI na pojedinim lokacijama u domaćinstvu dobijeni merenjima. Na osnovu rezultata ankete i merenja obavljenih u domaćinstvima izvršena je procena prosečne uštede električne energije po domaćinstvu, kao i procena godišnje uštede električne energije na nivou republike, koja se može očekivati zamenom dve standardne sijalice kompaktnim fluorescentnim sijalicama u svakom domaćinstvu.

2. STANJE TEHNIKE OSVETLJENJA DOMAĆINSTAVA U SVETU I KOD NAS

Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (International Energy Agency – IEA), potrošnja električne energije za osvetljenje u razvijenim zemljama kreće se od 5 % do 15 %, dok u zemljama u razvoju taj procenat dostiže 86 %. Na osvetljenje otpada oko 19 % ukupne potrošnje električne energije u svetu. Takođe je procenjeno da se za osvetljenje u domaćinstvima u svetu u 2005. godini utrošilo oko 811 TWh električne energije, što predstavlja 31 % ukupne utrošene električne energije za osvetljenje, ili 20 % ukupne utrošene električne energije u domaćinstvima.

U domaćinstvima širom EU (EU-28) srednji broj ESI je 24 [1]. Najveći broj ESI su standardne sijalice, oko 70 %, a ostatak čine fluorescentne (cevnice ili KFS) i halogene sijalice. U EU-28 54 % domaćinstava ima najmanje jednu KFS. Broj KFS po domaćinstvu u zemljama članicama EU-15 kreće se od jedne u Finskoj i Grčkoj, do 6,5 u Nemačkoj. U novim zemljama članicama EU broj KFS po domaćinstvu je manji nego u EU-15 zemljama članicama, sa izuzetkom Republike Češke gde je prosečan broj

KFS po domaćinstvu 2,9. Glavna prepreka za korišćenje KFS je još uvek njihova visoka cena u poređenju sa cenom standardnih sijalica, iako npr. u Nemačkoj 96 % intervjuisanih potrošača je upoznato da KFS štede energiju, 86 % zna da KFS traju duže nego standardne sijalice i 69 % zna da KFS imaju kratak period povraćaja investicije. U EU-15 zemljama članicama, potrošnja električne energije za osvetljenje se kreće u opsegu između 8 % i 23 % od ukupne potrošnje električne energije u domaćinstvima (potrošnja električne energije za zagrevanje vode i životnog prostora nije obuhvaćena). Prosečna mesečna potrošnja po domaćinstvu u EU kreće se od 300 kWh (Portugalija) do 1 143 kWh (Švedska) [2], dok u Srbiji iznosi 400 kWh [6]. Veoma bitna prednost upotrebe KFS ogleda se i kroz zaštitu životne sredine, s obzirom da se uštedom električne energije smanjuje emisija štetnih gasova.

Na osnovu rezultata projekata realizovanih širom sveta donesene su različite strategije i mere u cilju povećanja broja KFS u domaćinstvima. Jedna od prvih strateških akcija na nivou EU je uvođenje obavezne energetske nalepnice na pakovanju sijalica sa vidno naznačenom klasom energetske efikasnosti. Bitna direktiva koja definiše ovu oblast je Commission Directive 98/11/EC koja je usvojena 1998, a stupila na snagu 1999. godine [7]. Direktiva definiše sedam klasa energetske efikasnosti (klase A, B, C, D, E, F i G) i daje metodologiju na osnovu koje se određuje kojoj klasi energetske efikasnosti pripada ESI. Klasi A pripadaju ESI najviše energetske efikasnosti, a klasi G izvori najniže energetske efikasnosti. KFS imaju visoku energetske efikasnost (uglavnom klasa A ili B), dok standardne sijalice imaju nisku energetske efikasnost (klasa F ili G), dok neke halogene sijalice imaju malo veću energetske efikasnost (klasa E).

Neke vlade razmatraju uvođenje strogih mera kako bi se povećao broj KFS u domaćinstvima ili se čak potpuno izbacile standardne sijalice iz upotrebe. Druge pak predlažu mere uvođenja posebnih stopa poreza [8–11]. U Australiji je objavljen plan da se izbacе standardne sijalice do 2010. godine [8]. Kanada takođe planira da počne sa izbacivanjem iz upotrebe standardne sijalice počev od 2012. godine. U februaru 2007. godine, vlada SAD i vodeće kompanije iz sveta biznisa otpočele su kampanju pod nazivom „18 sekundi” sa ciljem podizanja nivoa svesti o energetske efikasnim sijalicama kako bi se usporile globalne klimatske promene. Kampanja je nazvana „18 sekundi” s obzirom da je toliko vremena potrebno jednoj osobi da zameni sijalicu. U tu svrhu Yahoo je kreirao web sajt 18seconds.org. U Južnoj Africi vodeća energetska kompanija Eskom u februaru 2007. godine je otpočela program zamene stan-

dardnih sijalica sa KFS-a besplatno, sa ciljem da se smanji vršno opterećenje elektroenergetskog sistema. U Nemačkoj je u periodu od 19. do 23. marta 2007. godine OSRAM poklonio 250 000 KFS u saradnji sa Bild am Sonntag magazinom i Bauhaus tržišnim centrima. Elektroprivreda Srbije je u 2008. godini sprovela akciju podele 120 000 besplatnih KFS domaćinstvima koja redovno izmiruju račune za utrošenu električnu energije. U Velikoj Britaniji Udruženje kooperativnih preduzeća (The Union of UK's Co-operative Enterprises) odlučilo je da prestane sa prodajom standardnih sijalica u 50 odabranih radnji širom zemlje. Oni su takođe u promotivnom periodu smanjili cenu KFS u svojim radnjama kako bi one postale dostupnije korisnicima.

Ekonomska analiza pokazuje da je upotreba KFS u domaćinstvima opravdana [12]. Međutim, osim prednosti koje se dobijaju zamenom standardnih sijalica sa KFS sa integrisanim kontrolnim uređajem, postoje i određeni nedostaci [13,14]. KFS sa integrisanim kontrolnim uređajem imaju nizak faktor snage i imaju veliko prisustvo viših harmonika u struji. Ukupno harmonijsko izobličenje struje KFS sa integrisanim kontrolnim uređajima za različite nominalne snage izvora iznosi 95-130 % [13]. Smanjenjem napona smanjuje se i vrednost ukupnog harmonijskog izobličenja struje. U radu [14] izvršena je analiza uticaja viših harmonika struje koji su posledica korišćenja KFS na ukupno harmonijsko izobličenje napona niskonaponske mreže. Pri tome je pokazano da učešće KFS do 10 % ukupne snage napojnog transformatora ne unosi izobličenja koja bi prevazilazila granice određene standardom [15].

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE KOMPAKTNIH FLUORESCENTNIH IZVORA

Fluorescentne cevi (FC) prvi put su prezentovane 1934. i 1935. godine u laboratorijama Dženeral elektrika (General electric) u Klivlendu i Londonu i laboratoriji Osrama u Berlinu, a komercijalna proizvodnja počela je nekoliko godina kasnije [16]. Fluorescentne sijalice su nastale kao rezultat razvoja neonskih sijalica koje su uglavnom bile korišćene za

svetleće efekte i reklame. Iz tog razloga, FC su u narodu poznate kao neonke, a u literaturi su bile navođene kao živine sijalice niskog pritiska.

Pre nešto više od dvadeset godina proizvođači su počeli da nude KFS predviđene za rad sa eksternim kontrolnim uređajem i KFS sa integrisanim kontrolnim uređajem koje, za približno istu snagu, imaju značajno manje dimenzije od FC.

KFS se uglavnom izrađuju sa trifosfornim fluorescentnim slojevima (indeks reprodukcije boje $R_a=85$) mada, zbog postizanja bolje reprodukcije boja, neke KFS postoje i u varijanti sa multifosfornim slojevima.

Princip rada KFS ne razlikuje se od principa rada FC, ali razlike postoje u pogledu nekih karakteristika. Svetlosna iskoristivost KFS je manja od svetlosne iskoristivosti FC sa istom ili sličnom snagom i istim fluorescentnim slojem. U tabeli 1 [16] prikazani su uporedni pokazatelji svetlosne iskoristivosti trifosfornih KFS namenjenih za rad sa eksternim kontrolnim uređajem, FC/26 i FC/16 sa temperaturom boje od 4 000 K.

KFS sa integrisanim kontrolnim uređajem su prvenstveno namenjene za zamenu standardnih sijalica sa približno istim dimenzijama i nominalnim svetlosnim fluksom. Zbog ovoga su nominalne snage KFS sa integrisanim kontrolnim uređajem, a samim tim i njihovi fluksevi, odabrani tako da zamenjuju neku od standardnih sijalica. Nominalne snage KFS sa integrisanim kontrolnim uređajem koje se koriste u domaćinstvima kreću se u granicama od 3 do 23 W, a njihova svetlosna iskoristivost je, u zavisnosti od izrade i snage, do 70 lm/W [17]. Treba napomenuti da je najveći broj modela KFS, koji su danas u prodaji, sa elektronskim kontrolnim uređajem sa trenutnim startom i vekom trajanja od 6 000 do 15 000 h.

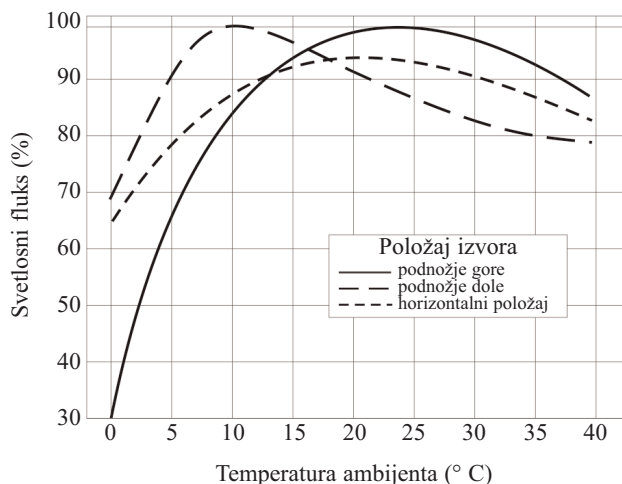
Kod KFS, pored temperature ambijenta, i položaj izvora pri radu utiče na izračeni fluks. Na slici 1 prikazana je zavisnost svetlosnog fluksa od temperature okoline i položaja izvora [18].

Svetlosni fluks KFS ne može se regulisati standardnim tiristorskim regulatorima namenjenim za standardne sijalice. Za regulaciju svetlosnog fluksa kod KFS sa eksternim kontrolnim uređajem koriste se odgovarajuća elektronska kola.

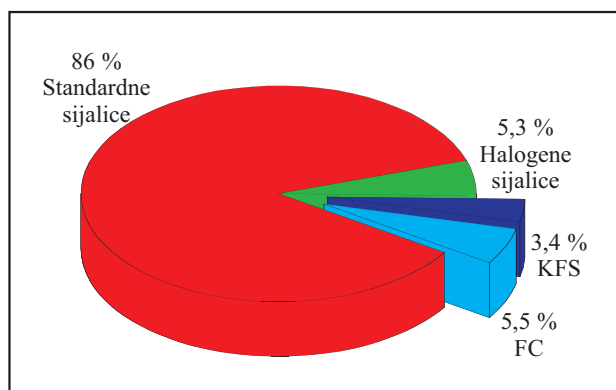
Tabela 1.

Svetlosna iskoristivost nekih KFS/840, FC/26/840 i FC/16/840

KFS/840			FC/26/840			FC/16/840		
P (W)	Φ (lm)	ξ (lm/W)	P (W)	Φ (lm)	ξ (lm/W)	P (W)	Φ (lm)	ξ (lm/W)
18	1 200	66,7	18	1 350	75,0	14	1 350	96,4
36	2 900	80,6	36	3 350	93,1	35	3 650	104,3
55	4 800	87,3	58	5 200	89,7	49	4 900	100,0

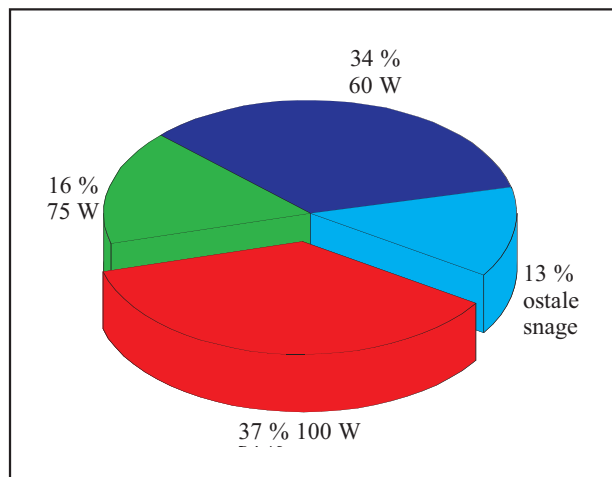


Slika 1. Promena svetlosnog fluksa u zavisnosti od temperature okoline i položaja prilikom rada



Slika 2. Procentualno učešće različitih tipova ESI

Svetlosni fluks KFS na kraju životnog veka kreće se u granicama 0,68-0,76 nominalnog svetlosnog fluksa, što je znatno niže nego kod standardnih sijalica gde iznosi 0,9. Zbog toga, imajući u vidu ceo životni vek ESI, standardne sijalice snage 100 W potrebno je zameniti sa KFS snage 23 W [13].



Slika 3. Upotreba ESI različitih nominalnih snaga

4. REZULTATI ANKETE

U cilju prikupljanja podataka za analizu korišćenja KFS za osvetljenje u domaćinstvima pripremljena je anketa [19, 20], koja je sprovedena na teritoriji grada Niša kao uzorku (gradska i prigradska oblast). Tabela 2 prikazuje rezultate sprovedene ankete.

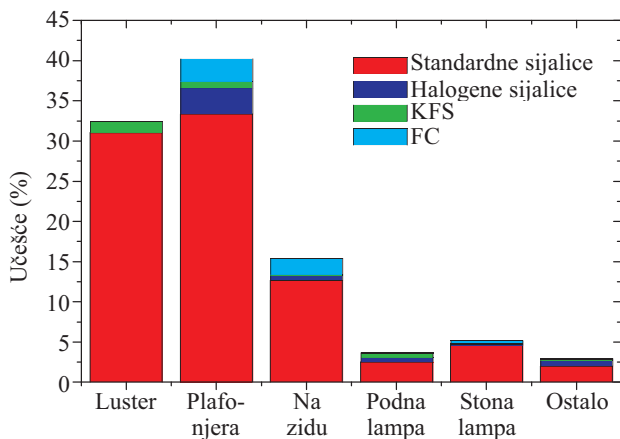
Kao što se može videti iz rezultata ankete prikazanih u tabeli 2, broj svetiljki po stambenoj jedinici iznosi 9,9, dok je broj ESI po stambenoj jedinici 14,1. Nominalna instalisana snaga ESI po stambenoj jedinici iznosi 1023 W, odnosno 15,3 W/m². Iz tabele 2 se takođe vidi da je prosečan broj KFS po stambenoj jedinici 0,44.

Slika 2 pokazuje da 91,3 % svih ESI u domaćinstvima čine sijalice sa užarenim vlaknom, pri čemu su 86 % standardne sijalice, dok su fluorescentni ESI zastupljeni sa 8,9 % (KFS učestvuju sa 3,4 %). Kada se posmatra učešće pojedinih tipova izvora u instalisanoj snazi ESI u domaćinstvima, pokazuje se da sijalice sa užarenim vlaknom učestvuju sa 95 %, dok je učešće fluorescentnih samo 5 %.

Tabela 2.

Rezultati ankete sprovedene na teritoriji grada Niša

Opis	Podaci
Broj stanara po domaćinstvu	3,2
Srednja površina stambene jedinice	67 m ²
Potrošnja električne energije po domaćinstvu u zimskom periodu	776 kWh
Potrošnja električne energije po domaćinstvu u letnjem periodu	501 kWh
Broj svetiljki po domaćinstvu	9,9
Broj ESI po domaćinstvu	14,1
Nominalna instalisana snaga ESI po domaćinstvu	1 023 W
Nominalna instalisana snaga ESI po m ²	15,3 W/m ²
Broj KFS po domaćinstvu u odnosu na ukupan broj domaćinstava	0,44
Broj KFS po domaćinstvu u odnosu na ona koja poseduju KFS	2,33

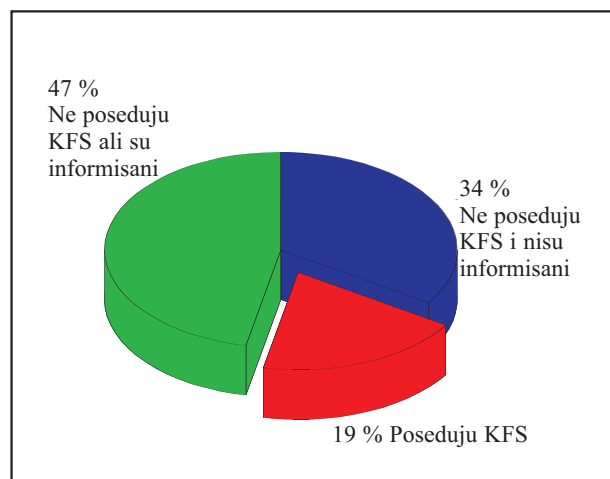


Slika 4. Upotreba različitih tipova ESI u pojedinim svjetilkama

Na slici 3 prikazano je učešće ESI različitih nominalnih snaga za osvetljenje domaćinstava. Najčešće korišćene snage ESI su 100 W i 60 W. Standardne sijalice su dominantne na svim lokacijama, što se može videti na slici 4. Na istoj slici se može videti da se KFS najčešće koriste u lusterima, dok se fluorescentne cevi najčešće montiraju na plafonu i zidovima.

Kao što je prikazano na slici 5, procenat domaćinstava koja imaju najmanje jednu KFS je 19 %, što je značajno manje nego u EU (54 %). Domaćinstva koja ih poseduju imaju u proseku dve ili tri KFS (četiri do pet u EU).

Razlozi za korišćenje KFS su: 60 % domaćinstava navodi uštedu energije, 27 % kvalitet osvetlje-



Slika 5. Upotreba energetski efikasnih ESI

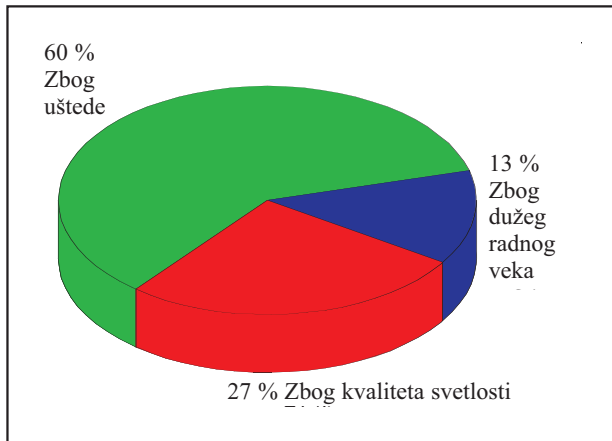
nja (KFS sa temperaturom od 2 700 K se najčešće koriste), a 13 % dug životni vek, što se može videti na slici 6. Jedan od najvažnijih parametara, pored ekonomskog, koji utiče na primenu KFS je njihovo prisustvo na tržištu.

Navike potrošača da nabavljaju ESI u supermarketima, specijalizovanim prodavnicama ili obližnjim prodavnicama mešovite robe su takođe obuhvaćene anketom (slika 7). KFS se mogu kupiti u supermarketima (3 od 4 najvećih supermarketa u Nišu prodaju KFS) i prodavnicama specijalizovanim za prodaju ESI i svjetiljki. Supermarketi uglavnom prodaju KFS sa životnim vekom od 5 000 do 8 000 h. Cena KFS u supermarketima je 15-20 puta veća od cene

Tabela 3.

Primena različitih tipova ESI, uzimajući u obzir njihov broj i snagu, u procentima

Lokacija	Snaga (W)	Sijalice sa užarenim vlaknom				Fluorescentni izvori			
		Standardne (%)		Halogene (%)		KFS (%)		FC (%)	
		Broj	Snaga	Broj	Snaga	Broj	Snaga	Broj	Snaga
Dnevna soba	201,4	82,4	86,2	7,9	9,9	6,5	1,9	3,2	2,0
Kuhinja	126,8	79,1	88,3	13,9	8,3	0,8	0,2	6,2	3,2
Trpezarija	102,8	86,4	95,4	0,0		9,1	2,3	4,5	2,3
Spavaća soba	144,4	86,8	93,6	5,5	3,3	3,6	0,8	4,1	2,2
Dečija soba	143,8	87,1	91,6	5,7	4,0	1,5	0,2	5,7	4,2
Hodnik	90,9	92,3	97,4	1,9	1,1	4,8	1,3	1,0	0,2
Kupatilo	96,6	84,2	90,6	5,9	3,1	0,0		9,9	6,3
Balkon	99,7	97,5	98,2	0,0		0,0		2,5	1,7
Pomoćne prostorije	119,6	70,0	83,3	0,0		0,0		30,0	16,7
Veranda	88,4	100		0,0		0,0		0,0	
Stepenište	118,6	100		0,0		0,0		0,0	
Dvorište	133,2	100		0,0		0,0		0,0	
Kupatilo	87,3	100		0,0		0,0		0,0	
Podrum	221,2	100		0,0		0,0		0,0	
Ostalo		72,2	85,2	0,0		3,7	1,8	24,1	13,0
Ukupno		86,1	92,1	5,3	4,1	3,1	0,8	5,5	3,0



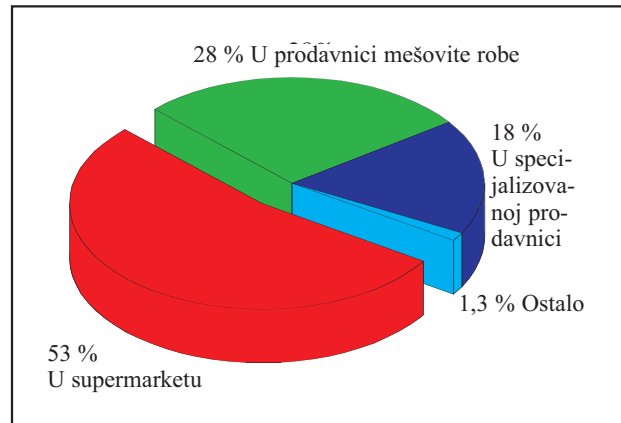
Slika 6. Razlozi korišćenja KFS

standardnih sijalica. Pored toga, broj specijalizovanih prodavnica svetlosnih izvora je veoma mali i to je razlog što samo 17,7 % potrošača kupuje ESI kod njih. Obližnje prodavnice mešovite robe u kojima ESI kupuje 28 % potrošača, u svom asortimanu imaju jedino standardne sijalice.

Upotreba različitih tipova ESI, uzimajući u obzir njihov broj i snagu, u različitim prostorijama prikazana je u tabeli 3. Iz ove tabele se može videti da se KFS najčešće koriste u dnevnim sobama i trpezarijama. Najveća instalisana snaga ESI je u dnevnim sobama i podrumima objekata individualne gradnje, a prate ih spavaće i dečije sobe.

5. EKSPERIMENTALNO MERENJE KORIŠĆENJA SVETLOSNIH IZVORA

U cilju procene potrošnje električne energije za osvetljenje u domaćinstvima konstruisani su mali, jednostavni i jeftini merni uređaji [21,22]. Merni uređaj, prikazan na slici 8 sastoji se od mikrokontrolera



Slika 7. Navike potrošača kod kupovine ESI

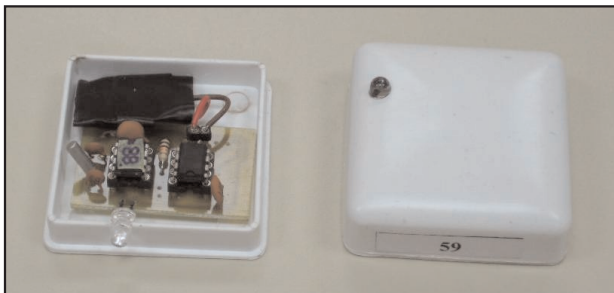
PIA12F675-I/P, eproma 24LC128 I/P, baterije CR2032, foto-tranzistora LTR-4206, kvarcnog oscilatora 32,768 kHz, otpornika i kondenzatora. Odbran je foto-tranzistor sa relativnom osetljivošću prikazanom na slici 9 sa ciljem da se prikupe tačni podaci o vremenima uključivanja i isključivanja ESI i spreče pogrešna merenja usled prisustva dnevne svetlosti. Merni uređaji su postavljeni u neposrednoj blizini ESI, kako bi se dodatno sprečilo neželjeno aktiviranje uređaja usled prisustva dnevne svetlosti. Osetljivost svakog uređaja je testirana pre njegove instalacije i korigovana izborom odgovarajućih otpornika. Primeri postavljanja mernog uređaja prikazani su na slici 10.

Merenja su izvršena u domaćinstvima lociranim na području gradskog jezgra grada Niša na ukupno 51 mernom mestu. Merni uređaji su vršili prikupljanje podataka u periodu između maja i avgusta, odnosno u periodu kada je prisustvo dnevne svetlosti najveće, što treba uzeti u obzir pri analizi rezultata.

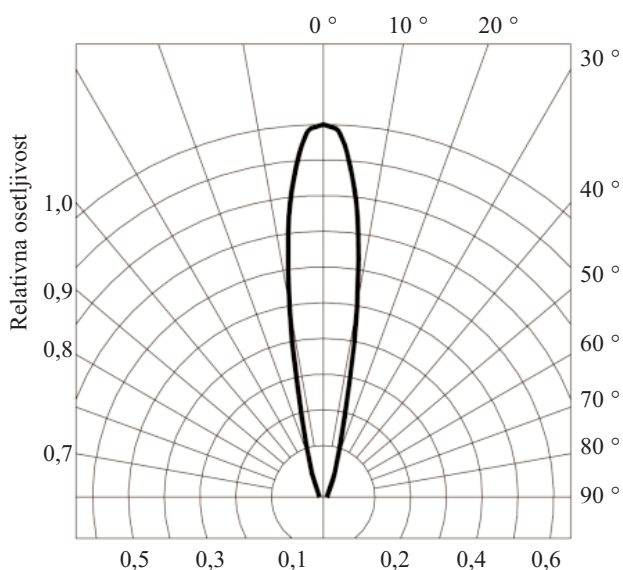
Tabela 4.

Broj svetiljki sa tipom ESI i snagom po lokaciji

Lokacija	Broj	Standardne		KFS		Halogene	
		Broj	P (W)	Broj	P (W)	Broj	P (W)
Dnevna soba I – plafon	4	4	112				
Dnevna soba I – dodatna lampa	4	2	58 (40-75)	1	24	1	100
Dnevna soba II	2	2	160				
Spavaća soba – garderoba	5	4	74 (50-100)			1	50
Dečija soba	5	5	128 (40-200)				
Kuhinja	7	6	105 (75-150)	1	20		
Trpezarija	5	2	180 (180)	3	21		
Kupatilo	6	6	85 (60-100)				
Toalet – WC	3	3	83 (75-100)				
Predsooblje	8	8	89 (40-120)				
Ostava	1	1	75				
Stepenište	1	1	60				



Slika 8. Merni uređaj



Slika 9. Dijagram relativne osjetljivosti foto-tranzistora

Tokom perioda merenja Sunce je izlazilo između 4:52 i 5:22, dok je zalazilo između 19:55 i 20:17.

Merni uređaji su postavljeni u dnevnim sobama, spavaćim sobama, kupatilima, dečijim sobama, toaletima, kuhinjama i hodnicima.

U dnevnim sobama razmatrana su dva slučaja:
I Kada pored opšteg osvetljenja (svetiljke na plafonu) postoji i dodatno osvetljenje (stone ili samostojeće lampe)

II Kada postoji samo opšte osvetljenje.

Ukupan broj svetiljki na kojima je vršeno prikupljanje podataka i broj različitih ESI za svaku lokaciju prikazani su u tabeli 4. Tabela 4 takođe sadrži srednje nominalne snage ESI po lokaciji za svaki tip ESI, kao i opseg u kome se nalaze nominalne snage.

Dnevni broj operacija uključivanja i isključivanja i dnevno trajanje uključenosti za svaki ESI i za svaku lokaciju prikazani su u tabeli 5. Tabela 6 pokazuje opseg dnevnog radnog vremena i odgovarajući broj lokacija za svaki opseg.

Srednja instalirana snaga svih ESI iznosila je 740 W po domaćinstvu. Merači vremena uključenosti bili su postavljeni na ESI prosečne snage 671 W po domaćinstvu što čini 90,7 % prosečne ukupne instalirane snage (merenja obavljena na lokacijama koje čine 9,3 % nisu bila validna). Tokom perioda maksimalnog opterećenja (period između 20 h i 22 h) srednja snaga koja se koristi za osvetljenje iznosila je 140 W (105 W-187 W), što je oko 20,8 % instalirane snage ESI-a na kojima je izvršeno merenje. Srednja potrošnja električne energije domaćinstava



Slika 10. Primeri postavljanja mernih uređaja

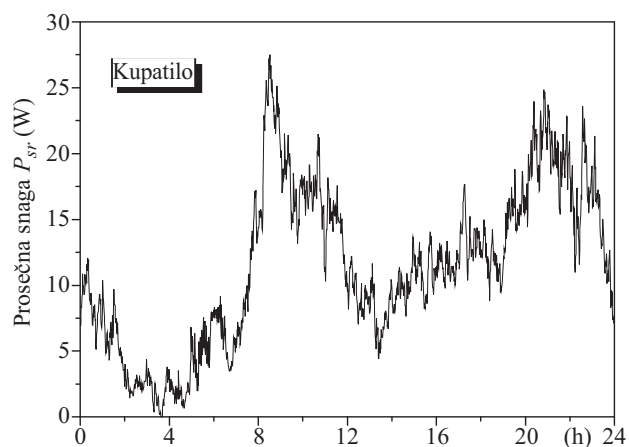
Tabela 5.

Broj uključivanja i isključivanja i dnevno vreme rada ESI

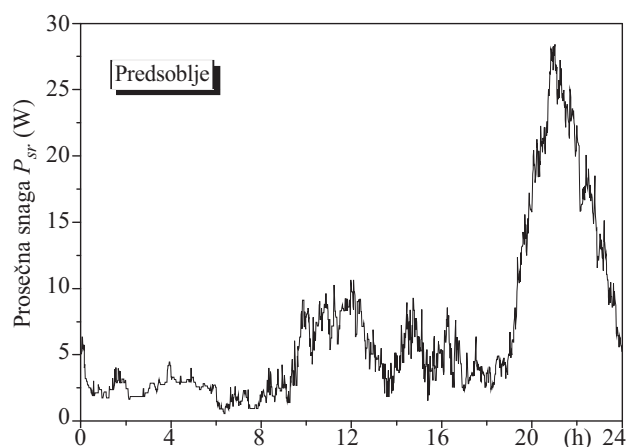
Lokacija	Broj uključivanja/isključivanja u toku dana		Trajanje uključivanja u toku dana sat: minut	
	Opseg	Srednja vrednost	Opseg	Srednja vrednost
Dnevna soba I – plafon	0,5 – 3,8	1,9	0:30 – 0:55	0:37
Dnevna soba I – dodatna lampa	0,6 – 4,2	1,7	0:20 – 2:55	1:50
Dnevna soba II	2,1 – 2,6	2,4	3:30 – 4:10	4:00
Spavaća soba – garderoba	2,2 – 5,8	3,6	0:22 – 1:30	0:43
Dečija soba	0,7 – 6,7	3,2	0:20 – 3:20	1:10
Kuhinja	2,7 – 7,7	4,4	0:30 – 0:54	2:10
Trpezarija	0,7 – 2,6	1,7	1:10 – 1:40	1:20
Kupatilo	12 – 19,3	15,3	1:25 – 5:50	3:10
Toalet – WC	6 – 10,7	7,7	0:40 – 3:30	1:37
Predsooblje	1,6 – 11,4	4,8	0:30 – 6:00	2:00
Ostava		1,1		0:04
Stepenište		4,8		3:23

Broj mernih lokacija po srednjem vremenu rada ESI u toku dana

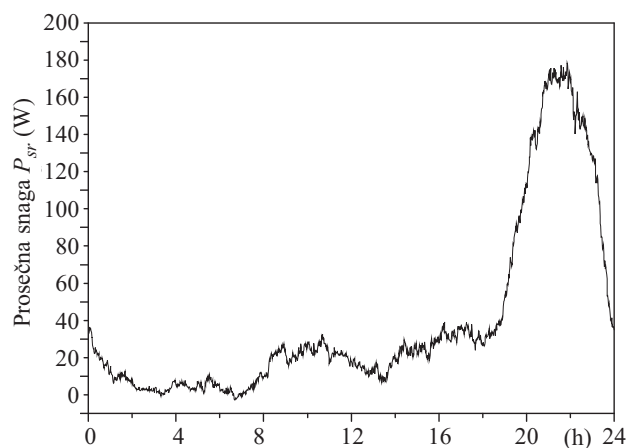
Trajanje	< 1 h	1 h – 2 h	2 h – 3 h	3 h – 4 h	4 h – 5 h	> 5 h
Broj mernih mesta	19	15	6	7	1	3



Slika 11. Dnevni dijagram srednje angažovane snage ESI u kupatilu na uzorku



Slika 12. Dnevni dijagram srednje angažovane snage ESI u predsoblju



Slika 13. Dnevni dijagram srednje angažovane snage ESI po stambenoj jedinici

obuhvaćenih u analizi iznosila je 478 kWh mesečno za posmatrani period, a srednja mesečna potrošnja električne energije ESI na kojima je vršeno merenje iznosila je 35 kWh. S obzirom da su merenja vršena na ESI čija snaga čini prosečno 90,7 % ukupne instalisane snage osvetljenja, ukupna potrošnja električne energije domaćinstava na osvetljenje može se proceniti na 38,4 kWh mesečno, a srednja snaga po domaćinstvu u periodu maksimalnog opterećenja na 154 W.

Kao što se može videti iz tabele 5, najveći broj operacija uključivanja i isključivanja je zabeležen u kupatilima i toaletima, dok je najduže srednje dnevno radno vreme zabeleženo u dnevnim sobama, kupatilima, kuhinjama i predsobljima. Na slikama 11 i 12 prikazani su dnevni dijagrami srednje angažovane snage osvetljenja u kupatilu i predsoblju, respektivno. Dugo radno vreme u hodnicima i kupatilima je posledica malog prisustva dnevne svetlosti u ovim prostorijama. Dnevni dijagram srednje angažovane snage osvetljenja po stambenoj jedinici prikazan je na slici 13.

Od pedeset jedne svetiljke koje su obuhvaćene merenjima, njih 4 je dnevno radilo duže od 4 sata, dok je na 7 mesta to vreme iznosilo između 3 i 4 sata.

Na osnovu dobijenih podataka, potrošnja električne energije za osvetljenje domaćinstva je 8,1 % ukupne potrošnje električne energije u domaćinstvu, koja je na uzorku prosečno iznosila 478 kWh mesečno. Ovaj procenat je manji u odnosu na zemlje EU, ali veliko prisustvo dnevne svetlosti tokom perioda merenja treba uvažiti.

6. PROCENA ENERGETSKIH EFEKATA

Imajući u vidu rezultate ankete, kao i rezultate merenja koja su izvršena u domaćinstvima može se izvršiti procena energetskih efekata koji se postižu zamenom standardnih sijalica KFS. Na uzorku na kome su obavljena merenja prosečna instalisana snaga ESI iznosila je $P_{ins}^w = 740$ W, prosečna mesečna potrošnja električne energije u periodu kada su vršena merenja iznosila je $W_{mes}^m = 478$ kWh, a prosečna godišnja potrošnja energije ovih potrošača iznosi $W_{god}^m = 6\ 180$ kWh. Mesečna potrošnja električne energije za osvetljenje domaćinstava na posmatranom uzorku u periodu merenja iznosila je $W_{mes\ osv}^m = 38,4$ kWh, a prosečna angažovana snaga

za osvetljenje domaćinstava u periodu između 20 i 22 časa $P_{20-22\text{ osv}}^m = 154\text{ W}$, pa se ukupna godišnja potrošnja za osvetljenje domaćinstava na uzorku može proceniti kao $W_{\text{god osv}}^m = W_{\text{mes osv}}^m W_{\text{god}}^m / W_{\text{mes}}^m$, što iznosi $W_{\text{god osv}}^m = 496,5\text{ kWh}$.

Na uzorku na kome je obavljena anketa prosečna instalisana snaga ESI iznosila je $P_{\text{ins}}^a = 1\,023\text{ W}$, a prosečna godišnja potrošnja energije $W_{\text{god}}^a \approx 7\,400\text{ kWh}$, dok prema statističkim podacima srednja godišnja potrošnja električne energije po domaćinstvu na nivou republike iznosi $W_{\text{god}}^{\text{st}} \approx 4\,800\text{ kWh}$. Instalirana snaga ESI po domaćinstvu, imajući u vidu statističke podatke o prosečnoj potrošnji električne energije i rezultate ankete, može se proceniti kao $P_{\text{ins}}^{\text{proc}} = P_{\text{ins}}^a W_{\text{god}}^{\text{st}} / W_{\text{god}}^m$, što daje vrednost $P_{\text{ins}}^{\text{proc}} = 663,5\text{ W}$. Angažovana snaga ESI po domaćinstvu u periodu između 20 i 22 časa može se proceniti na osnovu podataka o uzorku na kome su obavljena merenja kao $P_{20-22\text{ osv}}^{\text{proc}} = P_{20-22\text{ osv}}^m W_{\text{god}}^{\text{st}} / W_{\text{god}}^m$. Na ovaj način dolazi se do procenjene angažovane snage u periodu maksimalnog opterećenja EES od $P_{20-22\text{ osv}}^{\text{proc}} = 119,6\text{ W}$. Godišnja potrošnja električne energije za osvetljenje po domaćinstvu na sličan način može da se proceni na $W_{\text{god osv}}^{\text{proc}} = W_{\text{god osv}}^m W_{\text{god}}^{\text{st}} / W_{\text{god}}^m$, što daje vrednost $W_{\text{god osv}}^{\text{proc}} = 385,6\text{ kWh}$.

Uzimajući u obzir navike potrošača da koriste uglavnom KFS snage 20 W, ukoliko bi se u svakom domaćinstvu po dve standardne sijalice nominalne snage 100 W zamenile KFS nominalne snage 20 W, ukupna instalirana snaga ESI smanjila bi se za $\Delta P_{\text{ins}}^{\text{proc}} = 160\text{ W}$. Ukoliko se zamena izvrši proizvoljnim izborom lokacija, može se očekivati smanjenje utrošene električne energije na osvetljenje kao i smanjenje angažovane snage u periodu između 20 i 22 časa u istom procentu u kome je došlo do smanjenja instalirane snage. Prema tome, smanjenje potrošnje električne energije za osvetljenje po domaćinstvu može se proceniti kao $\Delta W_{\text{god osv}}^{\text{proc}} = W_{\text{god osv}}^{\text{proc}} \Delta P_{\text{ins}}^{\text{proc}} / P_{\text{ins}}^{\text{proc}}$ odakle se dobija $\Delta W_{\text{god osv}}^{\text{proc}} = 93\text{ kWh}$. Na isti način smanjenje angažovane snage po domaćinstvu u periodu između 20 i 22 časa može se proceniti na $\Delta P_{20-22\text{ osv}}^{\text{proc}} = 28,8\text{ W}$, primenom izraza $\Delta P_{20-22\text{ osv}}^{\text{proc}} = P_{20-22\text{ osv}}^{\text{proc}} \Delta P_{\text{ins}}^{\text{proc}} / P_{\text{ins}}^{\text{proc}}$.

Uzimajući da Republika Srbija ima $n_{\text{dom}}^{\text{st}} = 2,6$ miliona domaćinstava [23], dolazi se do procene da je godišnja ušteda električne energije na republičkom nivou, koja se može postići zamenom dve standardne sijalice sa KFS $\Delta W_{\text{god osv}}^{\text{proc}} = 235 \div 250\text{ GWh/godina}$, dok se smanjenje vršne snage elektroenergetskog sistema može proceniti na $\Delta P_{20-25\text{ osv}}^{\text{proc}} = 70 \div 80\text{ MW}$.

Pravilnim izborom lokacija na kojima će biti obavljena zamena ESI može se postići znatno veća ušteda električne energije, kao i veće smanjenje angažovane snage za osvetljenje domaćinstava u peri-

odu maksimalnog dnevnog opterećenja elektroenergetskog sistema.

7. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati ankete o korišćenju ESI za osvetljenje domaćinstava, kao i rezultati merenja vremena uključenosti ESI koja su obavljena na odabranom uzorku.

Anketa je pokazala da je učešće energetske neefikasnosti svetlosnih izvora za osvetljenje domaćinstava izuzetno veliko, dok je procenat domaćinstava koja koriste kompaktne fluorescentne izvore znatno manji nego u zemljama EU.

Na osnovu rezultata ankete i rezultata prikupljenih merenjima izvršena je procena mogućnosti uštede električne energije koja se može očekivati zamenom dve standardne sijalice kompaktnim fluorescentnim izvorima. Osim uštede električne energije, izvršena je procena mogućeg smanjenja maksimalnog opterećenja elektroenergetskog sistema.

ZAHVALNOST: Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

8. LITERATURA

- [1] Environmental Change Unit: Domestic Efficient Lighting (DELIGHT), Final report, Energy and Environment Programme, University of Oxford, UK, 1998.
- [2] F. Pop, D. Beu, C. Calin, PROMOTING ACTIONS FOR LIGHTING ENERGY EFFICIENCY AND SAVING IN RESIDENTIAL BUILDINGS IN ROMANIA, EEDAL '06 21-23 Jun 2006, pp. 1347-1357, London, UK.
- [3] P. Bertoldi, B. Atanasiu, RESIDENTIAL LIGHTING CONSUMPTION AND SAVING POTENTIAL IN THE ENLARGED EU, EEDAL '06 21-23 Jun 2006, p.p. EU 545-560, London, UK.
- [4] P. Waide, RESIDENTIAL LIGHTING ENERGY USE: AN IN-DEPTH GLOBAL ASSESSMENT OF LIGHTING SERVICE, ENERGY CONSUMPTION, SAVINGS POTENTIALS, POLICIES AND IMPACTS, EEDAL '06 21-23. jun 2006, pp. 657-671, London, UK.
- [5] K. Verdun, ENERGY EFFICIENT LIGHTING – LAMPS AND LUMINAIRES IN THE UK DOMESTIC MARKET PLACE, EEDAL '06 21-23 June 2006, pp. 825-829, London, UK.
- [6] Prosečna potrošnja električne energije, Javno preduzeće „Elektroprivreda Srbije”, dostupno na <http://www.eps.co.yu/slike/onama/prosecnapotrošnja.gif>

- [7] European Commission. Commission Directive 98/11/EC of 27 January 1998 implementing, Council Directive 92/75/EEC with regard to energy labelling of household lamps, Official Journal L71, 10.03.1998, pp. 01-08.
- [8] AGO Greenlight Australia, A STRATEGY FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF LIGHTING IN AUSTRALIA 2005-2015 AUSTRALIAN GREENHOUSE OFFICE, ISBN 1 920840 85 0, Canberra.
- [9] K. Verdun, ENERGY EFFICIENT LIGHTING INITIATIVES IN THE UK. Proc. of the 4th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL'06), London, P. Bertoldi Ed.
- [10] K. Tiedemann, IMPACTS OF THE EFFICIENT LIGHTING INITIATIVE: AN ECONOMETRIC ANALYSIS OF LIGHTING MARKET TRANSFORMATION PROGRAMS, EEDAL ž'6 21-23 June 2006, pp. 859-867, London, UK.
- [11] B. Vincent, P. Bertoldi, THE EUROPEAN QUALITY CHARTER FOR COMPACT FLUORESCENT LAMPS, Proc. of the 3rd International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL'03), Turin, P. Bertoldi Ed.
- [12] F. V. Topalis, M. B. Kostić, Z. R. Radaković, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE USE OF COMPACT FLUORESCENT LAMPS WITH ELECTRONIC CONTROL GEAR, Lighting Res. Technol. 34 (4), 2002, pp. 279-288.
- [13] I. F. Gonos, M. B. Kostić, F. V. Topalis, HARMONIC DISTORTION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS INTRODUCED BY COMPACT FLUORESCENT LAMPS, IEEE Power Tech '99 Conference. Sept. 1999, Budapest, Hungary.
- [14] Z. R. Radaković, F. V. Topalis, M. B. Kostić, THE VOLTAGE DISTORTION IN LOW-VOLTAGE NETWORKS CAUSED BY COMPACT FLUORESCENT LAMPS WITH ELECTRONIC GEAR, Electric Power Systems Research 73, 2005, pp. 129-136.
- [15] IEC/TR3 61000-3-6, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication, 1st ed., 1996, p.10.
- [16] R. Taleski, D. Raičić, VOVED VO SVETLOTEHNIKATA, Skopje, 2006.
- [17] M. Kostić, VODIČ KROZ SVET TEHNIKE OSVETLJENJA, Beograd, 2000.
- [18] M. S. Rea, ed. THE IESNA LIGHTING HANDBOOK, 9th edition, New York, 2000.
- [19] D. Vučković, M. Stojanović, M. Božić, P. D. Rančić, ANALYSIS OF COMPACT FLUORESCENT LIGHT BULBS (CFLs) USAGE FOR DOMESTIC LIGHTING IN SERBIA, Proc. of 8th Int. Forum Lux Junior 2007, CD-Paper, September 2007, Ilmenau, pp. 1-6.
- [20] D. Vučković, M. Stojanović, M. Božić, P. D. Rančić, ANALIZA PRIMENE KOMPAKTNIH FLUORESCENTNIH SIJALICA U DOMAĆINSTVIMA, Osvetljenje 2007.
- [21] D. Vučković, M. Stojanović, M. Božić, P. D. Rančić, RESIDENTIAL LIGHTING CONSUMPTION AND SAVING POTENTIAL IN SERBIA, Proc. of Balkan Light 2008, October 2008, Ljubljana, pp. 279-286.
- [22] D. Vučković, M. Stojanović, M. Božić, P. D. Rančić, ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION FOR DOMESTIC LIGHTING, Proc. of 8th Int. Forum Lux Junior 2007, CD-Paper, September 2007, Ilmenau, pp. 1-5.
- [23] Republički zavod za statistiku Srbije, Anketa o potrošnji domaćinstava, dostupno na: <http://webrzs.statserb.sr.gov.yu/axd/osn.htm?#sa>

Rad je primljen u uredništvo 24. 11. 2008. godine



Dragan Vučković (1969) diplomirao je na Elektronskom fakultetu u Nišu 1996. godine. Zaposlen je na Elektronskom fakultetu u Nišu u zvanju asistent pripravnik. Oblasti njegovog interesovanja su svetlotehnika, električne instalacije niskog napona, gromobranska zaštita, uzemljivački sistemi i energetska efikasnost.



Miodrag Stojanović (1972) diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 1996. godine, a magistrirao na Elektronskom fakultetu u Nišu 2003. godine. Zaposlen je na Elektronskom fakultetu u Nišu u zvanju asistent. Oblast njegovog interesovanja je analiza i zaštita prenosnih i distributivnih sistema.



Predrag D. Rančić rođen je u Leskovcu 1947. godine. Na Elektronskom fakultetu u Nišu diplomirao je 1972, magistrirao 1977, a doktorirao 1983. godine.

Redovan je profesor na Katedri za energetiku Elektronskog fakulteta u Nišu, čiji je osnivač, a dugi niz godina obavljao je funkciju šefa Katedre.

Profesor Rančić je član IEEE, dopisni član IESNA, individualni član CIE, član DOS-a (Srpsko društvo za osvetljenje) i član predsedništva ETRAN-a. Oblasti njegovog interesovanja su elektromagnetno polje u prisustvu nehomogene sredine (antene, vodovi, uzemljenje i dr.) i njegovo analitičko i numeričko modelovanje, kao i analitičko i numeričko modelovanje karakteristika svetlosnog polja. Njegova praktična istraživanja obuhvataju oblasti osvetljenja, električnih instalacija niskog napona, kablovskih distributivnih sistema (RA, TV, CATV i SATV). Autor je velikog broja realizovanih sistema u ovim oblastima.

Dardan Klimenta, Viktor Kuč i Jordan Radosavljević

Specifični kvarovi kod podzemnih kablovskih vodova u blizini visokog rastinja

Stručni rad
UDK: 621.315.23

Rezime:

U ovom radu su predstavljene mogućnosti nastanka kvarova kod podzemnih kablovskih vodova usled radova na uklanjanju korenja okolnog visokog rastinja i ukazano je na potrebu da se tehnički propisi koji se trenutno koriste u Republici Srbiji i Crnoj Gori moraju dopuniti regulativama koje bi propisale načine polaganja kablova u blizini visokog rastinja. Razmatrana problematika je ilustrovana na autentičnom primeru kvara koji se dogodio 14. novembra 2007. godine na podzemnom 0,4 kV-om kablovskom vodu instaliranom u Bijelom Polju u Crnoj Gori. Simulacija nelinearne tranzijentne raspodele temperaturnog polja izvršena je pomoću softvera baziranog na metodi konačnih elemenata.

Ključne reči: kablovski vod, korenje visokog rastinja, kvar, metoda konačnih elemenata, nelinearna tranzijentna analiza, tehničke preporuke, termički aspekti

Abstract:

SPECIFIC FAILURES ON UNDERGROUND POWER CABLES LAID NEAR HIGH VEGETATION

Possibilities of failure occurrence in underground power cables due to removal of surrounding tree roots are presented in this paper. This paper also points out the need that regulations which are currently in use in the Republic of Serbia and in the Montenegro must be supplemented by additional technical reports prescribing procedures for power cable laying near high vegetation. The considered problem is illustrated by an authentic example of failure that occurred on November 14, 2007 on an underground 0.4 kV cable line installed in the city of Bijelo Polje, Montenegro. Simulation of nonlinear transient temperature field distribution is performed by a software tool based on finite element method.

Key words: failure, finite element method, nonlinear transient analysis, technical reports, thermic aspects, tree roots, power cable line

Doc. dr Dardan Klimenta, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, Kneza Miloša 7, 38 220 Kosovska Mitrovica, e-mail: dklimenta@hotmail.com

Dipl. ing. Viktor Kuč, A. D. Krisma Milk, Industrijska bb, 84 000 Bijelo Polje, Crna Gora, e-mail: kucviktor@yahoo.com

Ass. mr Jordan Radosavljević, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, Kneza Miloša 7, 38 220 Kosovska Mitrovica, e-mail: radjor73@yahoo.com

1. UVOD

Pojedina poglavlja kablovske tehnike postaju interesantna tek onda kada se u distributivnoj mreži ili u nekom od industrijskih ili elektroenergetskih postrojenja dogodi kvar. Tako je ovom prilikom u prvi plan izbio međusobni odnos podzemnih energetskih kablova i korenja visokog rastinja. U odsustvu domaćih propisa koji bi uredili ovu problematiku, bilo je pitanje vremena kada će se na nekom podzemnom kablovskom vodu dogoditi kvar izazvan dejstvom korenja. Kvar te vrste dogodio se 14. novembra 2007. godine na podzemnom 0,4 kV-nom kablovskom vodu koji povezuje transformatorsku stanicu 10/0,4 kV/kV „Bjelasica” i industrijsko postrojenje za proizvodnju mleka i mlečnih proizvoda A. D. Krisma Milk – Bijelo Polje u Crnoj Gori.

Uticao vegetacije na podzemne energetske kablove do sada nije značajnije diskutovan u domaćim i inostranim naučno-tehničkim krugovima. Ukoliko se to i događalo pokušaji su se svodili na merenje i izračunavanje specifičnog toplotnog otpora zemljišta duž kablovske trase radi konstatacije isušivanja zemljišta u blizini visokog rastinja [1,2].

Veliki broj IEEE publikacija kao što je [3] bavi se raspodelom temperaturnog polja i kretanjem vlage u okolini podzemnih kablovskih vodova ali ne i problematikom polaganja kablova u blizini visokog rastinja. IEC standardi koji propisuju postupke izračunavanja strujnih opterećenja kablova za različite uslove polaganja kablova takođe ne dotiču ovu problematiku [4–6].

Propisi EPS-a takođe ne regulišu način polaganja energetskih kablova u blizini visokog rastinja [7], ali se isti u domaćoj praksi polažu na najmanje 2 m od visokog rastinja, tj. od stabala drveća. Navedeno rastojanje je preuzeto iz internih propisa gradskog zelenila grada Beograda [9,10]. Međutim, propisi preduzeća koja se bave održavanjem gradskog zelenila mogu važiti samo za uslove izvođenja radova iz domena njihove delatnosti ali ne i za projektovanje kablovskih vodova zbog postojanja niza tehničkih faktora koji bi trebali biti obuhvaćeni njima, a nisu.

U svetu nije retko iskustvo i da vlada neke države donese paket propisa koji u celosti uređuje ovu problematiku kao što je to učinilo Ministarstvo ekonomskog razvoja Novog Zelanda [8]. Tako, prema [8] odstojanje korenja visokog rastinja od podzemnih kablovskih vodova ne može biti manje od 0,5 m. Ovo se u biti razlikuje od onoga što se radi u našoj praksi gde se može dogoditi da podzemni kablovski vod prođe i kroz gust splet korenja.

Nemački standardi nalažu da se kablovi polažu na 2,5 m od stabala drveća [10]. Ako se pomenuto rastojanje ne može ispoštovati, onda se kablovi pro-

vlače kroz cevi koje se polažu bušenjem ili utiskivanjem [10]. Prema ruskoj literaturi predviđa se da ovo rastojanje iznosi 2 m, ali se ostavlja mogućnost da se u dogovoru sa nadležnom kompanijom ono može i smanjiti [10].

Nepostojanje domaćih propisa u ovoj oblasti, okolnosti nastanka razmatranog kvara i minoran broj publikacija na ovu temu u svetu, bili su povod za pisanje ovog rada i iniciranje dopune tehničkih propisa koji se koriste u elektroprivredama Republike Srbije i Crne Gore.

2. FORMULACIJA PROBLEMA

Proboj jedne od faza podzemnog 0,4 kV-nog kablovskog voda koji je trasiran između TS 10/0,4 kV/kV „Bjelasica” i industrijskog postrojenja za proizvodnju mleka i mlečnih proizvoda A. D. Krisma Milk – Bijelo Polje dogodio se 14. novembra 2007. u 3 h i 15 min. Nastanku ovog kvara prethodili su neadekvatni ambijentni uslovi u zemljištu oko kabla i mehaničko oštećenje izolacije kabla. Razmatrani kabl je tipa PP 00-AS 4×120 mm² i nazivnog napona 0,6/1 kV/kV. Uzroke za loše ambijentne uslove u zemljištu i mehaničko oštećenje kabla ovom prilikom treba tražiti u: (i) nepostojanju propisa koji bi uredili problematiku polaganja kablova u blizini visokog rastinja, (ii) nepostojanju propisa koji bi definisali postupke uklanjanja visokog rastinja u blizini podzemnih instalacija i (iii) višednevnim padavinama koje su prethodile nastanku kvara.

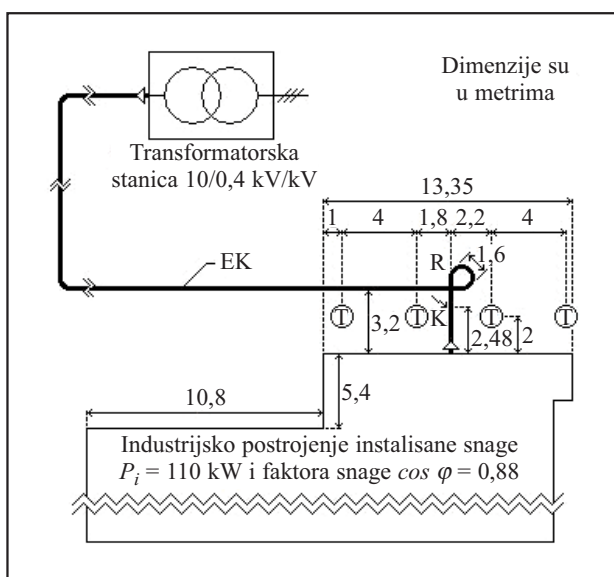
Poznato je da visoko rastinje isušuje zemljište i otežava zadržavanje vlage u njemu. Prema vrednostima specifičnih toplotnih otpora zemljišta izmerenim na mestima gde kablovski vodovi prolaze pored visokog rastinja i gde nema vegetacije proizilazi da se ova prva mogu smatrati toplotno kritičnim već u nominalnim režimima eksploatacije kablova. Za delove trase u blizini visokog rastinja vrednosti specifičnih toplotnih otpora kablovske posteljice i okolnog zemljišta dostižu 2 °Cm/W i 4 °Cm/W, respektivno [1]. One su bile dvostruko veće od njima odgovarajućih vrednosti u oblastima bez vegetacije [1].

Porast vrednosti specifičnog toplotnog otpora zemljišta jeste bitan termički aspekt eksploatacije podzemnih kablovskih vodova u blizini visokog rastinja ali ne i jedan od uzroka kvara na posmatranom 0,4 kV-nom kablovskom vodu. Ovom prilikom je interesantnije osvrnuti se na mehanička naprezanja i oštećenja kablova usled dejstva korenja visokog rastinja.

Pojedine vrste drveća imaju vrlo snažno i „agresivno” (brzorastuće) korenje tako da se o tome mora voditi računa još u fazi projektovanja podzemnih kablovskih vodova. Izraziti predstavnici takvog dr-

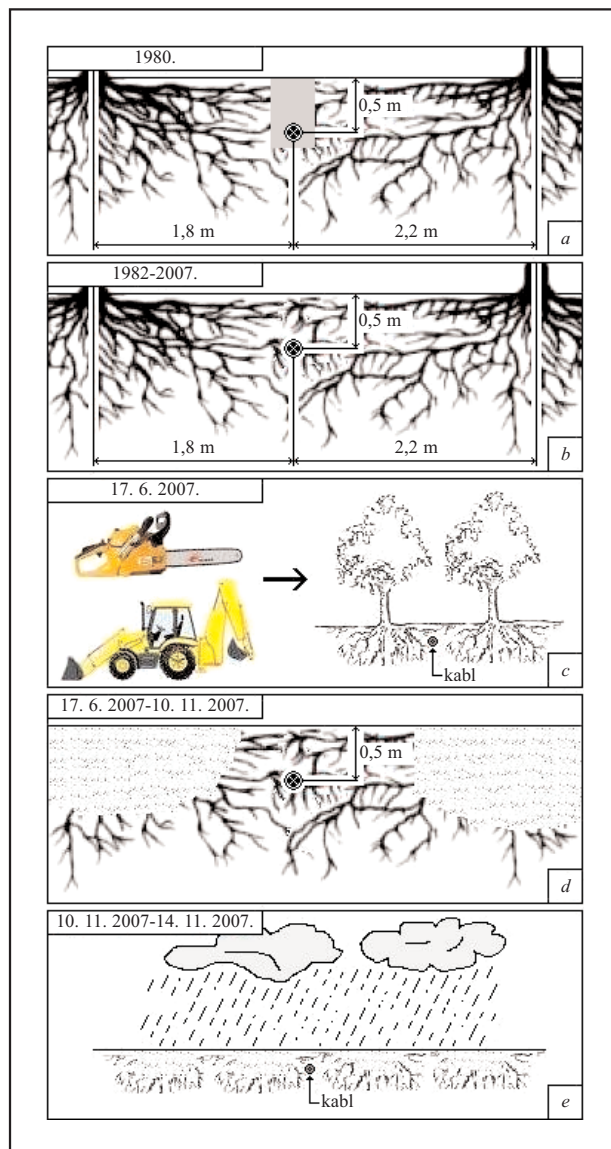
veća su topole koje su i uzrok ovde razmatranog kvara. Žile korena topole po horizontali se od svojih stabala udaljavaju i po više od 30 m [11]. Veličina i razvijenost korena topole zavise od faktora kao što su njena vrsta, starost, geografska zona i sl.

Raspored stabala topole u odnosu na položaj trase podzemnog 0,4 kV-nog kablovskog voda, mesto kvara i zgradu postrojenja prikazan je na slici 1. Današnja zgrada postrojenja do 1980. godine služila je drugoj nameni a električnom energijom je snabdevana preko danas nepostojećeg nadzemnog voda. Sa prilagođavanjem zgrade današnjim potrebama rešeno je da se pređe na napajanje preko podzemnog kablovskog voda koji bi po prenosnoj moći odgovarao potrošnji postrojenja.



Slika 1. Raspored stabala topole u odnosu na položaj trase podzemnog 0,4 kV-nog kablovskog voda, mesto kvara i zgradu postrojenja za proizvodnju mleka i mlečnih proizvoda A. D. Krisma Milk – Bijelo Polje. EK – energetski kabl tipa PP 00-AS 4×120 mm², nazivnog napona 0,6/1 kV/kV i ukupne dužine 293,5 m (sa rezervom); T – stabla topole; K – mesto kvara; R – rezerva kablovskog voda dužine 5 m i dozvoljenog poluprečnika savijanja 0,8 m

Osnovni razlog zašto je ovaj kabl 1980. godine položen u zemljište gde se prepliće korenje topola starih po 41 godinu bilo je nepostojanje propisa koji bi to tada sprečio ili naložio da se to izvede na tehnički valjan način. Izuzev dubine polaganja na pojedinim mestima, svi ostali tehnički propisi, kao što su rezerva, vijuganje, poluprečnik savijanja, upozoravajuća traka i sl., ispoštovani su i prema danas vežećim propisima [4–7]. U prilog lošem izboru trase kablovskog voda tada je išla i činjenica da je ondašnji plan uređenja zelene površine ispred zgrade postrojenja predviđao i zadržavanje postojećeg drvnog reda što se svakako pokazalo pogrešnim.



Slika 2. Hronološki prikaz radova i uslova koji su prethodili nastanku kvara na podzemnom 0,4 kV-nom kablovskom vodu. a) polaganje kablovskog voda; b) ambijentni uslovi u zemljištu tokom perioda eksploatacije kablovskog voda bez oštećenja izolacije; c) radovi na uklanjanju vegetacije: sečenje stabala, vađenje panjeva i izravnavanje terena; d) ambijentni uslovi u zemljištu tokom perioda eksploatacije kablovskog voda sa oštećenjem izolacije; e) periodične padavine

Na slici 2 dat je hronološki prikaz radova i uslova koji su prethodili nastanku kvara na podzemnom 0,4 kV-nom kablovskom vodu. Odstupanje od propisa na mestu kvara dogodilo se još u fazi polaganja kablovskog voda kada je isti položen direktno u zemlju na dubini od 0,5 m umesto na propisanih 0,7 m (slika 2a). Kabl je na ostatku trase položen na 0,7 m. Razlog za polaganje kablovskog voda na dubini različitoj od propisane bio je gust splet korena na koji se tada naišlo prilikom iskopavanja rova.

Brz razvoj korenja doveo je do toga da je zemljište u kablovskom rovu već posle godinu dve bilo prožeto žilama korenja a kabl izložen mehaničkom naprezanju od strane njih (slika 2b).

Do mehaničkog oštećenja izolacije kabla dolazi 17. juna 2007. godine za vreme radova na uklanjanju vegetacije (slika 2c). Vađenje panjeva je izvršeno pomoću bagera i definitivno je uzrok oštećenja kabla. Prilikom izvlačenja jednog od panjeva čije je korenje obavijalo kabl neizbežno je došlo do zatezanja jedne žile korenja, njenog usecanja u izolaciju kabla i konačno njenog kidanja.

Po vađenju panjeva, izravanjanju terena i nabijanju zemljišta, u periodu od 17. juna do 10. novembra 2007. godine bilo je eksploatacije kabla sa mehanički oštećenom izolacijom u zemljištu gde je preostalo dosta pokidanih žila korenja (slika 3d). U tom periodu uticaj ionako malih padavina bio je zanemarljiv iz sledećih razloga:

- (i) u periodu od 01. juna do 30. septembra 2007. godine vršena je rekonstrukcija objekta i remont opreme tako da je postrojenje bilo van funkcije a kabl opterećen samo snagom osvetljenja objekta i električnih alata korišćenih tom prilikom i
- (ii) u periodu pogona postrojenja od 01. oktobra do 10. novembra 2007. godine nije bilo značajnijih padavina.

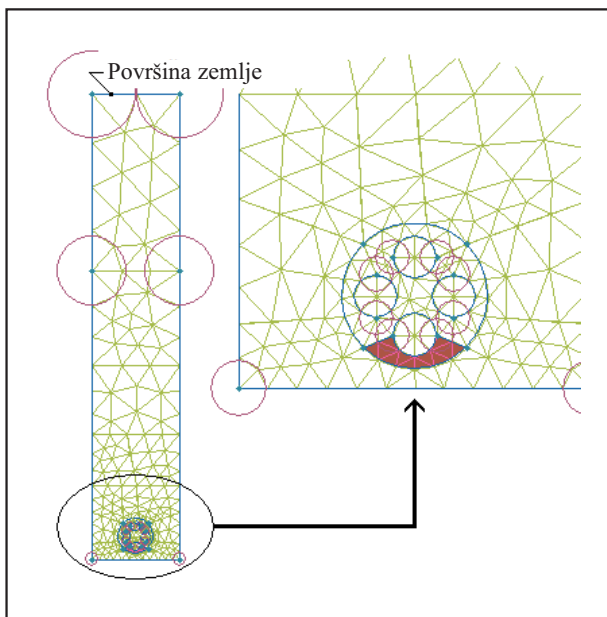
Period količinski značajnijih padavina počinje 10. novembra 2007. godine i nastavlja se sve do nastanka kvara na kابلu 14. novembra 2007. godine (slika 2e).

3. MODELIRANJE I SIMULACIJA KVARA

Priprema modela konačnih elemenata za jedan nelinearni termodinamički sistem kao što je podzemni kabl pogođen jednofaznim zemljospojem nije nimalo lak zadatak. Za diskusiju u ovom radu od značaja će biti samo temperature provodnika i izolacije kabla ali ne i raspodela temperature u okolnom zemljištu tako da bi rešavani domen većih dimenzija bio suvišan. Izborom domena trakastog oblika koji bi obuhvatio poprečni presek kabla na mestu kvara i površinu zemlje kao granicu sa definisanim graničnim uslovom konvekcije otvara se mogućnost da se za proračun upotrebi nekomercijalna verzija softverskog paketa QuickField 5.5. Naime, ovaj softverski alat ima ograničenje (postavljeno od strane proizvođača) i njime se unutar rešavanog domena ne može generisati mreža koja bi imala više od 255 čvorova. Umrežena geometrija rešavanog domena prikazana je na slici 3.

Za model konačnih elemenata sa slike 3 važi:

- (i) njegove spoljašnje dimenzije su 100 mm×526 mm;



Slika 3. Umrežena geometrija poprečnog preseka rešavanog domena

- (ii) sastoji se od 7 blokova: okolno zemljište, PVC izolacija, četiri aluminijumska provodnika i deo mehanički oštećene PVC izolacije;
- (iii) mreža ima ukupno 227 čvorova;
- (iv) poprečni preseki sektorskih provodnika kabla zamenjeni su njima ekvivalentnim okruglim provodnicima prečnika 12,4 mm;
- (v) konstruktivni podaci kabla sa ekvivalentnim provodnicima kružnog preseka su: debljina izolacije provodnik-provodnik 3,2 mm, debljina spoljašnjeg plašta 2,4 mm i spoljašnji prečnik kabla 41,5 mm;
- (vi) raspored provodnika u kابلu izvršen je u smeru kretanja kazaljke na časovniku na sledeći način: faza A – faza B – faza C – neutralni provodnik, počevši sa provodnikom koji je najudaljeniji od površine zemlje;
- (vii) pretpostavljeno je da se mehaničko oštećenje izolacije dogodilo uz provodnik faze A;
- (viii) blok kojim je modelirano mesto mehaničkog oštećenja izolacije zasenčen je na slici i ima termofizičke karakteristike okolnog zemljišta.

Termofizičke karakteristike materijala date su u tabeli 1. Deo ovih karakteristika je nelinearan, odnosno zavisi od temperature.

Specifična električna otpornost aluminijuma koja je u tabeli 1 označena sa NL-1 linearno se menja sa temperaturom prema izrazu

$$R_p(\theta) = R_{p20}(1 + \alpha_{Al}(\theta - 20)) \quad (1)$$

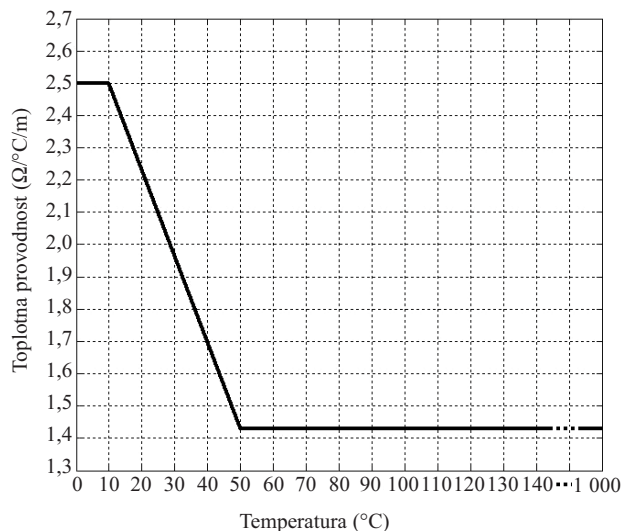
Tabela 1.
Termofizičke karakteristike materijala

Materijal	k ($W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-1}$)	C ($J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)	ρ ($kg \cdot m^{-3}$)	R ($\Omega \cdot m^{-1}$ ili $\Omega \cdot m$)
Aluminijum	208,333	920	2 700	NL-1*
PVC	0,2	1 000	1 300	–
Okolno zemljište	NL-2**	840	1 780	NL-3***

* Temperaturna zavisnost specifične električne otpornosti aluminijuma u $\Omega \cdot m^{-1}$ definisana je izrazom (1).

** Ova kriva predstavlja aproksimaciju realne temperature zavisnosti toplotne provodnosti za materijal okolnog zemljišta. Aproksimacija ove krive izvršena je na osnovu samo dve poznate vrednosti toplotne provodnosti, i to za 2,5 i 1,429 $\Omega \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-1}$ koje odgovaraju temperaturama 10 i 50 $^\circ C$, respektivno [12]. Aproksimacija je izvršena pod pretpostavkom da je okolno zemljište normalno vlažno i da na temperaturi od 10 $^\circ C$ ima maksimalan sadržaj vlage, dok na temperaturama jednakim i većim od 50 $^\circ C$ ima minimalan sadržaj vlage. Pretpostavka da zemljište nije bilo u potpunosti isušeno na temperaturama većim od 50 $^\circ C$ opravdana je činjenicom da se tokom vremenskog perioda obuhvaćenog simulacijom u zemljištu imalo obnavljanje vlage usled padavina. Ova kriva je data na slici 4.

*** Usvojeno je da vrednost specifične električne otpornosti okolnog normalno vlažnog zemljišta u Ωm na mestu kvara opada sa porastom temperature što odgovara fizici razmatranog kvara. Prema [10] vrednost specifične električne otpornosti vlažnog zemljišta je manja od 20 Ωm .



Slika 4. Zavisnost toplotne provodnosti okolnog zemljišta normalne vlažnosti od temperature

gde su R_{p20} specifična električna otpornost aluminijuma na 20 $^\circ C$ i $\alpha_{Al} = 0,004\ 031\ ^\circ C^{-1}$ temperaturni koeficijent promene električne otpornosti aluminiju-

ma. Za kabl tipa PP 00-AS $4 \times 120\ mm^2$, 0,6/1 kV/kV, specifična električna otpornost Al-provodnika na 20 $^\circ C$ iznosi $R_{p20} = 0,254\ 729\ 3 \cdot 10^{-3}\ W \cdot m^{-1}$.

U periodu obuhvaćenom simulacijom razmena toplote zračenjem na površini zemlje može se zanemariti jer je to bio period sa visokom relativnom vlažnošću vazduha. Takođe, u tom periodu nije bilo ni dejstva vetra pa se razmena toplote između površine zemlje i vazduha odvijala samo putem prirodne konvekcije. Prema [17] koeficijent razmene toplote konvekcijom je $h = 7,382\ W / ^\circ C \cdot m^2$, a srednja vrednost temperature vazduha u periodu simulacije bila je $\theta_e = 1,42\ ^\circ C$.

U postupku pripreme modela konačnih elemenata za nelinearnu tranzijentnu analizu procesa razmene toplote kod podzemnog kabla pogođenog jednofaznim zemljospojem poseban izazov predstavlja modeliranje izvora toplote lociranih u provodnicima kabla. Zbog složenosti termodinamike analiziranog problema ovde se uvodi niz pretpostavki koje će značajno pojednostaviti modeliranje izvora toplote. To su:

- (i) početak simulacije, odnosno početni trenutak numeričke integracije se poklapa sa početkom četvorodnevnog perioda sa periodičnim padavinama – u ponoć 09. novembra 2007. godine ili 0 s;
- (ii) u periodu pre početka simulacije kao i u trenutku $t = 0$ s vrednost specifične električne otpornosti okolnog zemljišta $R_z(\theta)$ bila je dovoljno velika tako da na mestu kvara nije bilo struje kvara;
- (iii) tokom perioda pokrivenog simulacijom od 99 h i 19 min ili 357 540 s smatra se da nije dolazilo do potpunog isušivanja okolnog zemljišta zbog padavina;
- (iv) vrednost specifične električne otpornosti okolnog normalno vlažnog zemljišta na mestu kvara $R_z(\theta)$ opada sa porastom temperature a njena maksimalna vrednost je $R_{zmax} = 20\ \Omega m$ i ima se za $\theta = 0\ ^\circ C$;
- (v) kada je $R_z(\theta) = R_{zmax}$ na mestu kvara protiče minimalna vrednost struje kvara I_{kmin} ;
- (vi) minimalna vrednost specifične električne otpornosti okolnog normalno vlažnog zemljišta na mestu kvara R_{zmax} je nepoznata a ima se za temperature $\theta \geq \theta_{ld}$, gde je $\theta_{ld} = 160\ ^\circ C$ dozvoljena temperatura PVC izolacije pri kratkom spoju za 0,6/1 kV/kV-ne kablove sa provodnicima preseka do 300 mm^2 [16];
- (vii) kada je $R_z(\theta) = R_{zmin}$ na mestu kvara protiče maksimalna vrednost struje kvara I_{kmax} ;
- (viii) sistem trofaznih struja u kablovskom vodu pre kvara bio je simetričan a stvarni dnevni dijagrami opterećenja kabla tokom perioda numeričke integracije ekvivalentirani su srednjim dnevnim opterećenjem $I_{dsr} = 130,04\ A$;
- (ix) struja kvara se na mestu kvara u opsegu temperatura $0 \leq \theta \leq \theta_{ld}$ menja prema

$$I_k(\theta) = I_{k \min} e^{\frac{\theta \ln \frac{R_{z \max}}{R_{z \min}}}{\theta_p}} \quad (2)$$

gde je $\theta_p = 658 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatura topljenja aluminijuma, dok se za $\theta > \theta_p$ ima struja kvara

$$I_k(\theta) = I_{k \max} \quad (3)$$

gde je vrednost $I_{k \max} = 1\,272,632 \text{ A}$ dobijena putem klasičnog proračuna struje kvara na osnovu podataka o industrijskom postrojenju instalisane snage 110 kW i faktora snage $\cos \varphi = 0,88$ (postrojenje čini 31 asinhroni motor sa namotajima vezanim u trougao ukupne snage 106,1 kW dok ostatak instalisane snage ide na elektrootporne potrošače [13]), podataka o transformatoru (tipska oklopljena transformatorska stanica 10/0,4 kV/kV nazivne snage 630 kVA [7,14]) i kataloških podataka o kablju [2,10,15,16]. (x) na osnovu proračuna raspodele struje kvara po faznim provodnicima kabla od transformatora ka mestu kvara za vreme kvara proticale su struje čiji su moduli

$$I_{Ak} = 0,965 \cdot I_{k \max}$$

$$I_{Bk} = I_{Ck} = 0,023 \cdot I_{k \max} \quad (4)$$

(x) na osnovu čega se, a s obzirom na (2) i (3), mogu proceniti struje merodavne za zagrevanje faznih provodnika za vreme trajanja kvara kao

$$I_{Ak}(\theta) = 0,965 \cdot I_k(\theta) + I_{dsr}$$

$$I_{Bk}(\theta) = I_{Ck}(\theta) = 0,023 \cdot I_k(\theta) + I_{dsr} \quad (5)$$

Na osnovu prethodno uvedenih pretpostavki i izraza (1) zapreminske snage toplotnih izvora (u W/m^3) lociranih u faznim provodnicima kabla postaju

$$Q_{AV}(\theta) = R_p(\theta) \cdot I_{Ak}^2(\theta) / S_p$$

$$Q_{BV}(\theta) = R_p(\theta) \cdot I_{Bk}^2(\theta) / S_p \quad (6)$$

$$Q_{CV}(\theta) = R_p(\theta) \cdot I_{Ck}^2(\theta) / S_p$$

gde je S_p površina poprečnog preseka jednog provodnika u m^2 .

Džulovih gubitaka u neutralnom provodniku praktično nema zato što su na strani postrojenja svi asinhroni motori vezani u trougao. Dielektrični gubici u PVC izolaciji kabla su zanemarljivi iz razloga što je nazivni napon mreže 0,4 kV.

Da bi se zaključila priča o izvorima toplote u provodnicima kabla neophodno je još definisati po-

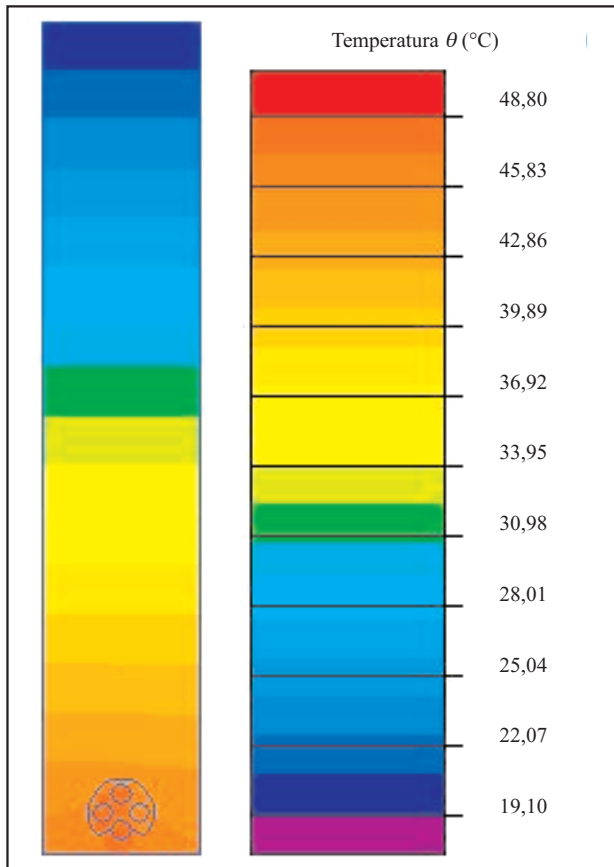
stupak za procenu minimalne vrednosti specifične električne otpornosti okolnog normalno vlažnog zemljišta na mestu kvara $R_{z \min}$. Procena vrednosti za $R_{z \min}$ vrši se iz razloga što ne postoji način da se na mestu kvara za vreme trajanja kvara utvrdi sadržaj vlage od kojeg $R_{z \min}$ zavisi. Takođe, za $R_{z \min}$ ne može se uzeti bilo koja vrednost otpornosti koja je znatno manja od $20 \text{ } \Omega\text{m}$ iz razloga što bi se onda proboj provodnika faze A dogodio u nekom trenutku različitom od 3 h i 15 min koji je snimljen 14. novembra 2007. godine.

Procena vrednosti za $R_{z \min}$ izvedena je pod pretpostavkom da je struja kvara na mestu kvara dostigla vrednost $I_{k \max}$ tek pri temperaturi provodnika faze A jednakoj θ_{td} . Ova pretpostavka je fizički neverovatna zbog toga što je PVC izolacija u nužnom pogonu praktično termički nepreopteretljiva [10] ali u korist nje ide činjenica da je tokom posmatranog četvorodnevno perioda bilo obnavljanja vlage u okolnom zemljištu pa se i moglo pretpostaviti da je kabl mogao raditi na temperaturama većim od trajno dozvoljene koja za ovaj kabl iznosi $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

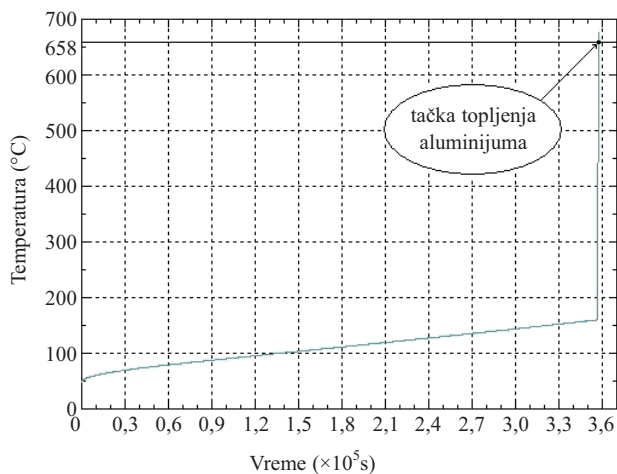
Za procenu $R_{z \min}$ najpre treba odrediti početne uslove, tj. stacionarnu raspodelu temperature za režim rada neposredno pre početka perioda sa padavinama. Stacionarna raspodela temperature sa slike 5 izračunata je za simetričan sistem trofaznih struja I_A, I_B, I_C kojima respektivno odgovaraju snage $Q_{AV} = Q_{BV} = Q_{CV} = 40\,023,4 \text{ W/m}^3$. Zatim se u prvom koraku proizvoljno izabira vrednost $R_{z \min} = 1 \text{ } \Omega\text{m}$ za koju se dobija temperatura provodnika faze A $\theta_A < \theta_{td}$; ovo znači da u drugom koraku treba izabrati vrednost veću od $1 \text{ } \Omega\text{m}$. U drugom koraku izabira se vrednost $R_{z \min} = 2 \text{ } \Omega\text{m}$ za koju se dobija $\theta_A \gg \theta_{td}$; ovo znači da u trećem koraku treba izabrati vrednost između 1 i $2 \text{ } \Omega\text{m}$. Treći korak se započinje sa $R_{z \min} = 1,5 \text{ } \Omega\text{m}$ i na isti način se (po principu metode polovljenja intervala) u 11. koraku dolazi do konačne vrednosti od $R_{z \min} = 1,205 \text{ } \Omega\text{m}$ za koju temperatura provodnika faze A postaje $\theta_A = \theta_{td}$.

Rezultati nelinearne tranzijentne analize dati su na slikama 6, 7, 8, 9 i 10. Na slikama 6, 7, 8 i 9 prikazani su tranzijenti zagrevanja provodnika faza A, B, C i neutralnog provodnika, respektivno. Svi prikazani tranzijenti zagrevanja provodnika kabla snimljeni su u centrima njima odgovarajućih kružnica. Na slici 10 prikazan je tranzijent zagrevanja PVC izolacije u toplotno najkritičnijoj tački izolacije kabla, tj. centru kružnice kojom je predstavljena spoljašnja površina kabla.

Interesantno je pogledati i raspodelu temperature po rešavanom domenu koja se dobija posle 5 959. koraka nelinearne tranzijentne analize. Ovaj korak numeričke integracije odgovara 5 959. minutu u kojem je temperatura provodnika faze A premašila

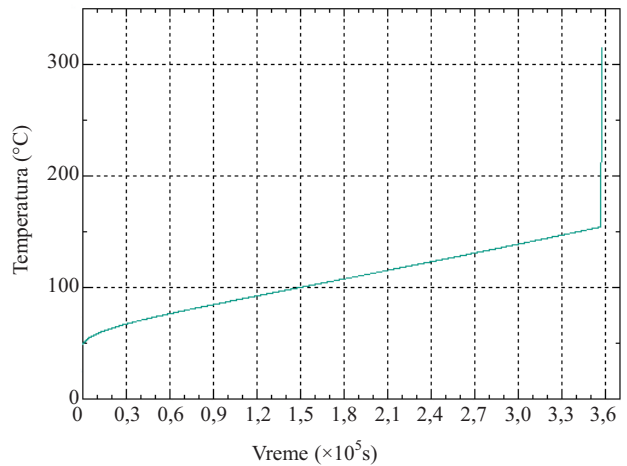


Slika 5. Stacionarna raspodela temperature za režim rada neposredno pre početka perioda sa padavinama – početni uslovi za potrebe nelinearne tranzijentne analize

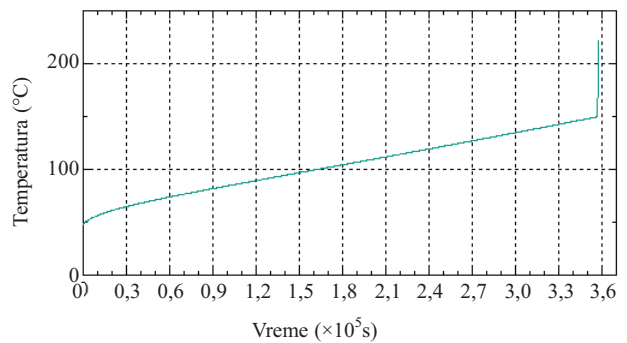


Slika 6. Tranzijent zagrevanja provodnika faze A

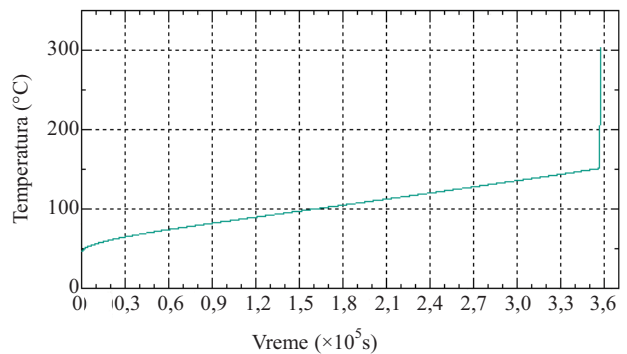
temperaturu topljenja aluminijuma (prekid provodnika faze A), tj. 14. novembru 2007. godine u 3 h i 19 min. Zapaža se da se numerički dobijen trenutak prekida faze A razlikuje za nešto manje od 4 minuta u plusu u odnosu na registrovani. Raspodela tempe-



Slika 7. Tranzijent zagrevanja provodnika faze B



Slika 8. Tranzijent zagrevanja provodnika faze C

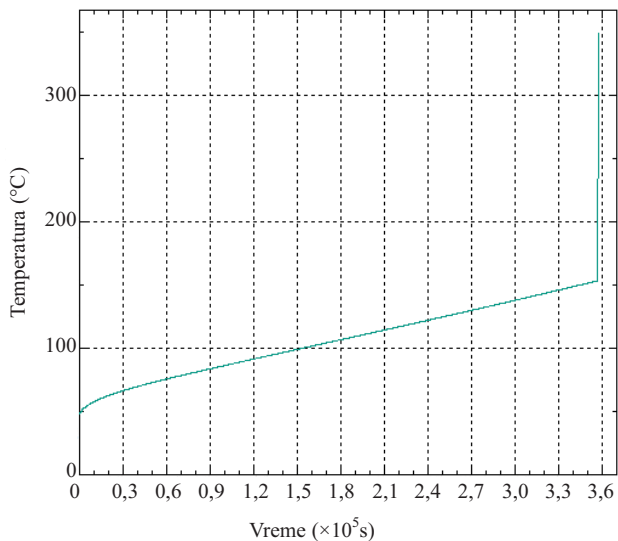


Slika 9. Tranzijent zagrevanja neutralnog provodnika

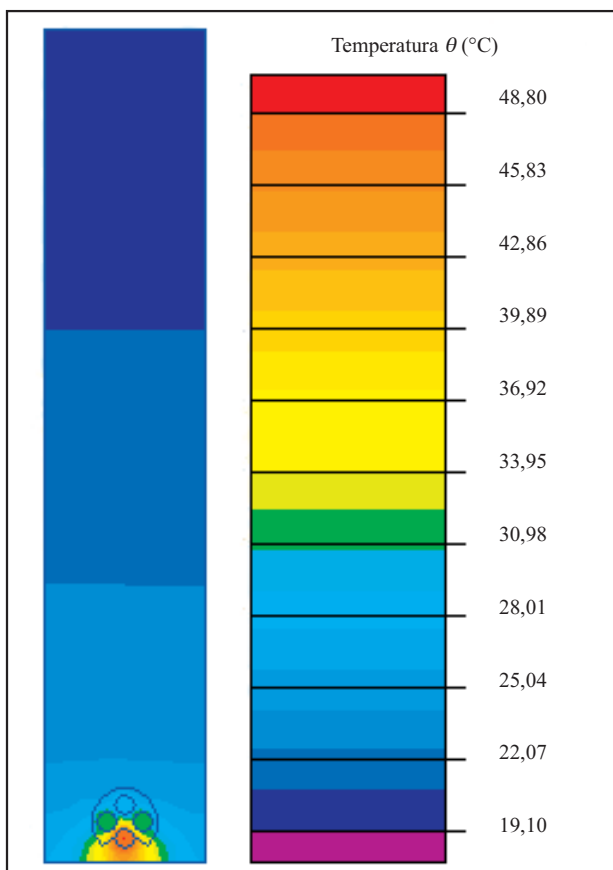
rature posle 5 959. koraka numeričke integracije u vremenu prikazana je na slici 11.

4. NACRT TEHNIČKE PREPORUKE

Tehnička preporuka na osnovu koje bi se ubuduće mogla vršiti prevencija nastanka štete na podzemnim kablovskim vodovima usled dejstva vegetacije ili usled radova na njenom održavanju i uklanja-



Slika 10. Tranzijent zagrevanja izolacije kabla u centru kružnice kojom je predstavljena spoljašnja površina kabla



Slika 11. Raspodela temperature posle 5 959. koraka numeričke integracije u vremenu

nju sastoji se u tome da treba prepoznavati subjekte kao što su:

- vlasnik drveta,

- preduzeće zaduženo za održavanje gradskog zelenila,
- elektrodistributivno preduzeće zaduženo za održavanje energetskih vodova,
- preduzeća zadužena za postavljanje i održavanje podzemnih instalacija druge vrste (vodovoda, gasovoda, toplovoda, kanalizacije i dr.), i
- nadzorni organ zadužen za implementaciju tehničkih preporuka pri radovima bilo koje vrste na i u blizini podzemnih energetskih kablova.

Za imenovanje subjekata (fizičkih i pravnih lica) koji bi se mogli naći u eventualnom sporu oko naknade štete nastale na podzemnom kablovskom vodu usled dejstva vegetacije ili usled radova na njenom održavanju i uklanjanju u ovoj tehničkoj preporuci treba definisati ili obuhvatiti:

- najmanja dozvoljena odstojanja podzemnih kablova od korenja drveća s aspekta termičkih (isušivanje zemljišta) i mehaničkih napreznja,
- metode polaganja kablova u zemljište za slučaj kada nije moguće izbeći korenje drveća ili ukloniti ga (skučen gradski prostor),
- metodu detekcije korenja pomoću zemno-dubinskog radara radi njihovog zaobilaznja još u fazi projektovanja trase kabla ili radi zaštite biljke od eventualnog presecanja vitalnih žila korena [18],
- obaveze, poslove i odgovornost vlasnika drveta,
- nadležnost, poslove, procedure izvođenja poslova i odgovornost preduzeća zaduženog za održavanje gradskog zelenila,
- nadležnost, poslove, procedure izvođenja poslova i odgovornost elektrodistributivnog preduzeća,
- nadležnost, poslove, procedure izvođenja poslova i odgovornost preduzeća zaduženog za postavljanje i održavanje podzemnih instalacija druge vrste, i
- nadležnost i metode nadgledanja od strane nadzornog organa.

Od napred navedenog, u tehničkom pogledu najznačajnije su stavke koje se odnose na projektovanje delova trase kabla koji bi mogli proći blizu visokog rastinja. Da bi se ove stavke usaglasile sa već postojećim u svetu potrebno je definisati pojas zabranjenog rasta (PZR) za korenje drveća. PZR je najmanje dozvoljeno rastojanje nekog drveta ili njegovog dela od nadzemnog voda ili podzemnog kabla [8].

Na osnovu domaće i strane prakse, u fazi projektovanja podzemnih kablovskih vodova treba se pridržavati sledećih preporuka:

- najveći nedostatak vlage u zemljištu se ima u zoni korenja visokog rastinja [2]; zona do koje dopiru žile korena nekog drveta je oblika kružnice sa centrom u njegovom stablu i poluprečnikom koji je jednak visini tog stabla [2]; vrednosti specifičnog toplotnog otpora u ovim zonama su i do dva puta

- veće od njima odgovarajućih vrednosti u oblastima bez vegetacije [1];
- PZR za korenje drveća u blizini podzemnih energetskih kablova iznosi 0,5 m [8];
 - ukoliko trasa kabla mora proći kroz sistem korena nekog drveta, onda u kablovskom rovu, i sa leve i sa desne strane projektovane trase, u zoni jednakoj $2 \times PZR$, treba preseći i ukloniti sve delove korena [8]; u takvoj zoni kabl treba provući i kroz plastičnu cev zadovoljavajuće debljine zida cevi kako rast korena u budućnosti ne bi mehanički oštetio kabl (zaključak izveden na osnovu analize kvara razmatranog u ovom radu);
 - ukoliko bi iskopavanje kablovskog rova moglo ugroziti neko drvo kidanjem vitalnih delova njegovog korena, a kabl mora proći upravo tuda, onda treba izvršiti precizno lociranje korenja pomoću radara za zemno-dubinsko snimanje i kabl provući kroz cev (zadovoljavajuće debljine zida cevi);
 - ukoliko se ne poseduje radar za zemno-dubinsko snimanje, a kabl opet mora proći kroz splet korenja i najverovatnije ugroziti drvo, onda kabl treba položiti u cev (zadovoljavajuće debljine zida cevi) koja se polaže bušenjem ili utiskivanjem na 2-2.5 m od stabla drveta.

5. ZAKLJUČAK

Uz nacrt tehničke preporuke koja bi trebala postati sastavni deo propisa elektrodistributivnih preduzeća Republike Srbije i Republike Crne Gore, ovde je predstavljen i jedan novi pristup u modeliranju zagrevanja elemenata konstrukcije podzemnih energetskih kablova tokom zemljospoja. Predloženi model možda i nije dao rezultate koji najvernije oslikavaju termodinamiku razmatranog kvara ali je zaceo novitet u odnosu na dosadašnju praksu proračuna baziranu na pretpostavci adijabatskog zagrevanja provodnika kabla pogođenog kvarom. Posebno je značajna činjenica da bi ovde razrađeni model mogao dati još verniju sliku analizirane termodinamike kvara kada bi se znale tačne temperaturne zavisnosti termofizičkih karakteristika materijala zastupljenih u modelu.

6. LITERATURA

- [1] S. M. Foty, G. J. Anders, S. J. Croall, CABLE ENVIRONMENT ANALYSIS AND THE PROBABILISTIC APPROACH TO CABLE RATING, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 5, No. 3, pp. 1628-1633, Jul. 1990
- [2] S. Y. King N. A. Halfter, UNDERGROUND POWER CABLES, Longman, London and New York, 1982, pp. 184, 185 and 211
- [3] G. J. Anders, H. S. Radhakrishna, POWER CABLE THERMAL ANALYSIS WITH CONSIDERATION OF HEAT AND MOISTURE TRANSFER IN THE SOIL, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 3, No. 4, pp. 1280-1288, Oct. 1988
- [4] IEC 60287-1-1, ELECTRIC CABLES – CALCULATION OF CURRENT RATING – PART 1-1: CURRENT RATING EQUATIONS (100 % LOAD FACTOR) AND CALCULATION OF LOSSES – GENERAL, Ed. 2.0 Bilingual, December 13, 2006
- [5] IEC 60287-2-1, ELECTRIC CABLES – CALCULATION OF THE CURRENT RATING – PART 2-1: THERMAL RESISTANCE – CALCULATION OF THERMAL RESISTANCE, Consol. Ed. 1.2 (incl. am1+am2), Bilingual, May 18, 2006
- [6] IEC 60287-3-1, ELECTRIC CABLES – CALCULATION OF THE CURRENT RATING – PART 3-1: SECTIONS ON OPERATING CONDITIONS – REFERENCE OPERATING CONDITIONS AND SELECTION OF CABLE TYPE, Consol. Ed. 1.1 (incl. am1), Bilingual, May 31, 1999
- [7] EPS – Direkcija za distribuciju električne energije, ZBIRKA TEHNIČKIH PREPORUKA ED SRBIJE – KNJIGE I i II, IV izdanje, septembar 2000. godine
- [8] The Ministry of Economic Development of New Zealand, ELECTRICITY (HAZARDS FROM TREES) REGULATIONS 2003, SR 2003/375
- [9] B. Nikolić, POLAGANJE ENERGETSKIH KABLOVA, Građevinska knjiga, Beograd, 1990. godine, str. 163
- [10] B. M. Lalević, PRIRUČNIK KABLOVI ELEKTROENERGETSKI, CEKOS-ING, Beograd, 1997. godine
- [11] R. F. Settler, H. D. Bradshaw Jr., P. E. Heilman, T. M. Hinckley, BIOLOGY OF POPULUS AND ITS IMPLICATIONS FOR MANAGEMENT AND CONSERVATION, National Research Council, Canada, 1996, pp. 349
- [12] D. Klimenta, S. Nikolajevic, M. Sredojevic, CONTROLLING THE THERMAL ENVIRONMENT IN HOT SPOTS OF BURIED POWER CABLES, European Transactions on Electrical Power, John Wiley & Sons, Ltd., UK, Vol. 17, Issue 5, September/October 2007
- [13] Zavod za urbanizam i projektovanje – Bijelo Polje, GLAVNI PROJEKAT ELEKTRO-INSTALACIJA MLEKARE A. D. KRISMA MILK – BIJELO POLJE, 21. novembra 1980. godine

- [14] Energoinvest, BLINDIRANA TRANSFORMATORSKA STANICA VANJSKE MONTAŽE TIPA BTS-R 10/0.4 kV/kV, 630 kVA, Sarajevo, 1971. godine
- [15] I. Kasikci, SHORT CIRCUITS IN POWER SYSTEMS – A PRACTICAL GUIDE TO IEC 60909, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, 2002
- [16] L. Heinhold, POWER CABLES AND THEIR APPLICATION, Part 1, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin and Munich, 1990, pp. 287 and 292.
- [17] J. K. Mitchell, O. N. Abdel-Hadi, TEMPERATURE DISTRIBUTIONS AROUND BURIED CABLES, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS-98, No. 4, pp. 1158-1166, July/Aug. 1979.
- [18] A. Stokes, T. Fourcaud, J. Hruska, J. Cermak, N. Nadyezdhina, V. Nadyezdhin, L. Praus, AN EVALUATION OF DIFFERENT METHODS TO INVESTIGATE ROOT SYSTEM ARCHITECTURE OF URBAN TREES IN SITU: I. GROUND-PENETRATING RADAR, Journal of Arboriculture 28(1): Jan. 2002, pp. 2-10

Rad je primljen u uredništvo 25. 08. 2008. godine



Dardan Klimenta, rođen je 1975. godine u Peći na Kosmetu u Republici Srbiji. Diplomirao je 1998. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini, dok je magistrirao 2001. godine i doktorirao 2007. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Trenutno je docent Fakulteta tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici Univerziteta u Prištini. Naučni radovi koje je do danas objavio pripadaju oblastima procesa razmene toplote kod podzemnih energetskih kablova, primene metode konačnih elemenata u elektroenergetici i distribuirane proizvodnje električne energije.



Viktor Kuč, rođen je 1974. godine u Sjenici u Republici Srbiji. Diplomirao je 2000. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Kosovskoj Mitrovici Univerziteta u Prištini. Danas je tehnički direktor mlekare A. D. Krisma Milk u Bijelom Polju, Republika Crna Gora. Posедуje bogato praktično iskustvo i znanje o radu industrijskih postrojenja za proizvodnju mleka, elektroenergetskih postrojenja 35/10 i 35/6 kV/kV, kao i jamskih instalacija. Lokalizacija i prevencija havarijskih stanja u industrijskim i elektroenergetskim postrojenjima jesu njegova specijalnost.



Jordan Radosavljević, rođen je 1973. godine u Kosovskoj Mitrovici u Republici Srbiji. Diplomirao je 1998. na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini, dok je magistrirao 2003. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Danas je asistent Fakulteta tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici Univerziteta u Prištini. Objavio je više naučnih radova iz oblasti distribuirane proizvodnje električne energije i analize prenosnih i distributivnih mreža. Distribuirana proizvodnja električne energije ostaje oblast koju istražuje i tokom izrade doktorske disertacije.

Žarko Markov

Proračun upravljačke jedinice u paketskoj telefonskoj mreži Elektroprivrede Srbije

Stručni rad
UDK: 621.395

Rezime:

U radu se opisuje rad centralne upravljačke jedinice u budućoj telefonskoj mreži Elektroprivrede Srbije. Vršiti se proračun propusnosti ove jedinice polazeći od broja korisnika, pretpostavljenih vrednosti broja poziva po korisniku, zahtevane raspoloživosti i dozvoljenog saobraćajnog opterećenja. Takođe se pokazuje da je potreban bitski protok za signalizaciju zanemarljiv u odnosu na protoke govornih paketa u novoj mreži.

Ključne reči: paketska telefonija, softsvič, propusnost

Abstract:

APPLICATION OF INTERSECTOR ANALYSIS IN CORPORATE ENTERPRISES OF EPS THERMAL POWER SECTOR

The operation of Common Control Unit of new EPS packet telephone network is described. The calculation of needed CCU throughput is done based on user traffic, required availability and largest traffic load of CCU. It is shown that needed bit rate for CCU operation is negligible in comparison to the rate required for speech.

Key words: VoIP, softswitch, throughput

1. UVOD

Načini upravljanja telefonskim vezama su se menjali sa promenom telefonskih tehnika. U klasičnoj telefonskoj tehnici upravljanje telefonskim pozivima je bilo vezano za centrale, tj. u mreži je bilo decentralizovano. Prve elektomehaničke centrale su imale objedinjene komutacione i upravljačke organe pa problem nedovoljnosti upravljačkih resursa nije postojao. Pojavom centrala sa tzv. indirektnim upravljanjem problem upravljačkog organa centrale postaje uočljiv. U teoriji usluživanja se pojavljuju prvi modeli koji predstavljaju upravljački organ UO (*common control unit*, CCU). Problem upravljanja postaje još složeniji u centralama sa programskim upravlja-

njem (*stored program control*, SPC). Tu se po prvi put pojavljuje mogućnost preopterećenja UO i mere za predviđanje i savlađivanje preopterećenja. Okolnosti postaju još složenije u paketskim mrežama, u kojima upravljačka jedinica (*softswitch*, *call manager*, *gatekeeper*) upravlja pozivima cele mreže ili dela mreže. U ovom radu pokušavamo da odredimo potrebna svojstva upravljačke jedinice za telefoniju buduće paketske mreže Elektroprivrede Srbije (EPS).

2. UPRAVLJANJE TELEFONSKIM POZIVIMA

Upravljačka jedinica tj. upravljački organ upravlja procesom ostvarenja i raskidanja veze. U tom procesu uvek postoje poslovi koji slede redosled us-

Dr Žarko Markov, vanr prof. – Iritel, 11 080 Zemun, Batajnički put 23

postavljanja i raskida veze koji se dele u faze. Sa gledišta upravljačkog organa postoje sledeće četiri faze telefonske veze:

- faza predbiranja u kojoj se utvrđuje identitet inicijatora veze, dodeljuje početna signalizacija i obezbeđuju resursi potrebni za sledeću fazu;
- faza biranja je najsloženija jer se sastoji od prijema i tumačenja adrese traženog, pronalaženje puta do traženog i razmene signalizacije a završava se odzivom traženog pretplatnika;
- faza veze najmanje opterećuje upravljački organ i
- faza završetka veze u kojoj se izmenjuje signalizacija o završetku razgovora a resursi dovode u početno slobodno stanje.

3. UPRAVLJANJE TELEFONSKIM POZIVIMA U KLASIČNIM MREŽAMA

Upravljanje pozivima u klasičnim mrežama vrše upravljački organi telefonskih centrala. Upravljački organ centrale nadgleda sve delove centrale (linijska kola, komutaciono polje i prenosnike). U radu sa pretplatničkim kolima upravljački organ telefonske centrale otkriva aktivne pretplatnike i sa njima izmenjuje signalizaciju. Upravljački organ donosi odluku o upućivanju u *lokalu* ili mreži. U komutacionom polju upravljački organ traži informacioni put, uspostavlja i raskida vezu. U prenosničkom delu upravljački organ ima ulogu upravljanja razmenom i tumačenjem signala koji čine signalizaciju između centrala. Zauzimanje i oslobađanje kanala između centrala je, takođe, primer delovanja upravljačkog organa u prenosničkom delu.

Kod savremenih centrala upravljački organ se pojavljuje kao učesnik u upravljanju mrežom (zaočilaženje neispravnih i preopterećenih mesta, alternativno upućivanje). Ovo svojstvo je naročito potrebno u telefonskoj mreži EPS-a u kojoj je raspoloživost ostvarivanja veza operativne telefonije zahtev koji ima prioritet.

Osnovni poslovi upravljačkog organa telefonske centrale su oni poslovi koje mora da obavlja upravljački organ svake telefonske centrale pa čak i one najjednostavnije. Oni se odnose na osnovnu funkciju telefonske centrale tj. uspostavljanje veze između korisnika u mreži. Svi ovi poslovi upravljačkog organa (negde se zovu i funkcijama centrale) zajedno čine program rada upravljačkog organa. Program rada centrale postoji u svim centralama bez obzira na tehnologiju. Program je u najstarijim tehnologijama ostvarivan relejnim logičkim kolima (ožičeni program, *wired program control*), u sledećim tehnologijama logičkim mrežama sastavljenim od poluprovodničkih elemenata a u savremenim centralama program postoji u obliku uskladištenog

skupa podataka (softvera, *stored program control*, SPC).

Može se, dakle, reći da je osnovno svojstvo upravljanja pozivima u klasičnim telefonskim mrežama to što se nalazi decentralizovano po centralama.

4. UPRAVLJANJE TELEFONSKIM POZIVIMA U PAKETSKIM MREŽAMA

Telefonska tehnika se u paketskim mrežama kretala putem decentralizacije i centralizacije. Naime, novi paketski tj. IP telefoni sadrže u sebi mogućnosti koje su ranije bile svojstvene centralama (digitalna obrada signala, stvaranje mrežnih signala) pa je u tom smislu vršena decentralizacija.

Osnovna svojstva mreže kao što su pozivni brojevi i adrese korisnika mreže tj. plan upućivanja se ne mogu nalaziti u puno mrežnih tačaka jer bi njihove izmene, koje su česte, bile složene. Zbog toga su ove mogućnosti centralizovane u upravljačkom organu mreže ili dela mreže.

Upravljačke jedinice i njihovi delovi u paketskim mrežama imaju sledeća imena: *Media Gateway Controller*; *Proxy Server*; *Gatekeeper*; *Proxy Gatekeeper*; *Call Server*; *Call Agent*; *Softswitch*; *Switch Controller*; *Registrar*; *Redirect Server*; [1].

Načelo rada ovih upravljačkih organa je isto kao i kod centrala samo što se odnose na deo mreže: samo se u njemu može odrediti stanje pozvanog korisnika i odrediti upućivanje tj. prosleđivanje poziva.

5. UPRAVLJANJE U MEŠOVITIM MREŽAMA

Upravljanje uspostavom poziva u mešovitim IP i ne-IP mrežama se svodi na kombinaciju upravljanja. Naime, u klasičnom delu mreže upravljanje pozivima vrše centrale a u paketskom delu upravljačka jedinica. Na sučelju mreže se nalaze pretvarači signalizacije (i govornog signala) tzv. gejtvjejevi (*gateway*, GW) koji informaciju pretvaraju u oblik koji će biti razumljiv u mreži u koju se šalje, [2].

Ipak, u mešovitim mrežama postoji jedan izuzetak koji kviri sliku o nezavisnom upravljanju u paketskom i nepaketskom delu mreže. Naime, savremene signalizacije na sučelju nepaketske i paketske mreže, u smeru ka paketskoj mreži, signalizaciju stvorenu u klasičnoj mreži, prevode u paketsku signalizaciju ali prenose i učaurenu originalnu signalnu poruku. Ovaj postupak omogućava da ova signalna poruka dođe do drugog dela klasične mreže i da bude isporučena u originalnom obliku tj. bez prevodenja. Ovo se, sa gledišta centrale koja prima signali-

zaciju, može tumačiti kao da paketskog dela nije ni bilo tj. kao da je signalna poruka prošla kroz potpuno klasičnu mrežu.

6. TELEFONSKA MREŽA EPS-A

Telefonska mreža EPS-a će u početku biti mešovita ali će se dalje razvijati ka potpuno paketskoj, [3]. Mreža se sastoji od paketske okosnice koja će služiti i drugim namenama sem telefonske. Paketsku okosnicu čine ruteri okosnice (*core router*) i visokoprotlačni linkovi okosnice (*core link*). Za telefonsku tehniku deo okosnice je i upravljački organ za telefoniju (*softswitch*). Pristupanje paketskoj okosnici se vrši pristupnim ivičnim ruterima (*edge router*). Svaki ivični ruter je vezan bar na dva rutera okosnice. Preko pristupnih rutera okosnici mogu pristupiti IP telefoni, klasični i ISDN telefoni preko centrala i gejtvjejeva. Neke klasične centrale će i dalje biti povezane poprečnim vezama tako da će u ovoj mešovitoj mreži prvog koraka postojati pozivi koji se ostvaruju mimo paketske okosnice. Razvoj mreže će ići ka potpunoj paketizaciji mreže tj. ka zameni klasičnih centrala paketskim centralama tj. tzv. *voice ruterima*.

Upravljanje pozivima u novoj paketskoj mreži će vršiti dva upravljačka organa čiji pojedinačni upravljački kapaciteti treba da budu dovoljni za upravljanje svim telefonskim pozivima u mreži kada ona bude potpuno paketska. Jasno je da će u prvom koraku, kada još u mreži budu radile klasične centrale, kapacitet ovih upravljačkih organa biti prevelik.

7. PRORAČUN UPRAVLJAČKE PROPUSNOSTI

Rad upravljačkog organa se zasniva na usluživanju korisničkih zahteva. Upravljački organ dobija zahtev za uslugom u obliku signalne poruke (na primer: dignuta slušalica, izabrani broj). On ovu poruku treba što pre da obradi i izazove traženu posledicu (dodela tonskog signala *slobodno biranje* ili upućivanje poziva). Pošto se signalni podaci tj. pozivi ne smeju izgubiti ovo usluživanje je sa čekanjem.

Kod usluživanja sa čekanjem za korisnika je važna veličina ukupnog vremena usluge tj. veličina vremena koje zahtev za uslugom provede u sistemu usluge.

U literaturi o usluživanju se kaže da srednje vreme provedeno u sistemu usluživanja (t_s) predstavlja zbir srednjih vrednosti vremena čekanja (t_w) i vremena usluživanja (t_m):

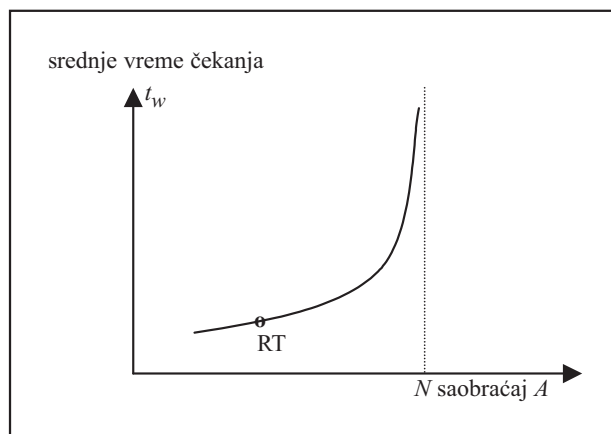
$$t_s = t_w + t_m \quad (1)$$

Vreme t_s predstavlja vreme od dolaska zahteva do kraja njegovog usluživanja.

Pretpostavimo da je UO predstavljen jednokanalnim sistemom usluge. U ovaj sistem dolaze zahtevi na uslugu, sa intenzitetom λ , a vreme usluge je slučajna veličina čije je srednje vreme, kao što je rečeno, t_m , a srednje kvadratno odstupanje σ^2 . Saobraćaj zahteva je $\lambda t_m = A$ pa je srednje vreme koje zahtev provede u sistemu

$$t_s = t_w + t_m = t_m [1 - 0,5A(1 - \sigma^2/t_m^2)] / (1 - A) \quad (2)$$

Iz jednačine (2) se vidi da vreme provedeno u sistemu usluge pored vremena usluge zavisi i od saobraćaja. Kako se saobraćaj povećava i njegova vrednost približava broju uslužujućih organa (u posmatranom slučaju 1) vreme čekanja postaje dominantno, slika 1.



Slika 1.

Može se, dakle, zaključiti da vreme koje zahtev provede u sistemu zavisi od vremena usluge i vremena čekanja na uslugu. Vreme usluge zavisi od tehničkih rešenja UO a vreme čekanja od opterećenosti UO.

Zbog toga je važno predvideti najveća saobraćajna opterećenja tako da se i u tim slučajevima radna tačka usluživanja (RT, slika 1.) ne približi oblasti velikog saobraćaja.

U telefonskoj tehnici se smatra da sve aktivnosti oko jedne veze u nekom čvoru treba da se završe za vreme od oko jedne sekunde. Zbog toga su u klasičnoj digitalnoj telefoniji doneti propisi koji određuju gornju granicu trajanja vremena pojedinih faza telefonske veze, [4]. Ove vrednosti su prikazane u tabeli 1. Pod vremenom obrade se u ovoj tabeli pod-

razumeva ukupno vreme koje zahtev provede na usluzi tj. vreme usluge uvećano za vreme čekanja.

Sada se može pristupiti određivanju propusnosti UO tj. njegovoj sposobnosti da uspostavlja telefonske veze. Ova propusnost se definiše na dva načina.

Po prvom, starijem, osnovno svojstvo koje definiše propusnost upravljačkog organa je broj pokušaja ostvarivanja poziva u glavnom satu opterećenja, BHCA (*Busy Hour Call Attempts*). Prema samom nazivu se vidi da je ova veličina nedovoljno određena jer se ne govori o sudbini pokušaja ostvarenja veza. Zbog toga je bolja novija definicija propusnosti, BHCC (*Busy Hour Call Completions*) koja očigledno daje broj ostvarenih poziva u glavnom satu opterećenja. BHCC je očigledno najveći broj poziva koje upravljački organ mreže ili čvora može da ostvari u toku glavnog sata opterećenja. Ovde je važno reći da i ovo nije potpuna definicija. Potpuna definicija BHCC bi bila postojeća uz dodatak da se ovi pozivi ostvare tako da se vrednosti iz tabele 1, ne prevaziđu. Samo u tom slučaju se neki pozivi, zbog predu-

gog vremena čekanja, neće pretvoriti u jalovi saobraćaj, odustajanjem korisnika.

8. PRORAČUN

Potrebno je, dakle, odrediti propusnost upravljačkih jedinica paketske telefonske mreže EPS-a pod sledećim uslovima.

1. Broj krajnjih korisnika je 30 000. Mada svaki korisnik nema svoj aparat radi pouzdanosti proračuna ovde će se uzeti da je broj korisnika jednak broju korisničkih terminala.
2. Postoje dve upravljačke jedinice ali propusnost svake mora da bude takva da samostalno može da zadovolji traženu propusnost.
3. U slučaju kvara jedne jedinice druga preuzima upravljanje u celoj mreži.
4. Najveće dozvoljeno opterećenje jedne upravljačke jedinice kad obe rade je 0,2 erlanga, tj. 0,4 erlanga kada jedna ne radi. (Ovde se koristi analogija sa organizacijom rada visoke raspoloživosti

Tabela 1.

Najveće propisane vrednosti dužine vremena obrade pojedinih faza telefonskih veza, digitalne centrale, normalno opterećenje		
Vreme na koje se odnosi norma	Najduže dozvoljeno srednje vreme ms	Najduže vreme za koje će dozvoljeno bar 95% poziva biti obrađeno tj. $t_{0,95}$ ms
1. Vreme od dizanja slušalice do prvog signala „sl. biranje”	400	600
2. Vreme od zauzimanja voda do potvrde zauzimanja	300	400
3. Vreme od prijema do slanja, signalizacije, tranzitna veza	250	300
4. Vreme od prijema do slanja, signalizacije, odlazna veza, analogna pretplatnička linija	300	400
5. Vreme od prijema do slanja signalizacije, odlazna veza, digitalna pretplatnička linija, signalizacija sa preklapanjem	400	600
6. Vreme od prijema do slanja signalizacije, odlazna veza, digitalna pretplatnička linija, signalizacija „sve zajedno”	600	800
7. Vreme uspostavljanja puta, informacija, put se uspostavlja posle signalizacionog, odlazna ili tranzitna veza	250-350	300-500
8. Vreme uspostavljanja puta informacija, put se uspostavlja posle signalizacionog, dolazna ili lokalna veza	250	300
9. Vreme uspostavljanja puta informacija, put se uspostavlja kad i signalizacioni	isto kao pod 3,4,5. i 6.	
10. Vreme prepoznavanja traženog tj. vreme uspostave veze uvećano za kašnjenje signala prvog poziva analogna linija	650	900
11. Vreme prepoznavanja traženog, digitalna linija	400-600	600-800
12. Vreme od prijema broja do tonskog signala „kontrola poziva”, dolazna veza	kao pod 10.	
13. Vreme od prijema broja do tonskog signala „kontrola poziva”, lokalna veza	300	500
14. Vreme od dizanja slušalice pozvanog do ukidanja pozivnog signala	100	150
15. Vreme raskidanja veze	250	300

kanala CCS No 7 u telefonskim mrežama, videti [5]). Ovaj uslov proističe iz potrebe zadovoljenja brzine rada, tabela 1.

5. Svaki korisnik stvara 2 poziva u odlazu u toku glavnog sata opterećenja. Ova vrednost je takođe uzeta uvećana, pošto značajan broj radnika EPS-a radi poslove koji nisu vezani za telefoniranje.
6. Proračun se vrši za slučaj kada svi korisnički terminali budu IP telefoni. Do tada će upravljačke jedinice biti znatno predimenzionisane.
7. Operativnim pozivima se raznim tehnikama daje prednost nad pozivima poslovne telefonije. Ova rezerva se odnosi na retke intervale kada zbog ekcesnih situacija dolazi do saobraćajne preopterećenosti. U tom slučaju bi trpeli tj. bili sporije usluženi samo pozivi poslovne telefonije, dok bi usluga operativnih poziva ostala na zahtevanom nivou.

Potrebna propusnost upravljačkih jedinica je, kao što se lako vidi iz uslova 1. i 5, 60 000 poziva u satu.

Zbog uslova 3 svaka jedinica mora imati propusnost 60 000 poziva u satu.

Zbog uslova 4. svaka upravljačka jedinica mora imati propusnost takvu da, kada radi sama u mreži, opterećenje od 60 000 poziva čini 0,4 erlanga. To znači da je krajnja propusnost svake jedinice 150 000 poziva u satu ili 2500 poziva u minutu ili 42 poziva u sekundi.

Sam protok signalnog saobraćaja je skoro zanemarljiv u odnosu na protok govornog saobraćaja.

Ukoliko signalizacija u mreži bude SIP, [6], tada se potreban protok za signalizaciju računa kao broj ostvarenih veza u sekundi pomnožen brojem signalnih bita u SIP porukama.

Protok signalnog saobraćaja se može proceniti na sledeći način.

- Broj ostvarenih veza u sekundi je oko 17.
- Prosečan broj signalnih poruka za jednu vezu je 8.
- Prosečan broj okteta jedne poruke 300.

Potrebni bitski protok okosnice za signalni telefonski saobraćaj je $(17 \text{ veza/s}) \times (8 \text{ poruka po vezi}) \times (300 \text{ okteta po poruci}) \times (8 \text{ bita po oktetu}) = 326,4 \text{ kb/s}$.

Pošto jedna paketska telefonska veza (bez kompresije) zahteva oko 130 kb/s, vidi se da je zahtevani signalni protok za celu mrežu zanemarljiv u odnosu na potrebni protok za govorne pakete.

9. ZAKLJUČAK

Za uspostavu telefonskih veza u budućoj paketskoj mreži EPS-a određena su osnovna svojstva. Iz razloga raspoloživosti će postojati (bar) dve upravljačke jedinice. Krajnji, teorijski, kapacitet svake od jedinica je uspostava 150 000 veza u satu. Stvarno saobraćajno opterećenje upravljačkih jedinica će biti najviše 0,2 erlanga kada rade obe ili 0,4 erlanga kada radi jedna. Na prenos signalnih poruka u celoj mreži se troši vrlo mali protok, koji je manji od protoka potrebnog za tri govorne veze.

10. LITERATURA

- [1] Markov, Ž.: SAVREMENA TELEFONSKA TEHNIKA, Iritel, 2005
- [2] Markov, Ž.: O SUČELJU KLASIČNE I PAKETSKE TELEFONSKE MREŽE, Telekomunikacije, 1/06.
- [3] EPS-Projekat telekomunikacije: ADAPTACIJA I INOVACIJA PROJEKTA TELEFONSKE MREŽE SA ASPEKTA PRIMENE IP TEHNOLOGIJE I NOVE ORGANIZACIJE ELEKTROPRIVREDE, 2007
- [4] ITU-T: Recommendation Q.543, march 1993
- [5] ITU-T: Recommendation Q.706, march 1993
- [6] IETF: RFC 3261, june 2002

Rad je primljen u uredništvo 05. 09. 2008. godine



Žarko Markov rođen 1946. godine. Diplomirao 1969, magistrirao 1975. godine i doktorirao 1976. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Radi u Iritelu na razvoju i proizvodnji telefonskih centrala za elektroprivrednu telefonsku mrežu (videti: www.iritel.com/english/products/products.html). 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. Dobitnik nagrade za elektroniku iz fonda „Prof. Branko Raković” za 1997. godinu.

Primena međusektorske analize u privrednim društvima termoenergetskog sektora Elektroprivrede Srbije

Stručni rad
UDK: 303.72533; 621.311.22; 621.11

Rezime:

U savremenim uslovima privređivanja, podstaknutog intenziviranjem procesa restrukturiranja termoenergetskog sektora Elektroprivrede Srbije, nameće se zahtev svrsishodnog, celovitog, pravovremenog, odgovarajućeg metodološkog obuhvatanja, istraživanja i prezentiranja strukture, načina i procesa funkcionisanja proizvodnog sistema privrednog društva uz blagovremeno rešavanje bitnih problema sa kojima se privredna društva sreću u svojoj egzistenciji i razvoju.

Za termoenergetski sektor Elektroprivrede Srbije karakteristično je dugogodišnje izostajanje ozbiljnih investicija u tehnološku modernizaciju, proširenje postojećih i izgradnju novih proizvodnih sistema kao zbirne posledice složenih i nepovoljnih geopolitičkih kretanja, uticaja sankcija, secesionih procesa, restrukturiranja, tranzicionih tokova i sl.

Strateška važnost uglja kao glavnog energonosioca u termoenergetskom sektoru Elektroprivrede Srbije u sadašnjem i vremenu pred nama, zatim dalekosežnost i posledičnost uticaja donesenih odluka, promenljivost i značaj otvorenih planerskih, tehničkih i ekonomskih pitanja vezanih za eksploataciju, preradu i korišćenje uglja, kao i jak inicijalni uticaj industrije uglja na ekonomski sistem zemlje su obeležja koja su imala odlučujući uticaj na izbor teme ovog rada.

Ovim radom želim da proširim područje primene međusektorske analize u okviru termoenergetskog sektora Elektroprivrede Srbije uz realno sagledavanje međusobno veoma složenih proizvodnih zavisnosti i uticaja unutar privrednog društva.

Ključne reči: *EPS, termoenergetski sektor, privredna društva, međusektorski modeli, ulaz-izlaz (input-output) tabele, upravljanje*

Abstract:

**APPLICATION OF INTERSECTOR ANALYSIS IN CORPORATE ENTERPRISES
OF EPS THERMAL POWER SECTOR**

In modern business conditions, stimulated by intensification of EPS thermal power sector restructuring process (TPS), an irrefutable requirement is imposed directed towards functional, wholesome, timely, adequate methodological coverage, investigation and presentation of structure, manner and functioning process of the production system of corporate enterprise production system with timely settlement of essential issues which they are facing in their existence and development.

EPS thermal power sector is characterised by a longstanding lack of investments into technological modernisation, expansion of existing and construction of new production systems as the joint effect of

complex and unfavourable geopolitical movements, impact of sanctions, secession processes, restructuring, transitional trends, etc.

Strategic importance of coal as the main energy source within EPS thermal power sector in current times and those to come, followed by far-reaching and consequential quality of decision-making, changeability and significance of open planning, technical and economic issues related to coal mining, processing and utilisation, as well as the strong initial impact of coal industry to the country's economic system are features that had a decisive impact on the selection of the topic of this paper.

This paper is aimed at expanding the application area of intersector analysis of corporate enterprises within EPS thermal power sector, with realistic consideration of very complex production interdependencies and impacts within corporate enterprises.

Key words: EPS, thermal power sector, corporate enterprises, inter-sector models, input-output tables, management

1. UVOD

U procesu restrukturiranja JP Elektroprivreda Srbije (EPS), saglasno Zakonu o energetici, izvršeno je finansijsko i pravno razdvajanje EPS-a i odvajanje proizvodnje, prenosa, distribucije i prodaje. U okviru termoenergetskog sistema EPS-a početkom januara 2006. godine formirana su četiri nova privredna društva (PD). Formiranje (PD) imalo je za cilj, između ostalog, i ostvarivanje bolje integracije i povezanosti rada i sredstava rada u smislu ukupnog ostvarivanja boljeg materijalnog i društvenog napretka.

U EPS-u je vrlo važno podići nivo upravljanja termoenergetskim sektorom, a to je moguće kroz primenu savremenih matematičkih metoda koje sobom nose bogatu analitičko-informativnu osnovu za dalje razvijanje tržišnog sistema planiranja, a i omogućavaju analizu i kvantificiranje određenih efekata, nastalih pod uticajem unutrašnjih i spoljnjih faktora, na ukupno stanje određenog sistema.

Metode međusektorske (MS) analize, i pored toga što su dosta dugo u funkciji, omogućavaju proučavanje veoma složenih odnosa i međuuticaja u složenim makroekonomskim ali i u mikroekonomskim sistemima.

Primena ovog modela u PD kao i u celom JP EPS-u utoliko je značajnija nakon donošenja određenih sistemskih zakona i povećanog zahteva za podizanje svih finansijskih i tehnoekonomskih parametara pokazatelja.

U radu su navedene metodološke osnove MS analize PD, koje se mogu primeniti na bilo koje PD u okviru EPS-a, pod određenim uslovima, ili na EPS kao celinu.

2. METODOLOŠKE OSNOVE MODELA MEĐUSEKTORSKE ANALIZE

2.1 Međusektorski model privrednog društva

Savremeni način poslovanja PD sadrži kompleksne zadatke. Obezbeđenje skladnih odnosa iz-

među organizacionih jedinica u okviru PD i drugih privrednih organizacija koje se pojavljuju u svojstvu dobavljača repromaterijala, ili kupaca gotovih proizvoda, veoma je složeno.

Neka se PD sastoji od n proizvodnih podsistema osnovnih radnih jedinica RJ: x_1, x_2, \dots, x_n . Svaka proizvodna RJ u okviru PD kao zaokružena radna, odnosno tehnološka celina ima tačno određeni način odvijanja proizvodnje, odnosno svaki podsistem PD je homogen i proizvodi samo po jedan proizvod. Veličina svih vidova utrošaka za proizvodnju bilo kog podsistema je u linearnoj zavisnosti od nivoa proizvodnje odgovarajućeg podsistema.

MS (tabela 1.) sadrži tri bloka:

- Prvi blok (levo gore) je centralno polje date (MS) tabele i pokazuje strukturu reprodukcione potrošnje PD. Ovaj blok tabele sadrži i iskazuje veličinu i strukturu proizvodnih uslovljenosti svih podsistema RJ na datom nivou tehnološkog i ekonomskog razvoja u određenoj jedinici vremena [2]. Zapravo radi se o kvadratnoj matrici tipa $n \times n$ čiji su elementi X_{ij} ;
- Drugo polje, (desno gore) od posmatranog kvadranta reprodukcione potrošnje, je kvadrant predstavljen poljem finalne potrošnje tj. eksterne realizacije osnovnih RJ (bruto investicije radnih jedinica i sl.) Y_1, Y_2, \dots, Y_n ;
- Ispod polja reprodukcione potrošnje nalazi se treći kvadrant razmatrane tabele koji sadrži elemente eksternih troškova potrebnih za ukupnu proizvodnju određene radne jedinice (materijal, energija, usluge i drugo), zatim društvena davanja, lični dohoci, amortizacija, fondovi i sl.).

Iz tabele 1. može se uočiti da ukupna količina raspodeljene proizvodnje, odnosno bilansna jedinična proizvodnja za RJ X_i data je sledećim sistemom jednačina:

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + Y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

U jednačini $\sum_{j=1}^n x_{ij}$ predstavlja količinu proizvodnje RJ x_i koja se troši u ostalim sektorima.

U tom slučaju je $i = j, i, j=1,2,\dots,n$.

Ukoliko je $i=j, i, j=1,2,\dots,n; \sum_{j=1}^n x_{ij}$ predstavlja količinu proizvodnje RJ koja se troši u istoj RJ i najzad, $Y_i (i=1,2,\dots,n)$ predstavlja preostale količine raspodeljene proizvodnje RJ X_i koje su namenjene eksternoj realizaciji.

Jednačina troškova za istu RJ može se prikazati sistemom jednačina:

$$X_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} + F_j, \quad (j = 1,2,\dots,n),$$

gde su: $\sum_{j=1}^n x_{ij} (i, j = 1,2,\dots,n)$ – proizvodni (materijal-

ni) troškovi nastali u internoj realizaciji, $F_j, (j = 1,2,\dots,n)$ – dodatni eksterni troškovi u koje spadaju svi troškovi i elementi proizvodnje, izuzev troškova nastalih u internoj realizaciji koji su potrebni za obavljanje procesa proizvodnje, kao i sastavni elementi ukupne proizvodnje [3].

Dalje možemo napisati da je: $F_j = M_j + E_j + O_j + A_j + D_j$,
gde su [1]:

M_j – troškovi materijala i usluga

E_j – električna energija

O_j – ostali troškovi (ambalaža i sl.)

A_j – amortizacija

D_j – dohodak, odnosno UO_j – ugovorene obaveze

Z_{oj} – zakonske obaveze; BZ_j – bruto zarade

F_{oj} – fondovi

Polazeći od jedne najvažnije osobine MS modela da je $X_i = X_j$ dobijamo sledeći oblik jednačina [3]:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + Y_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + F_j, \quad i, j = 1,2,\dots,n$$

Za celo PD ona bi imala sledeći oblik:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} + F_j$$

$$\text{odnosno: } \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{j=1}^n F_j \quad (2)$$

2.2 Matrice tehničkih koeficijenata, koeficijenata realizacije, koeficijenata eksternih troškova, inverzne matrice tehničkih koeficijenata i koeficijenata realizacije

Tehnički koeficijenti (koeficijenti proporcionalnosti koji imaju konstantne vrednosti koje su odre-

dene tehnološkim faktorima) iz kojih se sastoji matrica tehničkih koeficijenata ($A = [a_{ij}]$) izražavaju troškove proizvoda jedne RJ po jedinici proizvodnje druge RJ. Tehnički koeficijenti su praktično normativni proizvodnje (normativi trošenja).

U PD kod određivanja tehničkih koeficijenata prihvaćeno je da su utrošci svakog ulaza direktno proporcionalni obimu proizvodnje za koji taj ulaz služi. To znači da je utrošak proizvoda RJ i (X_{ij}) u proizvodnji RJ j (X_j) određen linearnom homogenom funkcijom: $X_{ij} = a_{ij}X_j$, odnosno

$$a_{ij} = X_{ij}/X_j. \quad (3)$$

Matrica koeficijenta realizacije ($B = [b_{ij}]$) sadrži koeficijente realizacije (b_{ij}) koji pokazuju da su utrošci RJ i (X_{ij}) direktno proporcionalni njenoj ukupnoj realizaciji (X_i), tj. da je $X_{ij} = b_{ij}X_i$, odnosno

$$b_{ij} = X_{ij}/X_i. \quad (4)$$

Matrica koeficijenata eksternih troškova odnosi se na kvantificiranje međuzavisnosti koje se pojavljuju u procesu proizvodnje RJ i PD u celini i ona sadrži direktne koeficijente eksternih (dodatnih) troškova, koji pokazuju direktne zavisnosti RJ od eksternih troškova, odnosno od dobavljača odgovarajućeg materijala, usluga i sl. [2].

Elementi inverzne matrice tehničkih koeficijenata izražavaju način rasprostiranja ukupnih efekata po celom proizvodnom sistemu koji nastaju povećanjem jedinice eksterne realizacije određene RJ. Linearna homogena funkcija $X_{ij} = a_{ij}X_j$ može poprimiti sledeću matricnu formu:

$$X = AX + Y \quad (5)$$

gde su:

X – vektor ukupne proizvodnje RJ dimenzija n ;

Y – vektor eksterne realizacije RJ dimenzija n ;

A – kvadratna matrica tehničkih koeficijenata dimenzija ($n \times n$).

Proizvod matrice A i vektora X je vektor kolona dimenzije n koja pokazuje apsolutni obim isporuka RJ i RJ j koji odgovara datoj tehnologiji i datom obimu proizvodnje u RJ $j (i, j = 1,2,\dots,n)$.

Rešavanjem prethodne matricne jednačine po X dobija se proizvodnja u svakoj RJ koja je potrebna da bi se podmirila egzogena određena tražnja:

Prethodna jednačina može da poprими i sledeći oblik:

$$X = (I - A)^{-1} \cdot Y \quad (6)$$

gde su:

$(I - A)^{-1}$ – matrica inverznih koeficijenata;

Tabela 1.

Međusektorska tabela privrednog društva [3]

Primaoci Davaoci		Reprodukciona potrošnja u radnim jedinicama						Finalna potrošnja /eksterna realizacija/					Ukupno raspod. proizv. X	
		1	2	·	j	·	n	Ukupno	⁽ⁱ⁾ Y	·	⁽ⁱ⁾ Y	·		⁽ⁱ⁾ Y
Materijalni troškovi po radnim jedinicama	1	X ₁₁	X ₁₂	·	X _{1j}	·	X _{1n}	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{1j}$	⁽¹⁾ Y ₁	·	^(j) Y ₁	·	⁽ⁿ⁾ Y ₁	X ₁
	2	X ₂₁	X ₂₂	·	X _{2j}	·	X _{2n}	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{2j}$	⁽¹⁾ Y ₂	·	^(j) Y ₂	·	⁽ⁿ⁾ Y ₂	X ₂
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	i	X _{i1}	X _{i2}	·	X _{ij}	·	X _{in}	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{ij}$	⁽¹⁾ Y _i	·	^(j) Y _i	·	⁽ⁿ⁾ Y _i	X _i
	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
	n	X _{n1}	X _{n2}	·	X _{nj}	·	X _{nn}	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{nj}$	⁽¹⁾ Y _n	·	^(j) Y _n	·	⁽ⁿ⁾ Y _n	X _n
SVEGA		$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{ij}$	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{ij}$	·	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{ij}$	·	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{ij}$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{ij}$	$\sum_{i=1}^n \overset{(1)}{O}Y_i$	·	$\sum_{i=1}^n \overset{(j)}{O}Y_i$	·	$\sum_{i=1}^n \overset{(n)}{O}Y_i$	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_i$
Troškovi materijala M	M	M ₁	M ₂	·	M _j	·	M _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}M_j$						
Električna energija E	E	E ₁	E ₂	·	E _j	·	E _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}E_j$						
Ostalo O	O	O ₁	O ₂	·	O _j	·	O _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}O_j$						
Materijalni troškovi (E+M+O)	T	T ₁	T ₂	·	T _j	·	T _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}T_j$						
Amortizacija A	A	A ₁	A ₂	·	A _j	·	A _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}A_j$						
Ugovorne obaveze UO	UO	UO ₁	UO ₂	·	UO _j	·	UO _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_{ij}$						
Zakonske obaveze ZO	ZO	ZO ₁	ZO ₂	·	ZO _j	·	ZO _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}ZO_j$						
Bruto zarada BZ	BZ	BZ ₁	BZ ₂	·	BZ _j	·	BZ _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}BZ_j$						
Fondovi FO	FO	FO ₁	FO ₂	·	FO _j	·	FO _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}FO_j$						
Dohodak UO+ZO+BZ+FO	D	D ₁	D ₂	·	D _j	·	D _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}D_j$						
Eksteremni troškovi E+M+O+A+D	F	F ₁	F ₂	·	F _j	·	F _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}F_j$						
Ukupna raspolo iva proizvodnja X	X	X ₁	X ₂	·	X _j	·	X _n	$\sum_{j=1}^n \overset{n}{O}X_j$						

I – jedinična matrica.

Matrica inverznih koeficijenata može se iskazati u sledećem obliku:

$$(I - A)^{-1} = (I + A + A^2 + A^3 + \dots)$$

gde elementi matrice A pokazuju direktnu zavisnost između RJ u okviru PD, dok elementi matrice A^2, A^3, \dots pokazuju indirektno veze između RJ.

Inverzna matrica koeficijenata može se prikazati u sledećoj matricnoj formi:

$$X = BX + F \quad (7)$$

Gde su:

X – vektor ukupne proizvodnje, odnosno realizacije;

F – vektor dodatnih eksternih troškova;

B – matrica koeficijenata realizacije.

Rešavanjem po X dobija se sledeća jednačina:

$$X = (I - B)^{-1} \cdot F \quad (8)$$

Gde su:

$(I - B)^{-1}$ – matrica inverznih koeficijenata realizacije;

I – jedinična matrica.

Prethodno navedena jednačina izražava troškove realizacije određene RJ X_j u funkciji od „eksternih troškova” F_j svih RJ u PD.

Elementi inverzne matrice $(I - B)^{-1}$ pokazuju povećanje troškova realizacije RJ j ako dodatni (eksterni) troškovi RJ i porastu za jedinicu.

3. MEĐUSEKTORSKI MODELI U PRIVREDNOM DRUŠTVU

MS modeli se mogu primeniti za različite analitičko-informativne svrhe u PD. U domenu ekonometrijskih analiza u PD analizirani su modeli za ispitivanje strukture usklađenosti PD, ispitivanje stepena integrisanosti RJ u PD, ostali MS modeli u PD.

3.1 Medusektorski modeli za ispitivanje strukture usklađenosti u privrednom društvu

Analiza strukture usklađenosti odgovarajućeg proizvodnog sistema moguća je na osnovu poznavanja matrice tehničkih koeficijenata, matrice inverznih koeficijenata (tabela 2.), a posebno sistema jednačina (9).

Sistem jednačina (9) treba da ispuni tri osnovna pristupa:

- 1) Za zadati nivo proizvodnje svih radnih jedinica (X_1, X_2, \dots, X_n) može se odrediti koliki deo od ukupne proizvodnje preostaje za zadovoljenje finalne potrošnje,

$$Y = X - AX = (I - A)X \quad (9)$$

Ova proizvodna funkcija ukazuje na zaključak da je finalna potrošnja Y RJ funkcija ukupne proizvodnje svih RJ i da se ta funkcionalnost izražava preko tehničkih koeficijenata a_{ij} .

Tabela 2

Uporedni pregled tehničkih koeficijenata i koeficijenata inverzne matrice za određene RJ

Radne jedinice $X_i \ i=1,2,\dots,n$	$X_1 \ (j=1)$		$X_2 \ (j=2)$		$X_n \ (j=n)$	
	a_{ij}	$(I-A)^{-1}$	a_{ij}	$(I-A)^{-1}$	a_{ij}	$(I-A)^{-1}$
1	a_{11}		a_{12}		a_{1n}	
2	a_{21}		a_{22}		a_{2n}	
.	.		.		.	
n	a_{n1}		a_{n2}		a_{nn}	
Σ						

- 2) S obzirom da je za svaku RJ osnovni zadatak ostvarivanje što veće proizvodnje za zadovoljenje unapred utvrđenog nivoa finalne potrošnje, prethodni MS model ne bi se primenjivao u PD. Problem se sastoji u određivanju potrebnog nivoa proizvodnje za svaku RJ na osnovu unapred planiranog obima i strukture finalne potrošnje i obima i strukture finalne potrošnje tih istih RJ.

Sistem jednačina koji izražava funkcionalnu zavisnost između obima proizvodnje RJ X i obima i strukture finalne potrošnje Y tih istih RJ izražava se preko matrice inverznih koeficijenata i ima sledeći oblik:

$$X = (I - A)^{-1} x Y \quad (10)$$

- 3) Kada su poznate veličine ukupne proizvodnje izvesnih RJ i finalne potrošnje ostalih RJ, određivanje preostalih veličina ukupne proizvodnje i finalne potrošnje ostvaruje se kombinacijom jednačina (8) i (9).

Navedeni pristupi rešavanja sistema jednačina (9) je baza za sve (MS) modele koji se primenjuju za različito strukturno bilansiranje i analize proizvodnih tokova u PD.

3.2 Ispitivanje stepena integrisanosti radnih jedinica u privrednom društvu

Primena međusektorskih modela u PD omogućava spoznaju niza informacija značajnih za pronalženje racionalnije organizacije rada i sistema poslovanja u celini. Kroz analizu tehničkih koeficijenata a_{ij} , koeficijenata realizacije b_{ij} , koeficijenata eksternih troškova i kombinaciju ovih koeficijenata može se utvrditi:

– Koliko svaka RJ troši proizvode ostalih RJ ($\sum_{i=1}^n a_{ij}$),

a koliko eksternih troškova ($1 - \sum_{i=1}^n a_{ij}$)

za jedinicu svoje proizvodnje;

– Uklapanje svake RJ u određenu integracionu celinu, kao i opravdanost takve integracije. Pri tome se uzimaju u obzir tehnički koeficijenti i koeficijenti realizacije, odnosno aritmetička sredina zbira svih koeficijenata za k -tu RJ (tabela 3):

$$\frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} + \sum_{j=1}^n b_{ij} \right),$$

Tabela 3.

Uporedni pregled $\sum_{i=1}^n a_{ij}$, $\sum_{j=1}^n b_{ij}$ i $(\sum_{i=1}^n a_{ij} + \sum_{j=1}^n b_{ij})/2$

za radne jedinice prema vrednostima ovih veličina

$\sum_{i=1}^n a_{ij}$	$\sum_{j=1}^n b_{ij}$	$(\sum_{i=1}^n a_{ij} + \sum_{j=1}^n b_{ij})/2$
-----------------------	-----------------------	---

Ova relacija može poslužiti kao stepen integrisanosti, odnosno uklapanja određene RJ u PD. Uko-

Tabela 4.

Uporedni pregled vektora ukupne proizvodnje X i eksterne realizacije Y za postojeće i planirano stanje

Postojeće stanje		Planirano stanje	
Vrednost eksterne realizacije [Y]	Vrednost ukupne proizvodnje [X]	Novelisana vrednost eksterne realizacije [Y*]	Očekivana ukupna proizvodnja [X*]
Y_1	X_1	Y^*_1	X^*_1
Y_2	X_2	Y^*_2	X^*_2
·	·	·	·
Y_i	X_i	Y^*_i	X^*_i
·	·	·	·
Y_n	X_n	Y^*_n	X^*_n
ΣY	ΣX	ΣY^*	ΣX^*
% = 100,00	% = 100,00%	% = 100,00±	% = 100,00±

liko je vrednost aritmetičke sredine veća i integraciono uklapanje određene RJ je bolje.

Ukupna analiza vektora ukupne proizvodnje X i eksterne realizacije Y , za postojeće i za planirano stanje, sa, na primer, povećanom vrednosti eksterne realizacije pojedinih RJ može uticati na efikasnost ovih multiplikatora, pomoću kojih se veoma brzo utvrđuje potrebna ukupna proizvodnja RJ za obezbeđenje tako povećane realizacije u RJ [2].

3.3 Neke druge mogućnosti u primeni MS modela u privrednom društvu

Promena cene proizvoda u nekoj od RJ u okviru PD može se rasprostreti na čitavo PD.

Tada je moguće primeniti MS model da bi se uradila analiza efekata promena cena na ekonomski položaj pojedinih RJ, a sve u smislu donošenja adekvatnih upravljačkih odluka.

Mogu se uspostaviti i neki drugi MS modeli za analizu dohotka PD, analizu troškova proizvodnje, analizu troškova nabavke repromaterijala i tržišta plasmana finalne proizvodnje, analizu potrebne radne snage, analizu ekoloških i socijalnih problema itd.

4. PRIMENA MEĐUSEKTORSKE ANALIZE U NEDOSTATKU STATISTIČKIH PODATAKA U PRIVREDNOM DRUŠTVU

Često se u privrednim društvima možete susresti sa neodgovarajućom bazom podataka neophodnom za realizaciju MS analize, posebno za formiranje prvog kvadranta (bloka) u tabeli 1. U tom smislu se ponekad predlaže i primena metode „Monte Karlo” [6]. U praksi postoje mnogi slučajevi kada je preterano skupo i praktično neizvodljivo dobijanje određenih vrednosnih podataka između sektora. U takvim okolnostima metoda „Monte Karlo” se može koristiti za simulirano uzorkovanje i dobijanje podataka iz neke pretpostavljene populacije.

Takva procedura ponekad ne može biti izabrana, pošto sadrži značajno prisustvo subjektivizma. U odsustvu neophodnih statističkih podataka proces razrade međusektorskog modela moguće je modifikovati i predstaviti u agrarnom obliku kao logičnu proceduru:

1. Određivanje pokazatelja troškova sektora RJ. Ako se tehnički koeficijenti menjaju pri izmeni obima proizvodnje RJ, ekspertnim putem određuju se vrednosti popravni koeficijenata za svaku RJ. Vrednost indeksa potrošačkih cena fizičkog obima, a takođe srednje potrošnje za RJ u PD za analizirani period predstavljen je u tabeli 3.

Tabela 5.
Indeksi cena troškova i fizičkog obima
za analizirani period

Indeksi	Radna jedinica					
	1	2	.	<i>j</i>	.	<i>n</i>
Cene potrošnje						
Fizički obim						
Srednja potrošnja						

Vrednosti elemenata matrice *I* bloka izračunavaju se prema formuli:

$$X_{ij} = \sum X_{ij} \times I_{pi} \times I_{qj} \times K_{ij} \quad [11]$$

Gde je:

X_{ij} – računska vrednost isporuke *i*-tog sektora RJ za *j*-ti sektor RJ;

I_{pi} – srednji indeks cena za produkciju *i*-te RJ za razmatrani period;

I_{qj} – indeks fizičkog obima proizvodnje u *j*-toj RJ za razmatrani period;

K_{ij} – popravni koeficijent.

Popravni koeficijent za određivanje fizičkog obima srednjih potreba omogućuje tačniji proračun njegove pretpostavljene veličine za svaku RJ i za ekonomiju PD u celosti i ocenu veličine bruto dodatne vrednosti i bruto unutrašnjeg proizvoda.

Vrednosti elemenata matrice *I* kvadranta date su u tabeli 6.

- Uz pomoć korelaciono-regresne analize utvrđuju se vrednosti elemenata bruto dodatne vrednosti RJ: isplata rada, potrošnja osnovnog kapitala, bruto profit RJ;
- Proračunati vrednosti konačnog korišćenja produkcije sektora množenjem razlike jedinične matrice i matrice direktnih troškova sa vektorom bruto proizvoda za baznu godinu.

4.1. Proračun drugog bloka međusektorske analize

Na taj način bi bio formiran međusektorski model proizvodnje i raspodele produkcije u PD koji

Tabela 6.
Matrica koeficijenata direktnih troškova

Radne jedinice	Radne jedinice					
	1	2	.	<i>j</i>	.	<i>n</i>
1						
2						
.						
<i>i</i>						
.						
<i>n</i>						

može biti iskorišćen za prognoziranje ekonomskog razvoja PD i izbor racionalnih varijanti.

5. ZAKLJUČAK

Termoenergetski sektor (TES) EPS-a obezbeđuje više od 66 % od ukupno proizvedene električne energije u Republici Srbiji. Nalazi se u fazi restrukturiranja, nedovoljnih investicija, rastućih troškova, nestabilnih radnih mesta, sve manjih povoljnih rezervi uglja, naglašenih socijalnih i ekoloških zahteva.

Kompleksna ekonomska struktura TES u EPS-u ima mnogo dinamičkih promenljivi od kojih je svaka jedinstvena za specifični deo strukture. Svaka od njih ima uticaja na ekonomiju rudnika, termoelektrane, TES-a, EPS-a kao celine.

Međutim, nemoguće je odrediti te uticaje primenom postojećih računovodstvenih sistema bez primene MS analize. Iz datih MS tabela, kako je već konstatovano, proizilaze brojna, široka i značajna saznanja o: direktnim i povratnim proizvodnim povezanostima podsistema u sistemu, dvosmernim međuzavisnostima sistema i okruženja, tj. prirodi i intenzitetu zavisnosti proizvodnog sistema od nabavki iz, i isporuka okruženju, načinu formiranja i raspodeli proizvodnje podsistema, tj. sistema i njenoj vrednosnoj strukturi, veličini i strukturi finalne potrošnje, tj. eksterne realizacije i načinu i stepenu delovanja njenih promena na proizvodnju sistema, strukturi pojedinih kategorija troškova i cena ostvarene proizvodnje itd.

Veliki broj zemalja koriste MS analize za analizu i vođenje nacionalne ekonomije. Međutim, njena primena u TES-u i industriji uglja nije dovoljno poznata u svetu.

Međutim, Univerzitet u Witwatersand-u pokazao je da MS analiza može biti moćno sredstvo upravljanja posebno u velikim korporacijama [7].

Ne postoje nikakve prepreke da se određeni modeli MS analize primene u privrednim društvima EPS-a, radnim jedinicama i, dalje, u nižim organizacionim oblicima (odeljenjima, pogonima itd.). U odnosu na raniji period, sada nema posebnih ograničenja da se dođe do tehničkih koeficijenata, odnosno normativa utroška i troškova, s obzirom na kvalitetnije vođenje dokumentacijske osnove primenom računarske tehnike i odgovarajućih softvera. Ukoliko se taj problem i pojavi u nekim od privrednih društava, on se može ublažiti primenom odgovarajućih metoda.

6. LITERATURA:

- [1] R. Stanojević, MEĐUSEKTORSKI MODELI, Ekonomski Institut, Beograd, 1998.

- [2] S. Petrović, KONSTRUKCIJA I INFORMACIJSKI SADRŽAJ INPUT-OUTPUT TABELE PROIZVODNOG SISTEMA RADNE ORGANIZACIJE, Godišnjak Ekonomskog fakulteta u Kragujevcu, Kragujevac, 1986. str. 301-323.
- [3] S. Popović, V. Nešić, J. Petrović, PRIMENA INPUT-OUTPUT ANALIZE U SLOŽENOJ ORGANIZACIJI UDRUŽENOG RADA NA PRIMERU REIK „KOLUBARA”, SYM-OP-IS 77, Herceg Novi, 1977. str. 439-460.
- [4] Ju. V. Vertakova, MODIFIKACIJA METODIKI FORMIROVANJA MODELI MEŽOOTRASLEVOG BILANSA DLJA CELOJ SOCIALNO-EKONOMIČESKOG PROGNOZIROVANJA, Ekonomika i upravljanje, no. 2, 2005.
- [5] S. Petrović, DINAMIČKI MODELI ZASNOVANI NA MATRICAMA RASTA – INSTRUMENTARIJUM OCENE PROIZVODNJE U PREDUZEĆU, Planiranje i analiza poslovanja, Beograd, 1989.
- [6] J. R. San Cristobal, M. V. Biezma, THE MINING INDUSTRY IN THE EUROPEAN UNION: ANALYSIS OF INTER-INDUSTRY LINKAGES USING INPUT-OUTPUT ANALYSIS, Resources Policy 31, 2006.(1-6).
- [7] L. C. Stilwell, R. C. A. Minnitt, INPUT-OUTPUT ANALYSIS: ITS POTENTIAL APPLICATION TO THE MINING INDUSTRY, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2000. (455-460).

Rad je primljen u uredništvo 07. 07. 2008. godine



Svetomir N. Maksimović (Kragujevac, 1951.godine) diplomirao je na Rudarsko geološkom fakultetu u Beogradu 1976. godine na Smeru za površinsku eksploataciju, magistrirao je 2006. godine na Smeru za eksploataciju nafte i gasa. Autor ili koautor je 60 naučnih i stručnih radova i koautor 7 monografija. Posebna oblast njegovog stručnog interesovanja je primena međusektorskih modela u upravljanju industrijom uglja. To je istovremeno i tema njegovog istraživanja i doktorske disertacije koja je u završnoj fazi.

Branislav A. Bošković

Ostvarenje elektroenergetskog bilansa elektroprivreda Srbije i Crne Gore u 2008. godini sa osvrtom na 2007. godinu

Stručni rad
UDK: 621.3.05

Rezime:

Rad prezentuje realizaciju elektroenergetskog bilansa za 2008. godinu elektroprivreda Srbije i Crne Gore kroz prikaz sledećeg: proizvodnje i potrošnje električne energije, nabavke i isporuke električne energije drugim elektroenergetskim sistemima, stanja akumulacija hidroelektrana, otkrivke uglja, proizvodnje uglja, deponija uglja za termoelektrane, i upoređuje ove veličine sa ostvarenjem u 2007. godini.

Ključne riječi: elektroenergetski bilans elektroprivrede Srbije i elektroenergetski bilans elektroprivrede Crne Gore

Abstract:

REALIZATION OF THE POWER BALANCE OF SERBIA AND MONTENEGRO
IN 2008 WITH RETROSPECTIVE VIEW ON 2007

The paper deals with the realization of the electric power balance for 2008 in Serbia and Montenegro, by presenting the following: electric power production and consumption, power exchange, electric power supply from and delivery to other electric power systems, hydro plant reservoirs, coal overburden layers removal, coal production, coal deposits for thermal power plants, with a comparison to the realization in 2007.

Key words: electric power balance of Serbia and Montenegro

1. UVOD

Elektroprivrednu delatnost u Srbiji obavljaju:

Javno preduzeće za proizvodnju električne energije, distribuciju električne energije i upravljanje distributivnim sistemom i trgovinu električnom energijom, koje posluje pod firmom Javno Preduzeće „Elektroprivreda Srbije” sa potpunom odgovornošću i sedištem u Beogradu, čiji je skraćeni naziv JP „EPS” sa p.o. (u daljem tekstu: EPS) i Javno preduzeće „Elektromreža Srbije” sa potpunom odgovornošću i sedištem u Beogradu, čiji je skraćeni naziv JP „EMS” sa p.o. (u daljem tekstu: EMS). Javna

preduzeća su osnovana zakonom o elektroprivredi („Službeni glasnik Republike Srbije”, br. 94/2004) sa izmenama i dopunama.

Elektroprivrednu delatnost u Crnoj Gori obavlja: 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 poslovnoj saradnji, koji je zaključen marta 1991. godine, sa izmenama i dopunama iz 2006. godine. U 2008. godini je, takođe, ugovorom regulisan način i uslovi ostvarivanja međusobne isporuke električne energije za 2008. godinu.

2. ELEKTROPRIVREDA SRBIJE

2.1. Proizvodnja električne energije

U 2008. godini, energetske bilansima elektroprivrede Srbije predviđena je:

- proizvodnja iz sopstvenih izvora 39 258 GWh (HE 10 354 GWh, TE 28 904 GWh) i
- nabavka električne energije 1 822 GWh (i od EPCG).

Ukupna proizvodnja električne energije u 2008. godini u Republici Srbiji je iznosila **39 778,5 GWh (25,3 % iz HE a 74,7 % iz TE)**, dok su nabavke električne energije od drugih EES-a (uključujući i od EPCG) iznosile **2 246,9 GWh**.

Plan proizvodnje iz sopstvenih izvora je veći za **1,3 %**. HE su svoj plan ostvarile sa **97,3 %** a TE su ostvarile sa **102,8 %** plana.

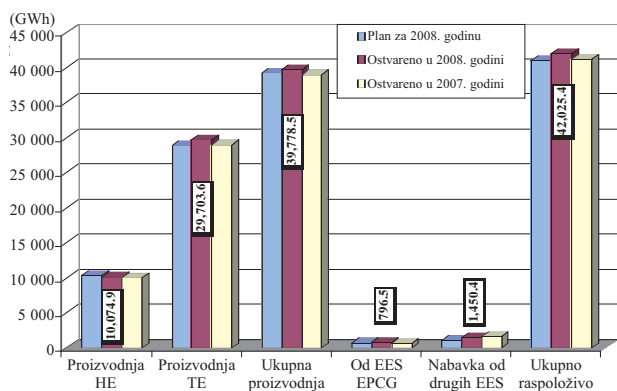
Nabavka električne energije u odnosu na plan (uključujući i od EPCG) je veća za **23,3 %** od plana.

Ukupno raspoloživa električna energija je bila za **2,3 %** veća od plana za 2008. godinu.

Kada se prave poređenja raspoložive električne energije u 2008. godini u odnosu na 2007. godinu, onda su odnosi sledeći:

- nabavka električne energije (uključujući i od EPCG) je manja za **1 %** i
- raspoloživa električna energija je veća za **1,9 %**.

Gore navedeni podaci dati su delimično na slici 1 a detaljniji u prilogima (u tabeli 1. i 3).



Slika 1. Ostvarenje bilansa proizvodnje (na pragu elektrana) i nabavki električne energije EES-a Srbije

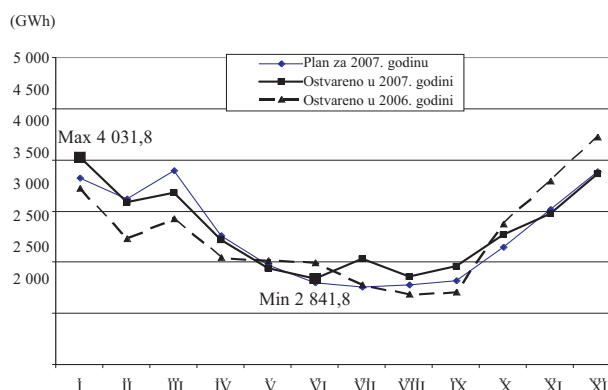
Karakteristične proizvodnje na pragu elektrana:

- najveća mesečna proizvodnja je bila **4 031,8 GWh** i to u **januaru** 2008. godine, tog meseca HE su proizvele **882,6 GWh**, a TE **3 149,2 GWh** (najveća mesečna proizvodnja u 2007. godini je bila 4 219,5 GWh);
- najveća mesečna proizvodnja HE je bila u **aprilu** 2008. godine i iznosila je **1 155,2 GWh** (najveća mesečna proizvodnja HE u 2007. godini je bila 1 151,6 GWh);
- najveća mesečna proizvodnja TE je bila u **januaru** 2008. godine i iznosila je **3 149,2 GWh** (najveća mesečna proizvodnja TE u 2007. godini je bila 3 068,1 GWh);
- najveća dnevna proizvodnja je bila **31. decembra** 2008. godine i iznosila je **144,5 GWh**. Tog dana u proizvodnji te energije HE su učestvovala sa 26,9 %, a TE 73,1 % (najveća dnevna proizvodnja u 2007. godini je bila 145,4 GWh);
- najveća dnevna proizvodnja HE je bila **12. februara** 2008. godine i iznosila je **48,8 GWh** (najveća dnevna proizvodnja HE u 2007. godini je bila 49,0 GWh);
- najveća dnevna proizvodnja TE je bila **1. januara** 2008. godine i iznosila je **112,5 GWh** (najveća dnevna proizvodnja TE u 2007. godini je bila 112,4 GWh);
- prosečna dnevna proizvodnja na godišnjem nivou u 2008. godini je iznosila **108,7 GWh** (planirana 107,3 GWh), (dok je u 2007. godini ostvarena prosečna dnevna proizvodnja iznosila 106,8 GWh).

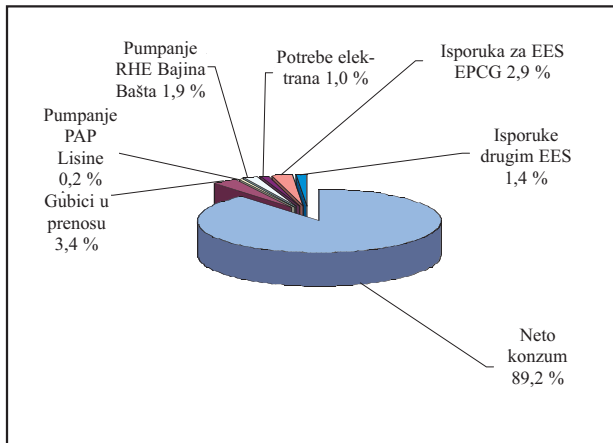
2.2. Potrošnja električne energije

Ukupne potrebe potrošača električne energije (sa pumpanjem i sopstvenom potrošnjom elektrana) su iznosile **40 218,9 GWh**, dok su isporuke drugim EES (uključujući i EPCG) iznosile **1 806,6 GWh**.

Plan ukupne potrošnje električne energije sa pumpanjem i sopstvenom potrošnjom elektrana je ostvaren sa **100,6 %**. Isporuka električne energije

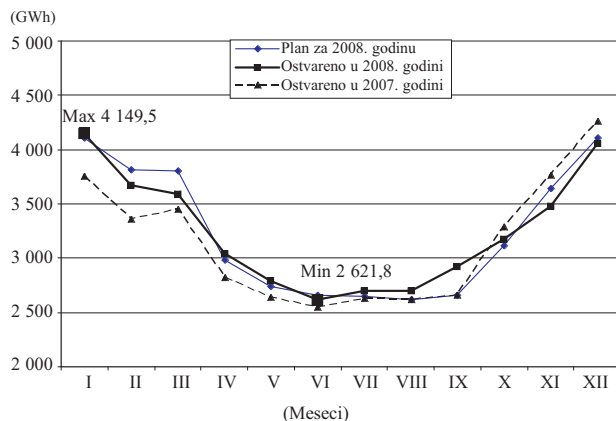


Slika 2. Proizvodnja EES-a Srbije

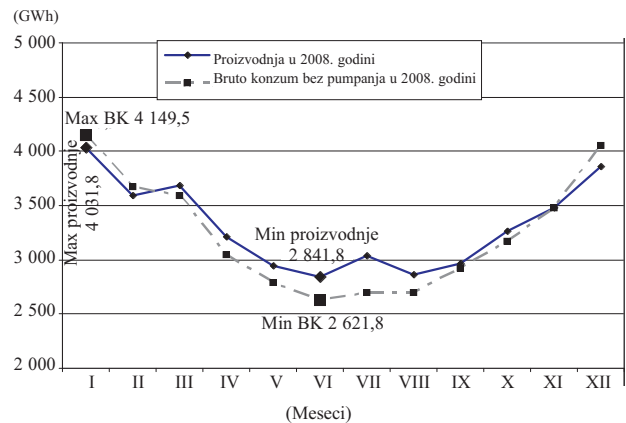


Slika 3. Ukupan plasman EPS-a

drugim EES (uključujući i EPCG) je ostvarena sa **163,5 %**, plana (u odnosu na 2007. godinu to je 89,3 %). Ukupan plasman je iznosio **102,3 %** plana. Na slici 3. (detaljnije u tabeli 2 i 4 u priložima) imamo prikazano: neto konzum, gubitke električne energije, pumpanje kao i nabavka električne energije za potrebe sigurnog snabdevanja potrošača. Neto konzum je iznosio **100,3 %** plana i veći je nego u 2007. godini 2,9 %. Gubici električne energije u prenosu su manji od planiranih za **6,1 %** ali su i u odnosu na 2007. godinu manji 4,3 %. Na slici 4. prikazana je prosečna mesečna potrošnja električne energije bruto konzuma (bez pumpanja), dok su na slici 5. prikazani uporedno mesečna proizvodnja i bruto konzum iz čega se vidi da je EES EPS-a imao skoro svojom proizvodnjom pokrivenost potreba potrošača osim u januaru, februaru i decembru kada je potrošnja bila veća od sopstvene proizvodnje 2,8 %, 2,4 % i 4,8 % respektivno. U ostalim mesecima sopstvena proizvodnja je bila veća od konzuma i do 12,5 % (vidi tabelu 5).



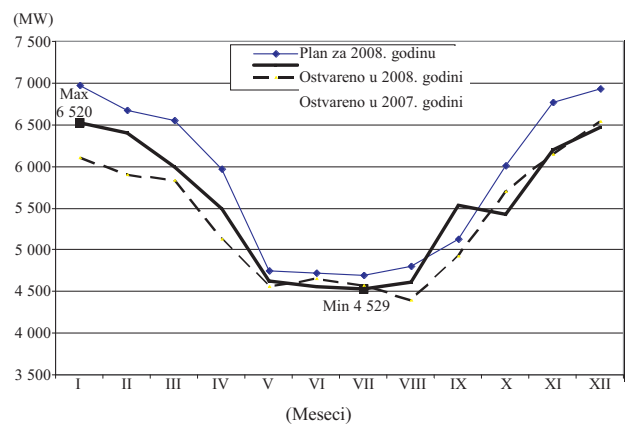
Slika 4. Bruto konzum EPS-a bez pumpanja



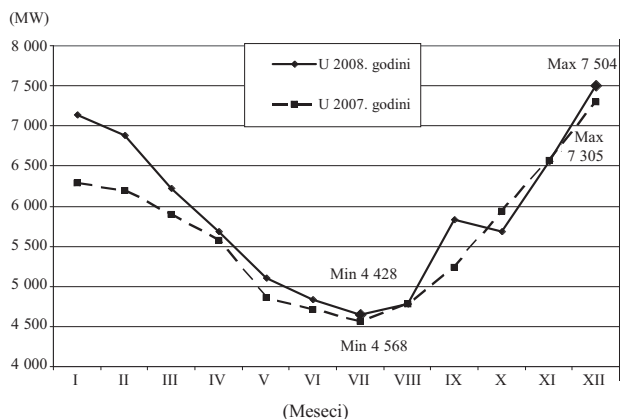
Slika 5. Mesečna proizvodnja i bruto konzum (bez pumpanja) u EPS-u

Karakteristične potrošnje električne energije:

- najveća mesečna potrošnja (sa pumpanjem) bila u **januaru** 2008. godine i iznosila je **4 247,3 GWh**, bez pumpanja 4 149,5 GWh (najveća u 2007. godini je bila bez pumpanja 4 260,5 GWh);
- najveća dnevna potrošnja je bila **31. decembra** 2008. godine i iznosila je **153,9 GWh** (bez pumpanja), pri minimalnoj dnevnoj temperaturi tog dana u Beogradu od minus **6,5** stepena Celzijusa (najveća dnevna potrošnja 24. decembra u 2007. godini je bila 151,4 GWh (bez pumpanja), pri temperaturi od minus 4,2 stepena Celzijusa);
- najveća srednja satna snaga je bila **31. decembra 7 504 MW** u 18 h, što je i najveća do sada (najveća u 2007. godini je bila 7 305 MW) i
- prosečna dnevna potrošnja na godišnjem nivou u 2008. godini, bez energije za pumpanje je iznosila **109,9 GWh**, planirana 109,2 (prosečna dnevna potrošnja na godišnjem nivou u 2007. godini 103,5 GWh).



Slika 6. Planirane maksimalne snage EPS-ovog konzuma u 2008. godini bez pumpanja i ostvarene u trećoj sredi 2008. i 2007. godini (bez pumpanja)



Slika 7. Ostvarene maksimalne snage EPS-ovog konzuma u 2008. i 2007. godini

U prilogu, tabeli 3, prikazano je kako su se kre- tale mesečna ostvarenja proizvodnje EPS-a u odno- su na plan za 2008. godine kao i u odnosu na ostva- reno u 2007. godini.

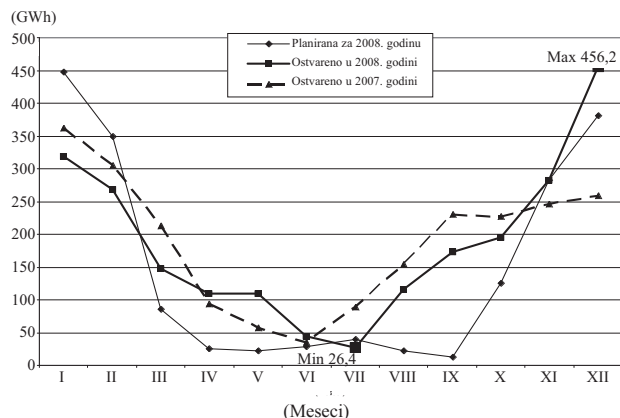
2.3. Isporuka električne energije EPS-a EPCG

Isporuka električne energije EPS-a EPCG u 2008. godini je u skladu sa dugoročnim ugovorom.

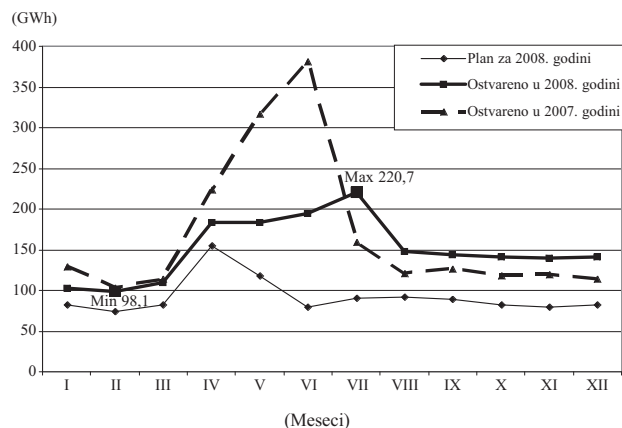
EPS je tokom 2008. godine EPCG isporučio električne energije 1 220,4 GWh ili 110,4 % od pla- na, ali to je u odnosu na isporučenu električnu ener- giju u 2007. godini za 1,2 % manje, što je prikaza- no u prilogu, tabela 8.

2.4. Nabavka i isporuka električne energije od drugih i drugim EES

Na slici 8, koja prikazuje planiranu i ostvarenu nabavku električne energije od strane EPS-a tokom meseci 2008. godine. Vidi se u tabeli 9. da je ostva- rena nabavka bila veća od plana 23,3 % (sa nabavkom i od EPCG). Za potrebe Kosova i Metohi-



Slika 8. Nabavka EES EPS-a



Slika 9. Isporuka EES EPS-a

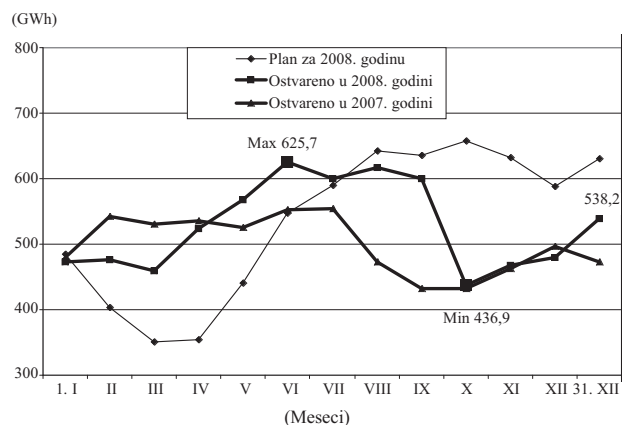
je uvezna je trećina te energije. Plan nabavke električne energije je iznosio 123,3 % plana (sa EPCG).

Isporuka električne energije drugim sistemima (slika 9 i tabela 10 u prilogu) je, kao što se vidi, bila tokom 2008. godine veća od planirane. Plan ispo- ruka električne energije je iznosio 163,5 % plana (sa EPCG).

2.5. Stanje akumulacija (bez Pive i uticaja Uvca)

Na pripadajućem dijagramu na slici 10 prikazano je stanje akumulacija u EES EPS-a tokom 2008. godi- ne, (a u prilogu, tabeli 11. su dati numerički podaci kao i poređenje istih u odnosu na 2007. godinu.

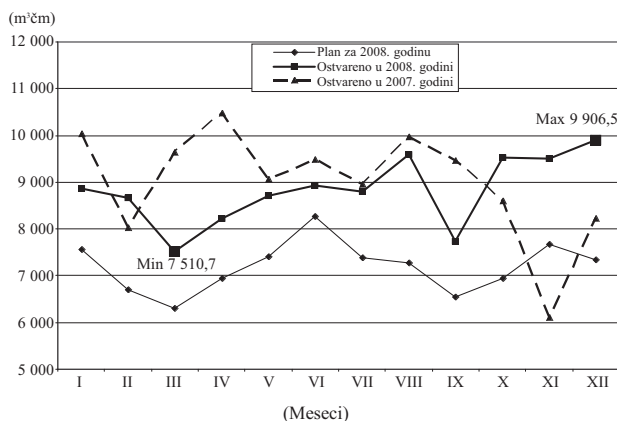
Stanje je bilo takvo da je 31. 12. 2008. godine dočekan sa 85,3 % plana akumulacija, a to je 67,7 % maksimalno mogućih akumulacija EES EPS-a.



Slika 10. Akumulacije EPS-a bez Pive i uticaja Uvca

2.6. Otkrivka i proizvodnja uglja

Pošto od veličine otkrivke uglja zavisi proiz- vodnja uglja, a samim tim i popunjenost deponija uglja i rad TE, to će se u ovom poglavlju kao i na sli-

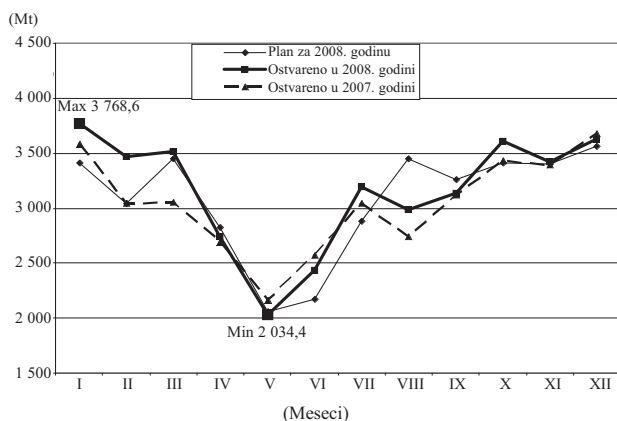


Slika 11. Otkrivka u EPS-u

ci 11 i u prilogu u tabeli 12 dati i ova problematika, jer njena uspešnost itekako utiče na ostale rezultate ostvarenja EB zemlje.

Ostvarenje plana otkrivke uglja u EPS-u u 2008. godini (bez podataka za plan i proizvodnju na Kosovu i Metohiji) je iznosilo **122,8 %** i manje je od ostvarenja u 2007. godini za **1,9 %**.

Ostvarenje plana proizvodnje uglja u EPS-u u 2008. godini (bez podataka za plan i proizvodnju na Kosovu i Metohiji) je iznosilo **102,8 %** i veće je od ostvarenja u 2007. godini za **4,0 %** (prikazano na slici 12 i u prilogu, tabela 13).

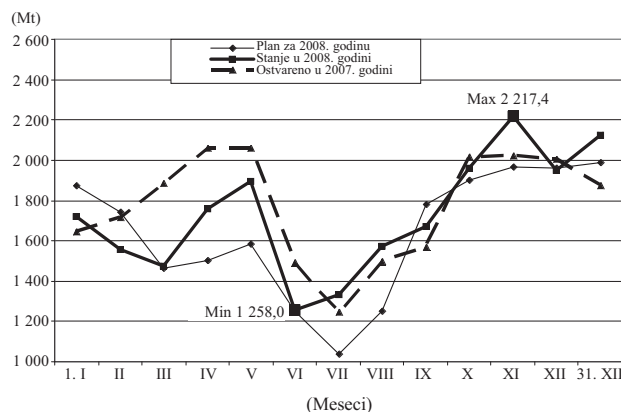


Slika 12. Mesečna proizvodnja uglja u EPS-u

2.7. Deponija uglja

U energetsom bilansu EPS-a, plan deponija uglja za TE i njihovo stanje tokom 2008. godine prikazano je na slici 13 i u tabeli 14 u prilogu, gde su i podaci sa poređenjem stanja deponija u odnosu na ostvareno u 2007. godini. Kao što se vidi, kraj godine je dočekan sa **107 %** plana što je **98,4 %** od maksimalno mogućih deponija.

Železnički transport PD TENT prevezao je skoro 29 miliona tona uglja, (što je više nego tereta što ga



Slika 13. Deponije TE EPS-a

transportuju Železnice Srbije), i svoj plan prebacio za **3,5 %**.

Svi proizvodni rezultati, četiri godine zaredom (2005.-2008. godina) su rezultat istih proizvodnih jedinica iz 1990. godine, jer od tada nije izgrađen ni jedan veći objekat.

Na kraju, posle ovako dobrih i velikih rezultata i rekorda zadnjih godina zaposlenih u EPS-u, na čelu sa poslovođstvom, dobro je potsetiti se jedne studije iz 1980. godine (12). Tom studijom rađenom za potrebe Zajednice jugoslovenske elektroprivrede, bilo je predviđena izgradnja cca 28 500 MW novih izvora električne energije „koji se moraju realizovati u razdoblju 1986-2000. godina” na prostorima prethodne Jugoslavije. U pomenutoj cifri je bila predviđena izgradnja devet nuklearnih elektrana po 1 000 MW, termo cca 17 000 MW i hidro cca 2 500 MW, od toga više od dve trećine na teritoriji Srbije.

Danas, posle skoro deset godina od rokova datih u toj studiji, znamo da je na prostorima prethodne Jugoslavije u periodu posle 1980. godine izgrađeno svega cca 5 000 MW, što samo za sebe govori kako je EES, kako prethodne Jugoslavije, tako i Srbije tih 80-tih godina prošlog veka, dobro projektovan a kasnije vođen i održavan.

Zato raduje činjenica da je poslovođstvo EPS-a, raspisalo tender za izgradnju novih neophodnih objekata, znajući da je sistem projektovan 70-tih godina prošlog veka na izmaku svojih mogućnosti, što nedvosmileno pokazuje pomenuta studija, bez obzira što pomenuti kapaciteti (28 500 MW) nisu bili predviđeni samo za Srbiju, osim jedan manji deo (petina).

2.8. ZAKLJUČAK

Kada se analiziraju proizvodnja i potrošnja električne energije u 2008. godini, kao i ostali as-

pekti vezani za tu vrstu problematike, može se konstatovati sledeće:

- zadnjih nekoliko godina, kao posledica kvalitetnijih remonata, pojedinih obavljenih revitalizacija i održavanja, evidentni su i bolji rezultati u radu i proizvodnji čitavog EES EPS-a, koji su u 2008. godini obilovali nizom rekorda od postojanja EPS-a;
- tarifni sistem i netržišna cena električne energije, posustaju u smanjenju maksimalnog dnevnog opterećenja u mreži EPS-a, kao i u eventualnom rastu minimalnog dnevnog opterećenja, zbog neusklađenosti-dispariteta cena energenata, što dovodi do nešto manje ravnomernosti dnevnog dijagrama opterećenja na nivou EES;

- delimično se popravlja 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, nastavkom revitalizacije i automatizacije nadzora i upravljanja svih proizvodnih jedinica (posebno blokova TE), kao i radove kojima se utiče na poboljšanje stanja životne sredine i
- što hitnijim novim investicijama, kako u hidro tako i u termo sektoru, jer potrebe su sve veće, a vremešnost postojećih izvora je evidentna.

2.9 PRILOZI ZA EES EPS

Tabela 1.

Ostvarenje bilansa proizvodnje (na pragu elektrana) i nabavki električne energije EES-a Srbije

Raspoloživo	2008. godina		Ostvareno 2008./ Planirano 2008. (2/1)	2007. godina Ostvareno	Ostvareno 2008./ Ostvareno 2007. (2/4)
	Planirano	Ostvareno			
	(GWh)	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Proizvodnja HE	10 354	10 074,9	97,3	10 011,2	100,6
Proizvodnja TE	28 904	29 703,6	102,8	28 967,6	102,5
Ukupna proizvodnja	39 258	39 778,5	101,3	38 979,0	102,1
Nabavka od EES EPCG	762	796,5	104,5	647,5	123,0
Nabavka od drugih EES	1 060	1 450,4	136,8	1 622,5	89,4
Ukupno raspoloživo	41 080	42 025,4	102,3	41 249,0	101,9

Tabela 2.

Ostvarenje bilansa potrošnje i isporuka električne energije EES EPS-a

Plasman	2008. godina		Ostvareno 2008./ Planirano 2008. (2/1)	2007. godina Ostvareno	Ostvareno 2008./ Ostvareno 2007. (4/2)
	Planirano	Ostvareno			
	(GWh)		(%)	(GWh)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Neto konzum	37 400	37 496,9	100,3	36 330,4	103,2
Gubici u prenosu	1 505	1 412,9	93,9	1 476,8	95,7
Pumpanje PAP Lisine	82	65,5	79,9	65,5	99,9
Pumpanje RHE Bajina Bašta	515	812,8	157,8	798,0	101,9
Potrebe elektrana	473	430,7	91,1	447,6	96,2
Ukupna potrošnja	39 975	40 218,9	100,6	39 225,0	102,5
Isporuka za EPCG	1 105	1 220,4	110,4	1 235,1	98,8
Isporuka drugim EES	0	582,4		785,5	74,1
Ukupan plasman	41 080	42 025,4	102,3	41 248,7	101,9

Tabela 3.

Proizvodnja EPS-a: plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(GWh)	3 827,0	3 616,0	3 894,0	3 255,0	2 970,0	2 801,0	2 758,0	2 782,0	2 816,0	3 145,0	3 512,0	3 882,0	39 258,0
Ostvareno u 2008. godini	(GWh)	4 031,8	3 588,5	3 683,9	3 215,8	2 944,1	2 841,8	3 039,2	2 862,7	2 963,7	3 266,8	3 477,0	3 863,1	39 778,5
O. 2008./P. 2008.	(%)	105,4	99,2	94,6	98,8	99,1	101,5	110,2	102,9	105,2	103,9	99,0	99,5	101,3
Ostvareno u 2007. godini	(GWh)	3 715,6	3 224,8	3 425,2	3 042,1	3 011,9	2 995,1	2 781,4	2 688,9	2 706,0	3 372,2	3 795,5	4 219,5	38 978,4
O. 2008./O. 2007. godini	(%)	108,5	111,3	107,6	105,7	97,7	94,9	109,3	106,5	109,5	96,9	91,6	91,6	102,1

Tabela 4.

Bruto konzum EPS-a bez pumpanja:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(GWh)	4 109,0	3 812,0	3 807,0	2 988,0	2 740,0	2 655,0	2 653,0	2 621,0	2 659,0	3 111,0	3 641,0	4 110,0	38 905,0
Ostvareno u 2008. godini	(GWh)	4 149,5	3 676,5	3 591,3	3 044,4	2 789,7	2 621,8	2 700,8	2 703,5	2 923,5	3 176,2	3 476,7	4 055,9	38 909,9
O. 2008./P. 2008.	(%)	101,0	96,4	94,3	101,9	101,8	98,8	101,8	103,1	109,9	102,1	95,5	98,7	100,0
Ostvareno u 2007. godini	(GWh)	3 751,9	3 362,1	3 444,7	2 825,6	2 640,3	2 548,4	2 623,8	2 620,3	2 661,4	3 282,2	3 763,9	4 260,5	37 784,8
O. 2008./O. 2007.	(%)	110,6	109,4	104,3	107,7	105,7	102,9	102,9	103,2	109,8	96,8	92,4	95,2	103,0

Tabela 5.

Proizvodnja i bruto konzum EPS-a bez pumpanja: ostvarenje tokom 2008. godinu

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Proizvodnja u 2008. godini	(GWh)	4 031,8	3 588,5	3 683,9	3 215,8	2 944,1	2 841,8	3 039,2	2 862,7	2 963,7	3 266,8	3 477,0	3 863,1	39 778,5
Bruto konzum u 2008. godini	(GWh)	4 149,5	3 676,5	3 591,3	3 044,4	2 789,7	2 621,8	2 700,8	2 703,5	2 923,5	3 176,2	3 476,7	4 055,9	38 909,9
P. u 2008./BK u 2008.	(%)	97,2	97,6	102,6	105,6	105,5	108,4	112,5	105,9	101,4	102,9	100,0	95,2	102,2

Tabela 6.

Planirane maksimalne snage konzuma u EPS-u u 2008. godini (bez pumpanja) i ostvarene maksimalne snage u trećoj sredi meseca 2008. i 2007. godine (bez pumpanja)

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Plan za 2008. godinu	(GW)	6,970	6,673	6,546	5,973	4,748	4,719	4,692	4,795	5,132	6,014	6,762	6,924
Ostvareno u 2008. godini	(GW)	6,520	6,405	6,000	5,490	4,630	4,558	4,529	4,611	5,536	5,423	6,196	6,476
O. 2008./P. 2008.	(%)	93,5	96,0	91,7	91,9	97,5	96,6	96,5	96,2	107,9	90,2	91,6	93,5
Ostvareno u 2007.	(GW)	6,097	5,895	5,827	5,125	4,558	4,650	4,568	4,395	4,918	5,696	6,139	6,534
O. 2008./O. 2007.	(%)	106,9	108,7	103,0	107,1	101,6	98,0	99,1	104,9	112,6	95,2	100,9	99,1

Tabela 7.

Ostvarene maksimalne mesečne snage konzuma u 2008. i 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ostvareno u 2008. godini	(GW)	7,142	6,883	6,219	5,685	5,107	4,835	4,642	4,776	5,837	5,690	6,554	7,504
Ostvareno u 2007. godini	(GW)	6,295	6,194	5,895	5,576	4,859	4,711	4,568	4,779	5,239	5,933	6,578	7,305
O. 2008./O. 2007.	(%)	113,5	111,1	105,5	102,0	105,1	102,6	101,6	99,9	111,4	95,9	99,6	102,7

Tabela 8.

Isporuka električne energije EPS-a EPCG

	2008. godina		Ostvareno 2008. /Plan 2008. godine	2007. godina	Ostvareno 2008. /Ostvareno 2007.
	Plan	Ostvareno	(2/1)	Ostvareno	(2/5)
EPS za EPCG	(GWh)		(%)	(GWh)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	1 105	1 220,4	110,4	1 235,1	98,8

Tabela 9.

Mesečna nabavka električne energije:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Planirana nabavka električne energije (i od EPCG) u 2008. godini	(GWh)	447,0	350,0	85,0	26,0	23,0	28,0	40,0	23,0	12,0	125,0	282,0	381,0	1 822,0
Ostvarena nabavka električne energije (i od EPCG) u 2008. godini	(GWh)	318,3	268,0	147,3	109,3	110,1	44,5	26,4	116,5	172,5	194,6	283,3	456,2	2 246,9
O.2008./P. 2008.	(%)	71,2	76,6	173,3	420,2	478,5	159,0	66,0	506,4	1437,3	155,7	100,4	119,4	123,3
Ostvarena nabavka (i od EPCG) u 2007. godini	(GWh)	361,6	305,5	213,4	94,0	56,9	34,4	88,6	154,4	229,9	226,2	246,8	258,6	2 270,3
O.2008./O. 2007.	(%)	88,0	87,7	69,0	116,2	193,5	129,5	29,8	75,4	75,0	86,0	114,8	176,4	99,0

Tabela 10.

Mesečna isporuka električne energije:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Planirana isporuka električne energije (i EPCG) u 2008. godini	(GWh)	82,0	74,0	82,0	155,0	118,0	79,0	91,0	92,0	89,0	82,0	79,0	82,0	1 105,0
Ostvarena isporuka električne energije (i EPCG) u 2008. godini	(GWh)	102,8	98,1	110,2	182,9	184,0	193,9	220,7	148,2	143,4	141,5	139,6	141,2	1 806,6
O.2008./P. 2008.	(%)	125,4	132,5	134,4	118,0	155,9	245,5	242,6	161,1	161,1	172,6	176,8	172,2	163,5
Ostvarena isporuka električne energije (i EPCG) u 2007. godini	(GWh)	129,2	103,4	113,6	223,8	316,2	380,6	159,5	120,4	125,9	117,3	119,4	114,3	2 023,7
O.2008./O. 2007.	(%)	79,6	94,8	97,0	81,7	58,2	50,9	138,24	123,1	113,9	120,6	117,0	123,5	89,3

Tabela 11.

Akumulacija za HE (bez HE Piva i uticaja Uvca):
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		01. I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	01. XII	31. XII
Plan za 2008. godinu	(GWh)	484,7	403,4	350,9	354,4	439,9	548,1	590,2	642,0	636,3	658,3	631,5	587,3	630,8
Ostvareno u 2008. godini	(GWh)	473,5	476,0	459,1	524,3	568,5	625,7	600,5	617,1	600,8	436,9	467,0	480,1	538,3
O. 2008./P. 2008.	(%)	97,7	118,0	130,8	147,9	129,2	114,2	101,7	96,1	94,4	66,4	74,0	81,7	85,3
Ostvareno u 2007. godini	(GWh)	480,1	541,8	530,9	535,5	524,7	552,1	554,1	472,7	432,9	432,8	466,2	497,2	473,2
O 2008./O 2007.	(%)	98,6	87,9	86,5	97,9	108,3	113,3	108,4	130,5	138,8	100,9	101,0	96,6	113,8
O 2008. /Maksimum 794,6 GWh	(%)	59,6	59,9	57,8	66,0	71,5	78,7	75,6	77,7	75,6	55,0	58,8	60,4	67,7

Tabela 12.

Mesečna otkrivka u EPS-u bez Kosova i Metohije:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(m ³ čvrste mase)	7 555,0	6 695,0	6 310,0	6 940,0	7 405,0	8 265,0	7 375,0	7 265,0	6 535,0	6 945,0	7 675,0	7 335,0	86 300,0
Ostvareno u 2008. godini	(m ³ čvrste mase)	8 859,6	8 657,8	7 510,7	8 232,9	8 700,0	8 921,8	8 807,6	9 590,0	7 744,6	9 537,1	9 510,1	9 906,5	105 978,8
O. 2008./P. 2008.	(%)	117,3	129,3	119,0	118,6	117,5	107,9	119,4	132,0	118,5	137,3	123,9	135,1	122,8
Ostvareno u 2007. godini	(m ³ čvrste mase)	10 045,2	8 015,0	9 637,4	10 479,5	9 073,3	9 472,9	8 944,4	9 975,7	9 457,5	8 598,9	6 111,3	8 233,4	108 044,4
O. 2008./O. 2007.	(%)	88,2	108,0	77,9	78,6	95,9	94,2	98,5	96,1	81,9	110,9	155,6	121,3	98,1

Tabela 13.

Mesečna proizvodnja uglja u EPS-u bez Kosova i Metohije:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(Mt)	3 411,0	3 047,0	3 447,0	2 822,0	2 059,0	2 168,0	2 884,0	3 451,0	3 256,0	3 415,0	3 404,0	3 566,0	36 930,0
Ostvareno u 2008. godini	(Mt)	3 768,6	3 468,6	3 517,0	2 741,3	2 034,4	2 441,1	3 194,9	2 982,8	3 141,0	3 608,5	3 421,1	3 632,1	37 951,5
O. 2008./P. 2008.	(%)	110,5	113,8	102,0	97,1	98,8	112,6	110,8	86,4	96,5	105,7	100,5	101,9	102,8
Ostvareno u 2007. godini	(Mt)	3 585,9	3 042,0	3 050,9	2 688,3	2 165,4	2 572,9	3 041,1	2 740,1	3 119,3	3 427,9	3 393,9	3 679,1	36 506,7
O. 2008./O. 2007.	(%)	105,1	114,0	115,3	102,0	94,0	94,9	105,1	108,9	100,7	105,3	100,8	98,7	104,0

Tabela 14.

Mesečne deponije uglja za TE bez Kosova i Metohije:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		01. I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	01. XII	31. XII
Plan za 2008. godinu	(Mt)	1 875,0	1 745,0	1 465,0	1 505,0	1 585,0	1 250,0	1 040,0	1 250,0	1 781,0	1 900,0	1 967,0	1 961,0	1 986,0
Stanje ostvareno u 2008. godini	(Mt)	1 718,7	1 556,8	1 475,2	1 757,1	1 893,3	1 258,0	1 331,4	1 573,6	1 673,2	1 962,8	2 217,4	1 948,0	2 125,5
O. 2008./P. 2008.	(%)	91,7	89,2	100,7	116,8	119,5	100,6	128,0	125,9	93,9	103,3	112,7	99,3	107,0
Ostvareno u 2007. godini	(Mt)	1 642,0	1 714,9	1 886,0	2 058,6	2 057,1	1 493,3	1 244,2	1 495,6	1 565,5	2 015,9	2 023,1	2 005,5	1 875,5
O. 2008./O. 2007.	(%)	104,7	90,8	78,2	85,4	92,0	84,2	107,0	105,2	106,9	97,4	109,6	97,1	113,3
O.2008. / Maksimum 2 160 Mt	(%)	7,6	72,1	68,3	81,3	87,7	58,2	61,6	72,9	77,5	90,9	102,7	90,2	98,4

3. ELEKTROPRIVREDA CRNE GORE

3.1. Proizvodnja električne energije

U 2008. godini, energetske bilansom elektroprivrede Crne Gore predviđena je:

- proizvodnja iz sopstvenih izvora 2 823 GWh (HE 1 693 GWh, TE 1 130 GWh) i
- nabavka od drugih EES-a (uključujući i od EPS-a) 2 764,6 GWh.

Ukupna proizvodnja električne energije u EPCG je iznosila **2 686,9 GWh** (57,0 % iz HE a 43,0 % iz TE), dok su nabavke električne energije od drugih EES-a (uključujući i od EPS-a) iznosile **2 694,1 GWh**.

Plan proizvodnje iz sopstvenih izvora je manji za 4,8 %. HE su svoj plan ostvarile sa 90,5 % a TE je ostvarila sa 102,2 % plana.

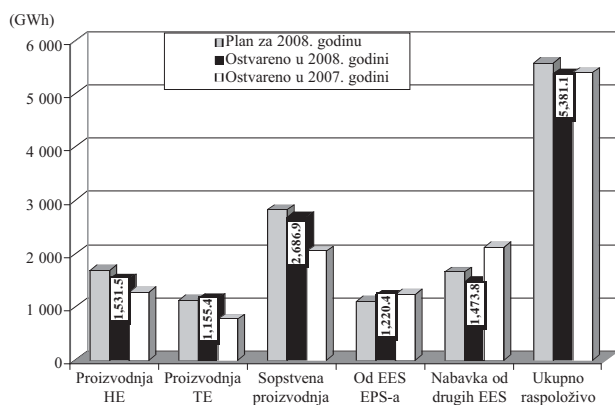
Nabavka električne energije od drugih EES-a (uključujući i od EPS-a) je manja za 2,5 % od plana.

Ukupno raspoloživa električna energija je bila za 3,7 % manja od plana za 2008. godinu.

Kada se prave poređenja ukupne proizvodnje električne energije u 2008. godini u odnosu na 2007. godinu, onda su odnosi sledeći:

- sopstvena proizvodnja je veća za 31,4%, pri čemu je proizvodnja HE veća za 19,8 % a TE za 50,5 %;
- nabavka električne energije od drugih EES-a (uključujući i EPS) je manja za 19,8 % i
- raspoloživa električna energija je manja za 0,5 %.

Svi gore navedeni podaci dati su u tabeli 15, u prilogu, i na slici 14.



Slika 14. Ostvarenje EEB EPCG-a

Karakteristične proizvodnje na pragu elektrana:

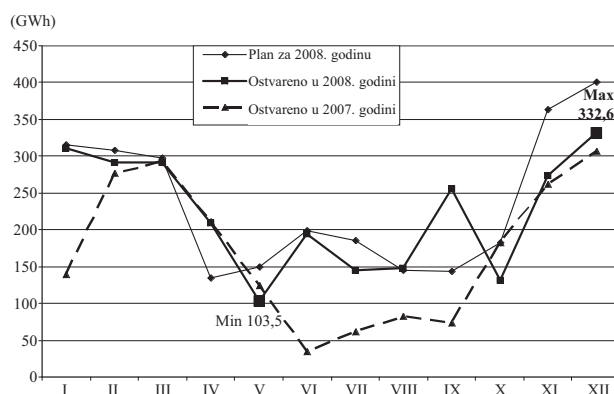
- najveća mesečna proizvodnja je bila u **decembru** 2008. godine i iznosila je **332,6 GWh** (najveća mesečna proizvodnja u 2007. godini je bila 306,2 GWh), tog meseca HE su proizvele **272,5 GWh**, a TE **60,1 GWh**. Najveće proizvodnje

u 2008. godini: TE 135, 5 GWh a HE 275,5 GWh (najveća mesečna proizvodnja HE u 2007. godini je bila 303,3 GWh a TE 121,9 GWh);

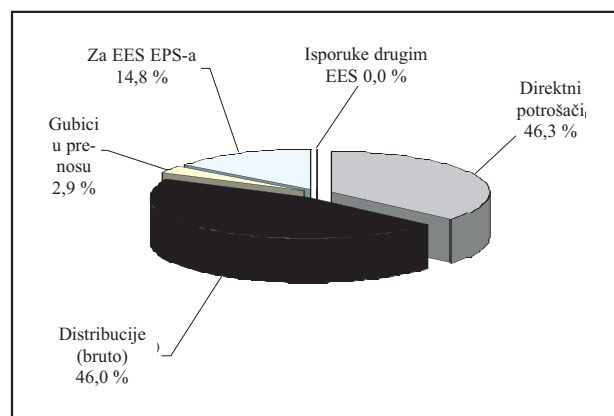
3.2. Potrošnja električne energije

Ukupne potrebe potrošača električne energije u CG su iznosile **4 584,5 GWh**, dok su isporuke drugim EES (uključujući i EPS) iznosile **796,5 GWh**.

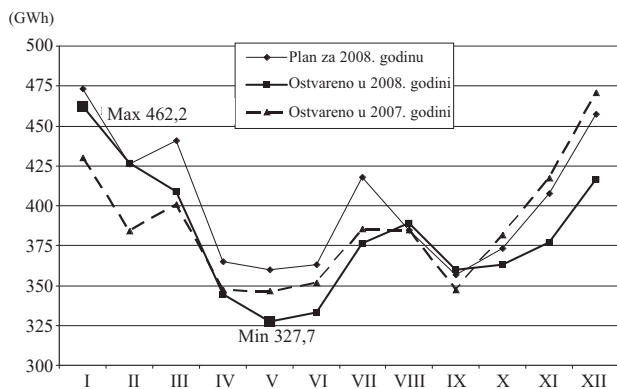
Plan ukupne potrošnje električne energije je ostvaren sa **95,0 %**, a isporuke električne energije drugim EES (uključujući i EPS) je iznosio **104,5 %** plana, tako da je ukupan plasman iznosio **95 %** plana. Na slici 16. se vidi kakvo je učešće potrošača električne energije. Direktni potrošači su ispunili plan sa **86,2 %** (potrošili su električne energije manje nego 2007. godine za **9,3 %**). Distributivna bruto potrošnja je **103,6 %** od plana, i ista ima rast od **6 %** u odnosu na 2007. godinu. Gubici električne energije u prenosu su manji od planiranih, za **8,4 %** ali su u odnosu na 2007. godinu veći za **9,7 %**. Na slici 18, prikazana je prosečna proizvodnja i potrošnja električne energije bruto konzuma. U tabeli 19, u prilogu su dati i numerički podaci.



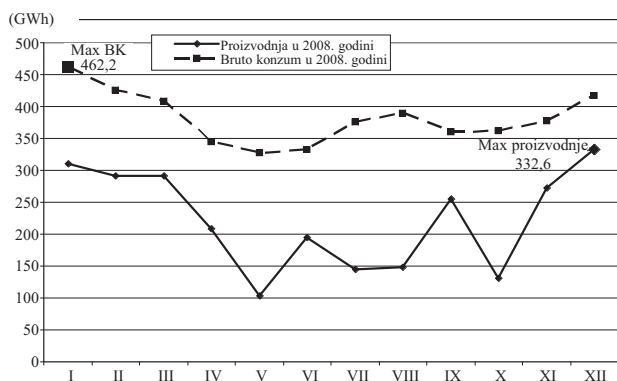
Slika 15. Proizvodnja EPCG-a



16. Struktura potrošnje u EPCG



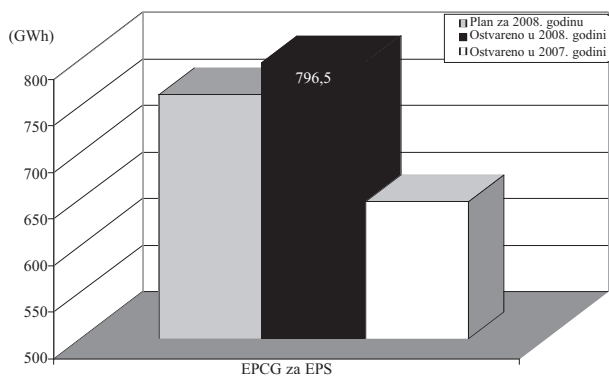
Slika 17. Bruto konzum EPCG



Slika 18. Proizvodnja i bruto konzum

Karakteristične potrošnje električne energije:

- najveća mesečna bruto potrošnja je bila u **januaru** 2008. godine i iznosila je **462,2 GWh** (najveća mesečna bruto potrošnja u 2007. godini je bila 468,2 GWh) vidi tabelu 19 i
- prosečna dnevna potrošnja na godišnjem nivou u 2008. godini je iznosila **12,5 GWh**, bila planira 13,2 GEWh a u 2007. godini ostvarena dnevna prosečna potrošnja je bila 12,4 GWh.



Slika 19. Isporuka električne energije EPCG za EPS

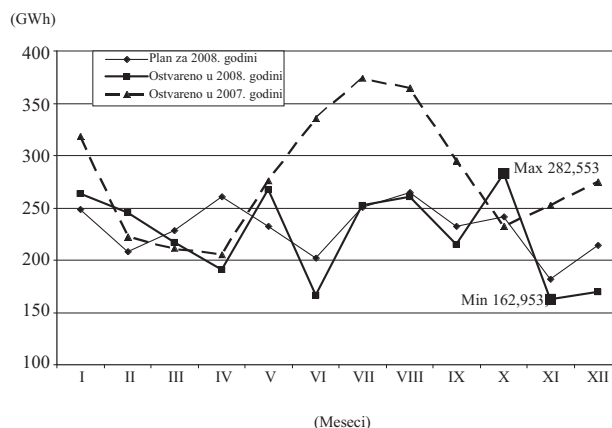
3.3. Isporuka električne energije EES EPS-a

U tabeli 20 u prilogu i na slici 19. prikazana je isporuka električne energije elektroprivredi Srbije. EES EPS-a imao je potrebu za ispunjenje svoga plana za 2008. godinu da od HE Piva preuzme 104,5 % planiranih količina električne energije, odnosno u odnosu na 2007. godinu 123 %.

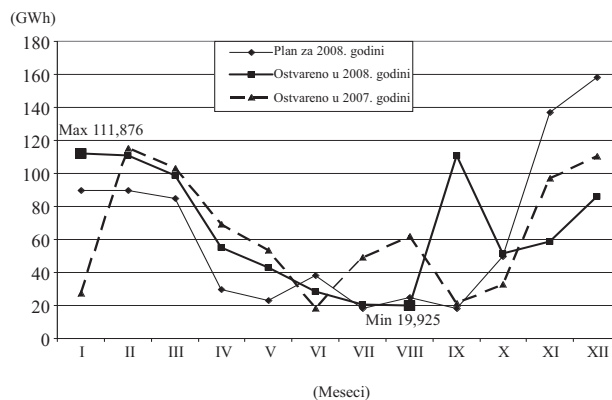
3.4. Nabavka i isporuka električne energije drugim EES

Nabavke električne energije (uključujući i od EPS-a) tokom 2006. godine (slika 20 i tabela 21 u prilogu) bile su zavisne od hidroloških uslova. Nekad veće nekad manje od planiranih, kao sto se to vidi na dijagramu – slika 20.

Isporuke električne energije (i za EPS) tokom 2008. godine bile su nekad veće nekad manje od planiranih, kao sto se to vidi na dijagramu – slici 21 i tabeli 22 datoju u prilogu.



Slika 20. Nabavka (uključujući i od EPCG)

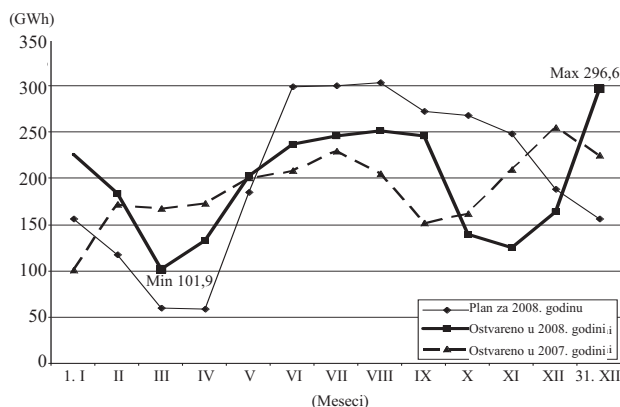


Slika 21. Isporuka drugim EES (i EPS-u)

3.5. Stanje akumulacije HE Piva

Kretanje akumulacije za HE Piva, koju dugoročnim ugovorom koristi EPS, prikazano je numerički u tabeli 23, datoj u prilogu, i slikom 22.

Kraj 2008. godine dočekan sa 190,1 % plana, a to je 131,9 % u odnosu na ostvareno krajem 2007. godine. Vrednost akumulacije 31. 12. 2008. godine je 97,9 % maksimalne vrednosti te akumulacije.



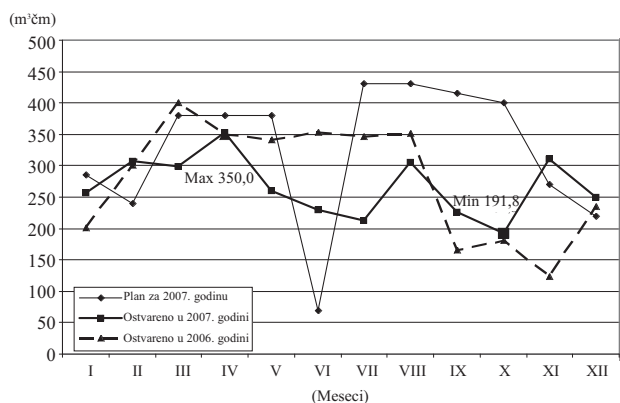
Slika 22. Akumulacije HE Pive

3.6. Otkrivka i proizvodnja uglja

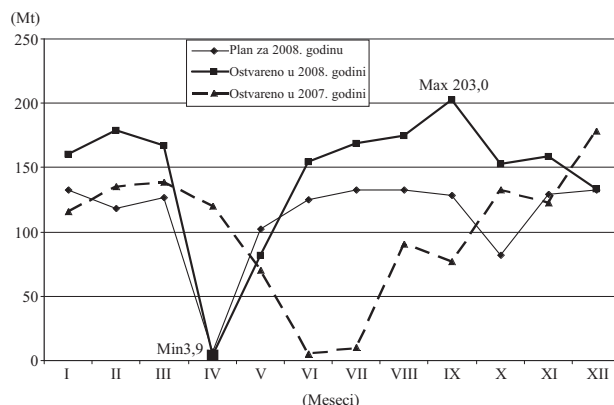
Pošto od veličine otkrivke uglja zavisi proizvodnja uglja, a samim tim i popunjenost deponija uglja i rad TE, to će se u ovom poglavlju kao i na slici 23 (i u tabeli 24 u prilogu) dati i ova problematika, jer njena uspešnost itekako utiče na ostale rezultate ostvarenja EB Crne Gore, odnosno na rad TE Pljevlja.

Otkrivka uglja u Crnoj Gori u 2008. godini je iznosila **82,0 %** od plana. Ista je manja u odnosu na ostvareno u 2007. godini 4,4 %.

Proizvodnja uglja u Crnoj Gori u 2008. godini je iznosila **128,9 %** od plana. Ista je veća u odnosu na ostvareno u 2007. godini 45,5 %, isto je prikazano na slici 24 (u tabeli 25 u prilogu dati su numerički podaci).



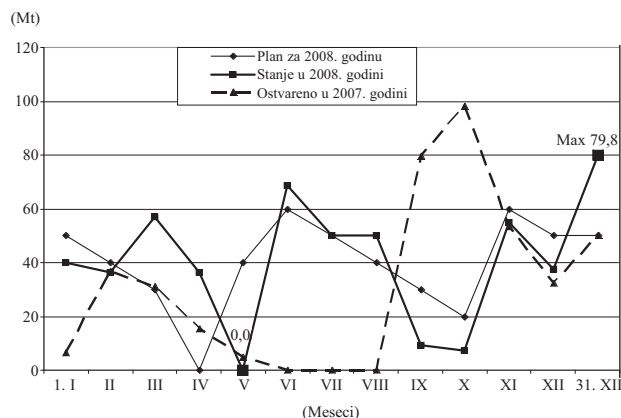
Slika 23. Otkrivka u rudniku Pljevlja



Slika 24. Mesečna proizvodnja uglja u rudniku Pljevlja

3.7. Deponija uglja

U energetske bilansu Crne Gore, plan deponija uglja za TE i njihovo stanje tokom 2008. godine prikazani su na slici 25. (numerički podaci su u prilogu, tabela 26, sa poređenjem stanja deponija u odnosu na ostvareno u 2007. godini).



Slika 25. Deponija uglja TE Pljevlja

3.7. ZAKLJUČAK

Kada se analiziraju proizvodnja i potrošnja električne energije u 2008. godini, kao i ostali aspekti vezani za tu vrstu problematike, može se konstatovati sledeće:

- i dalje, već decenijski, je veliki nedostatak električne energije, koji se svake godine povećava, danas je veći od trećine potreba, posebno u uslovima loše hidrologije;
- nedovoljna otkrivka, može umanjiti mogućnost proizvodnje električne energije iz TE Pljevlja, koja zadnjih godina, posle kapitalnog remonta i velike stručnosti i zalaganja osoblja, postiže veliki stepen tehničke efikasnosti;
- potrebno je stvoriti uslove za što racionalnije korišćenje električne energije, posebno smanjiti gubitke u distributivnoj mreži – dovesti ih na nivo tehničkih gubitaka;

– potrebno je nastaviti sa intenzivnim ulaganjem u re-
monte na svim nivoima, pripremom revitalizacije, kao i – izgradnjom kako novih proizvodnih kapaciteta
tako i prenosne mreže.

3.8. PRILOZI ZA EES EPCG

Tabela 15.

Ostvarenje bilansa proizvodnje (na pragu elektrana) i nabavki električne energije EES-a EPCG

Raspoloživo	2008. godina		Ostvareno 2008./ Planirano 2008. (2/1)	Ostvareno 2008./ Ostvareno 2007. (2/4)	
	Planirano	Ostvareno		(GWh)	(%)
	(GWh)		(%)	(GWh)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Proizvodnja HE	1 693,0	1 531,5	90,5	1 278,2	119,8
Proizvodnja TE	1 130,0	1155,4	102,2	766,4	150,5
Ukupna proizvodnja	2 823,0	2 686,9	95,2	2 044,6	131,4
Nabavka od EES EPS-a	1 105,0	1 220,4	110,4	1 235,1	98,8
Nabavka od drugih EES	1 659,6	1 473,8	86,5	2 126,1	69,3
Ukupno raspoloživo	5 587,6	5 381,1	96,3	5 405,8	99,5

Tabela 16.

Ostvarenje bilansa potrošnje i isporuka električne energije EES EPCG

Plasman	2008. godina		Ostvareno 2008./ Planirano 2008. (2/1)	Ostvareno 2008./ Ostvareno 2007./ (2/4)	
	Planirano	Ostvareno		(GWh)	(%)
	(GWh)		(%)	(GWh)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Direktni potrošači	2 267,6	1 955,1	86,2	2 155,7	90,7
Distribucije (bruto)	2 387,0	2 472,9	103,6	2 333,8	106,0
Gubici u prenosu	171,0	156,6	91,6	157,2	99,6
Ukupna potrošnja	4 825,6	4 584,5	95,0	4 646,7	98,7
Isporuka EPS-u	762,0	796,5	104,5	647,5	123,0
Isporuka drugim EES	0,0	0,0		111,6	0,0
Ukupan plasman	5 587,6	5 381,1	96,3	5 405,8	99,5

Tabela 17.

Proizvodnja EPCG: plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(GWh)	315,0	308,0	298,0	134,0	150,0	199,0	185,0	145,0	143,0	182,0	363,0	401,0	2 823,0
Ostvareno u 2008. godini	(GWh)	310,6	292,2	290,8	209,3	103,5	194,7	145,0	148,3	255,4	131,6	273,0	332,6	2 686,9
O. 2008./P. 2008.	(%)	98,6	94,9	97,6	156,2	69,0	97,8	78,4	102,3	178,6	72,3	75,2	82,9	95,2
Ostvareno u 2007. godini	(GWh)	139,2	276,4	292,7	211,0	124,8	34,6	60,7	81,7	73,3	182,7	261,3	306,2	2 044,6
O. 2008./O. 2007.	(%)	223,1	105,7	99,3	99,2	83,0	562,8	238,9	181,4	348,5	72,0	104,5	108,6	131,4

Tabela 18.

Bruto konzumu EPCG: plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPCG		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(GWh)	473,2	425,8	440,9	364,8	359,8	363,1	418,0	385,0	357,0	373,0	407,9	457,1	4 825,6
Ostvareno u 2008. godini	(GWh)	462,2	426,4	408,9	344,4	327,7	333,0	376,3	389,4	359,6	362,8	377,1	416,6	4 584,5
O. 2008./P. 2008.	(%)	97,7	100,1	92,8	94,4	91,1	91,7	90,0	101,1	100,7	97,3	92,4	91,2	95,0
Ostvareno u 2007. godini	(GWh)	430,1	384,0	400,5	347,1	346,6	351,5	385,3	384,9	347,1	381,8	417,1	470,7	4 646,7
O. 2008./O. 2007.	(%)	107,5	111,0	102,1	99,2	94,5	94,7	97,7	101,2	103,6	95,0	90,4	88,5	98,7

Tabela 19.

Proizvodnja i bruto konzum u EPCG: ostvarenje tokom 2008. godinu

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Proizvodnja u 2008. godini	(GWh)	310,6	292,2	290,8	209,3	103,5	194,7	145,0	148,3	255,4	131,6	273,0	332,6	2 686,9
Bruto konzum u 2008. godini	(GWh)	462,2	426,4	408,9	344,4	327,7	333,0	376,3	389,4	359,6	362,8	377,1	416,6	4 584,54 584,5
P. u 2008./ BK u 2008.	(%)	67,2	68,5	71,1	60,8	31,6	58,5	38,5	38,1	71,0	36,3	72,4	79,8	58,6

Tabela 20.

Isporuka električne energije EPCG EES EPS-a

EPCG za EPS	2008. godina		Ostvareno 2008./ Planirano 2008. (2/1)	Ostvareno 2008/ Ostvareno 2007. (2/4)	
	Planirano	Ostvareno		(GWh)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	762	796,5	104,5	647,5	123,0

Tabela 21.

Mesečna nabavka električne energije EPCG (uključujući i od EPS-a)

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Planirana nabavka električne energije (i od EPS-a) za 2008. godinu	(GWh)	248,2	207,8	227,9	260,8	232,8	202,1	251,0	265,0	232,0	241,0	181,9	214,1	2 764,6
Ostvarena nabavka električne energije (i od EPS-a) u 2008. godini	(GWh)	263,5	245,1	216,9	190,4	267,5	166,7	252,2	261,0	213,4	282,6	163,0	169,9	2 694,2
O.2008./P. 2008.	(%)	106,2	117,9	95,2	73,0	114,9	82,5	100,5	98,5	92,8	117,2	89,6	79,3	97,5
Ostvarena nabavka (i od EPS-a) u 2007. godini	(GWh)	318,1	222,6	210,6	205,3	275,4	335,3	373,9	364,7	295,2	232,0	253,0	274,9	3 361,2
O.2008/O 2007.	(%)	82,8	110,1	103,0	92,8	97,1	49,7	67,5	71,6	73,0	121,8	64,4	61,8	80,2

Tabela 22.

Mesečna isporuka električne energije(uključujući i EPS-u):
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPCG		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Planirana isporuka električne energije (i EPS-u) za 2008. godinu	(GWh)	90,0	90,0	85,0	30,0	23,0	38,0	18,0	25,0	18,0	50,0	137,0	158,0	762,0
Ostvarena isporuka električne energije (i EPS-u) u 2008. godini	(GWh)	111,9	110,9	98,8	55,3	43,3	28,4	20,9	19,9	111,1	51,3	58,9	85,8	796,5
O.2008./P. 2008.	(%)	124,3	123,2	116,2	184,4	188,4	74,7	115,9	79,7	617,4	102,7	43,0	54,3	104,5
Ostvarena isporuka električne energije (i EPS-u) u 2007. godini	(GWh)	27,3	115,1	102,8	69,2	53,6	18,4	49,4	61,5	21,4	32,9	97,2	110,4	759,1
O.2008/O 2007	(%)	410,0	96,4	96,1	79,9	80,9	154,4	42,3	32,4	519,4	156,1	60,6	77,7	104,9

Tabela 23.

Akumulacija za HE Piva: plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		01. I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	01. XII	31. XII
Plan za 2008. godinu	(GWh)	156,0	117,0	60,0	59,0	185,0	299,0	300,0	303,0	273,0	268,0	248,0	188,0	156,0
Ostvareno u 2008. godini	(GWh)	225,6	183,7	101,9	132,9	202,8	237,4	246,0	251,7	246,1	139,2	125,4	163,8	296,6
O 2008./P 2008.	(%)	144,6	157,0	169,8	225,3	109,6	79,4	82,0	83,1	90,1	51,9	50,6	87,1	190,1
Ostvareno u 2007. godini	(GWh)	101,2	172,2	167,2	173,2	200,4	208,2	229,1	204,8	151,3	161,9	209,4	254,9	224,9
O 2008./O 2007.	(%)	222,9	106,7	60,9	76,7	101,2	114,0	107,4	122,9	162,7	86,0	59,9	64,3	131,9
O 2007./Maksimum 303 GWh	(%)	74,5	60,6	33,6	43,9	66,9	78,3	81,2	83,1	81,2	45,9	41,4	54,1	97,9

Tabela 24.

Mesečna otkrivka uglja u rudniku Pljevlja:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(Mt)	285,0	240,0	380,0	380,0	380,0	70,0	430,0	430,0	415,0	400,0	270,0	220,0	3 900,0
Ostvareno u 2008. godini	(Mt)	256,5	307,0	299,0	352,4	259,5	228,9	212,0	305,5	226,3	191,8	310,9	249,9	3 199,7
O. 2008./P. 2008.	(%)	90,0	127,9	78,7	92,7	68,3	327,1	49,3	71,0	54,5	47,9	115,1	113,6	82,0
Ostvareno u 2007. godini	(Mt)	200,5	300,2	399,8	350,0	341,7	353,6	345,8	351,6	165,8	181,3	122,6	235,5	3 348,5
O. 2008./O. 2007.	(%)	127,9	102,3	74,8	100,7	76,0	64,7	61,3	86,9	136,5	105,8	253,6	106,1	95,6

Tabela 25.

Mesečna proizvodnja uglja rudnika Pljevlja:
plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2007. godini

EPS		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno
Plan za 2008. godinu	(Mt)	133,0	118,0	127,0	7,0	102,0	125,0	133,0	133,0	128,0	82,0	129,0	133,0	1 350,0
Ostvareno u 2008. godini	(Mt)	160,7	179,4	167,0	3,9	82,1	154,2	169,2	175,1	203,0	152,9	158,8	133,7	1 740,1
O. 2007./P. 2007.	(%)	120,8	152,0	131,5	56,2	80,5	123,4	127,2	131,6	158,6	186,5	123,1	100,5	128,9
Ostvareno u 2007. godini	(Mt)	115,8	135,5	138,6	119,8	69,8	5,4	10,2	90,7	76,7	132,3	122,3	178,4	1 195,5
O. 2007./O. 2006.	(%)	138,8	132,4	120,5	3,3	117,6	2 850,3	1 655,2	193,0	264,6	115,6	129,9	74,9	145,5

Tabela 26.

Deponija uglja TE Pljevlja: plan i ostvarenje tokom 2008. godinu sa osvrtom na ostvareno u 2006. godini

EPS		01. I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	01. XII	31. XII
Plan za 2007. godinu	(kt)	50,0	40,0	30,0	0,0	40,0	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	60,0	50,0	50,0
Ostvareno u 2008. godini	(kt)	40,0	36,4	57,1	36,4	0,0	68,5	50,3	50,1	9,1	7,2	54,8	37,6	79,8
O. 2008./P. 2008.	(%)	80,0	91,0	190,4		0,0	114,2	100,6	125,3	30,3	36,0	91,3	75,2	159,6
Ostvareno u 2007. godini	(Mt)	6,3	36,6	31,2	15,5	4,8	0,0	0,0	0,0	79,7	98,1	53,1	32,2	50,3
O. 2008./O. 2007.	(%)	634,7	99,3	183,1	235,6	0,0				11,4	7,3	103,1	116,6	158,8
O.2008./Maksimum 160 kt	(%)	25,0	22,8	35,7	22,8	0,0	42,8	31,4	31,3	5,7	4,5	34,3	23,5	49,9

4. LITERATURA

- [1] UGOVOR O DUGOROČNOJ POSLOVNO-TEHNIČKOJ SARADNJI, mart 1991. godine.
- [2] EEB REPUBLIKE SRBIJE (aktuelizovani) U 2007, i 2008. GODINI.
- [3] EB REPUBLIKE CRNE GORE U 2007, I 2008. GODINI.
- [4] KOMERCIJALNI PODACI EPS-a O OSTVARENJU EEB u 2008, Beograd, 21. 01. 2009. godine.
- [5] IZVEŠTAJ EPS-a O OSTVARENJU PROIZVODNJE UGLJA, Beograd, br. II-29/2-08 14. 01. 2008. godine.
- [6] IZVEŠTAJ RUDNIKA UGLJA PLJEVLJA O OSTVARENJU PROIZVODNJE UGLJA, Pljevlja, januar 2009. godine.
- [7] ELEKTROPRIVREDA SRBIJE 2007. GODINA, Beograd, 2009. godine.
- [8] ELEKTROPRIVREDA CRNE GORE 2008. GODINA, Nikšić, 2009. godine.
- [9] ELEKTROPRIVREDA SRBIJE 2008. GODINA, Beograd, 2009. godine.
- [10] Branislav A. Bošković, OSTVARENJE ELEKTROENERGETSKOG BILANSA ELEKTROPRIVREDE SRBIJE I CRNE GORE U 2007. GODINI, Časopis „Elektroprivreda”, br. 1, 2008.
- [11] ANALIZA RADA PROIZVODNIH KAPACITETA EPS-A U PERIODU JANUAR-DECEMBAR 2008. GODINE, JP EPS broj II-125/2-09 od 08. 02. 2009. godine
- [12] ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE RAZVOJ ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE DO 1985. GODINE S OSVRTOM NA 1990. GODINU I VIZIJOM 2000. GODINE (ANALIZA PERIODA 1986-2000. GODINE), Obradivač Institut za Elektroprivredu u Zagrebu, Zagreb, prosinac 1980. godine

Generalna napomena čitaocima:

Ukoliko bi čitalac proveravao zbirove 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. Takođe i pojedina ostvarenja u 2008. godini, se razlikuju od datih u broju 1/2008, jer su neki od podataka korigovani i posle objavljivanja komercijalnih podataka, na osnovu kojih je vršena obrada podataka za 2007. godinu.

Rad je primljen u uredništvo 03. 03. 2009. 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.

Pouzdanost sistema za distribuciju električne energije

*Autori: Jovan Nahman i Vladica Mijailović
Izdavač: Akademska misao, Beograd, 2009.*

Sistemi za distribuciju električne energije značajno utiču na pouzdanost snabdevanja potrošača pošto ih neposredno napajaju. Iz tehničko-ekonomskih razloga distributivni sistemi imaju ograničene rezervne kapacitete pa kvarovi elemenata ovih sistema po pravilu dovode do prekida napajanja većih ili manjih grupa potrošača što može prouzrokovati značajne štete. Zato se kod planiranja izgradnje, izbora konfiguracije i elemenata mreža i postrojenja, izbora zaštite i automatike i načina upravljanja i održavanja, mora posvetiti posebna pažnja mogućim kvarovima kako bi se njihove posledice svele na prihvatljivu meru uz racionalna ulaganja. Danas se analizi pouzdanosti distributivnih sistema posvećuje velika pažnja i ona postaje jedan od osnovnih kriterijuma za ocenu kvaliteta rada i njegovo profitno vrednovanje od strane odgovarajućih regulatora tržišta. Knjiga koja se stavlja na raspolaganje čitaocima upravo se bavi metodama za predikciju kvarova, procenama njihovih posledica i preventivnim merama za njihovo smanjivanje ili izbegavanje.

Posle uvodne 1. glave, glave 2 – 4 izlažu teorijske osnove proračuna pouzdanosti tehničkih sistema generalno. Prikazuje se primena analitičkih metoda za proračune neotkazivosti, raspoloživosti i drugih pokazatelja pouzdanosti elemenata pojedinačno, grupa elemenata sa složenim uzajamnim funkcionalnim zavisnostima i mreža proizvoljne konfiguracije. U analizi se primenjuju modeli zasnovani na Markovljevim i Kolmogorovljevim jednačinama prelaza između stanja koje se prilagođavaju primenama kod kvarova specifičnih za elektroenergetske sisteme (jednovremeni i indukovani kvarovi, planski remont). Njihova se primena proširuje i na sisteme sa neeksponencijalnim vremenima boravka u karakterističnim stanjima. Pored analitičkih metoda prikazuje se i primena stohastičkog modelovanja specifičnih stanja i procesa u sistemu. Glave 5 i 6 posvećene su modelovanju nadzemnih vodova i elektroenergetskih postrojenja generalno tako da se mogu koristiti kod analiza pouzdanosti elektroenergetskih sistema svih naponskih nivoa.

Prikazuju se metode proračuna pouzdanosti postrojenja zasnovane na selektivnom pretraživanju mogućih stanja i korelacionoj matrici koja povezuje otkaze elemenata postrojenja i prekide njegovih funkcija. U 6. glavi prikazuju se i modeli za optimalni tehničko-ekonomski izbor broja i vrste rezervne opreme u postrojenjima i broja rezervnih transformatora u distributivnom sistemu određenog naponskog nivoa. Analizi pouzdanosti integralnih distributivnih sistema posvećena je 7. glava. Definišu se specifični pokazatelji pouzdanosti, pokazuje način njihovog proračuna i prikazuju primeri tehničko-ekonomske analize u koncipiranju mreže i izboru prateće opreme i automatike. U posebnom odeljku prikazuje se metoda za procenu uticaja tačnosti poznavanja ulaznih podataka na rezultate analize performansi distributivnih sistema. U 8. glavi razmatraju se modeli pouzdanosti malih elektrana – raspodeljenih izvora koji se priključuju na distributivne sisteme i analiziraju njihovi uticaji na pouzdanost napajanja potrošača. U 9. glavi dat je pregled karakterističnih vrednosti različitih pokazatelja pouzdanosti elemenata distributivnih sistema.

Ceo tekst ilustrovan je velikim brojem urađenih praktičnih primera koji olakšavaju razumevanje izlagane materije i pružaju čitaocima predstavu o redu vrednosti pojedinih veličina i parametara koja je vrlo važna u obrazovanju inženjera. Materija izložena u prvih 6 glava može se koristiti kod analiza pouzdanosti elektroenergetskih sistema svih naponskih nivoa tako da u tom delu knjiga prevazilazi okvire sadržane u njenom naslovu.

Knjiga ima 230 stranica teksta sa prilogima. Razdvojena je u 9 glava. Spisak referenci obuhvata 87 bibliografskih jedinica uključujući 17 referenci autora knjige. Značajan deo brojnih podataka koji se navode, potrebnih za primenu izloženih metoda i postupaka, važi za naše uslove. Do njih se došlo u okviru nekoliko studija urađenih za potrebe JP „Elektroprivreda Srbije”.

Prof. dr Dragutin Salamon