

## Analiza rada distributivne mreže sa visokim netehničkim gubicima električne energije

Maja Marković<sup>1</sup>, Petar Kovačević<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Koste Glavinića 8a  
11000 Beograd, Srbija  
[maja.markovic@ieent.org](mailto:maja.markovic@ieent.org)

**Kratak sadržaj:** Ovaj rad proizišao je iz "Studije dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10 kV na području ogranka Vranje". U pitanju je potrošačko područje sa delovima gde netehnički gubici prelaze i 50% energije nabavljene iz prenosnog sistema. Precizirano je koje su to neophodne energetske podloge koje omogućavaju analizu rada distributivnih mreža. Detaljno je opisan način na koji ih treba sagledati da bi dobijeni podaci bili upotrebljivi u slučaju konzuma sa visokim nivoom neovlašćenog preuzimanja električne energije. Predstavljene su izmene metodologije za određivanje veličina stanja takve distributivne mreže.

**Cljučne reči:** distributivna mreža, modelovanje opterećenja, netehnički gubici

### 1. Uvod

Teorijska podloga analize distributivnih mreža za potrebe analiza postojećeg stanja, a kasnije i izradu Studije razvoja, je prilično jednostavna. Na osnovu podataka o postojećoj električnoj mreži formira se matematički model. Zatim, na osnovu merenja energije prodate kupcima određuje se raspodela opterećenja na sabirnicama X kV u TS X/0.4 kV. Razlika prodate i nabavljene energije definiše gubitke u mreži. Pomoću brojnih raspoloživih softverskih alata za proračun tokova snaga dobija se raspodela snaga i naponske prilike u mreži.

Za prikupljanje tehničkih podataka o mreži potrebno je izdvojiti značajno vreme: deo njih negde postoji po različitim službama elektrodistributivnih preduzeća. Za deo dokumentacije koji je izgubljen ili nije ni postojao tu je mreža. Dakle, problem je težak, ali rešiv.

Izazov nastaje kada se dođe do trenutka da se formirani matematički model mreže "oživi", odnosno da se definišu opterećenja u mreži i puste proračuni tokova snaga. Odmah postaje jasno da se ne raspolaže ogromnim brojem podataka koje klasične metode modelovanja opterećenja podrazumevaju. Potrebne podatke je neophodno prikupiti i kritički analizirati, i u nekim slučajevima i pretpostaviti. Način na koji se to činiti biće prikazan na primeru modelovanja opterećenja za potrebe Studije dugoročnog razvoja ED Vranje [1].

## **2. Potrebne energetske podloge za modelovanje distributivnih mreža**

Svim analizama rada distributivnih mreža prethodi proces opsežnog prikupljanja i pripreme podataka.

U okviru softverskog paketa "Tokovi snaga" formira se georeferencirani matematički model na osnovu podataka o postojećoj električnoj mreži napona 10 - 110 kV:

- elementima mreže (vodovi, transformatori, distributivne elektrane),
- uklopnom stanju mreže srednjeg napona,
- položaju regulatora na transformatorima 35/X kV (čiji se prenosni odnos menja u beznaponskom stanju),
- nivou podešenja automatske regulacije napona na transformatorima 110/X kV.

Opterećenja se u mreži modeluju po svakoj TS X/0.4 kV, srazmerno ukupnoj energiji koja se na godišnjem nivou isporuči kupcima posredstvom TS X/0.4 kV sa koje se napajaju. Energetske podloge koje omogućavaju ovakvo modelovanje opterećenja su:

- podaci o iz SRAAMD sistema o protoku aktivne i reaktivne energije i vršnim opterećenjima u elektroenergetskim objektima preko kojih distributivno preduzeće vrši nabavku energije,
- podaci iz SCADA sistema,
- podaci o prodaji električne energije pojedinačnim kupcima na godišnjem nivou,
- podaci o pripadnosti svakog potrošača rejonu napajanja TS X/0.4 kV, za uobičajeno uklopno stanje u mreži niskog napona.

Na osnovu podatka o pripadnosti svakog kupca rejonu napajanja TS X/0.4 kV, za uobičajeno uklopno stanje u mreži napona 0.4 kV i mreži srednjeg napona dolazi se do ukupne evidentirane aktivne energije koja je isporučena kupcima putem svake od TS 110/X kV.

### 3. Veličine stanja distributivnih mreža

Naredne analize imaju za cilj da se, na osnovu raspoloživih podataka, odrede veličine stanja za modelovanje opterećenja, kako bi se definisao način raspodele aktivne i reaktivne snage po TS X/0.4 kV i mernim mestima X kV, tako da se stekne uvid u tokove snaga i naponske prilike u mreži. Biće opisano kako su definisane i usvojene vrednosti za: ekvivalentno vreme trajanja vršne snage ( $T_{EKV}$ ), prosečno vreme korišćenja energije isporučene potrošačima ( $T_{PKE}$ ) i faktor snage ( $\cos\phi$ ) sa kojima je računato pri modelovanju opterećenja. U analizi se polazi od nivoa transformacije 110/X kV zato što su podaci dobijeni za ovu transformaciju pouzdaniji.

#### 3.1. Ekvivalentno vreme trajanja vršne snage ( $T_{EKV}$ )

Ekvivalentno vreme trajanja vršne snage ( $T_{EKV}$ ) je količnik protekle energije i vršnog opterećenja. U slučaju jedne TS 110/X kV,  $T_{EKV}$  bi bilo količnik energije koju je distributivno preduzeće nabavilo iz sistema "Elektromreže Srbije" ( $W_{nab}$ ) i zabeleženog vršnog opterećenja te TS ( $P_{max}$ ) (Tabela 1). Na osnovu  $T_{EKV}$  se izračunava ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka ( $\tau$ ) koje se koristi za procenu troškova gubitaka snage i energije i tehno-ekonomske analize za izbor optimalnih karakteristika elemenata elektrodistributivne mreže. Za sve TS 110/X kV ogranka Vranje su izračunate ekvivalentna vremena trajanja vršne snage na nivou proračunske godine (pod terminom proračunska godina podrazumeva se period 1. oktobar prethodne - 30. septembar tekuće godine).

Tabela 2 prikazuje vrednosti nabavljene energije i energije isporučene potrošačima u periodu od 2006. do 2008. godine, za područje ED Vranje. Vrednosti gubitaka (izražene u kWh) su proračunate tako što je od ukupne nabavljene energije oduzeta energija fakturisana potrošačima. U istoj tabeli je izračunato i procentualno učešće gubitaka u ukupnoj nabavljenoj energiji po pojedinim TS 110/X kV. Može se videti da se procenti gubitaka energije značajno razlikuju po pojedinim TS 110/X kV. Detaljnim uvidom u strukturu konzuma i način rada TS 110/35 kV Vranje 1 i TS 110/35/10 kV Bujanovac se mogu naći i uzroci takvog stanja.

Energija isporučena krajnjim potrošačima (Tabela 2) preko TS 110/35 kV Vranje 1 računata je za uobičajeno uklopno stanje u mreži 35 kV ED Vranje, kada je napajanje TS 35/10 kV Vranje 3 realizovano preko TS 110/35 kV Vranje 1. Kada, zbog preopterećenja sistema, uz izmene uklopnog stanja u mreži 10 kV i redukciju napajanja, TS 110/35/10 kV Bujanovac preuzme snabdevanje TS 35/10 kV Vranje 3, tako protekla energija beleži se u nabavci preko TS 110/35/10 kV Bujanovac. Takođe, značajna su preuzimanja napajanja između TS 110/10 kV Ristovac i TS 110/35/10 kV Bujanovac. Stoga, zabeleženo vršno opterećenje na nivou godine TS 110/35/10 kV

Bujanovac (26.048 MW) i TS 110/10 kV Ristovac (4.752 MW) je uvećano i odgovara havarijskim režimima, što se odražava i na proračun  $T_{EKV}$ . Vršno opterećenje TS 110/35 kV Vranje 1 za konzum koji u osnovnom napajanju gravitira ovoj TS praktično nije zabeleženo jer trenutak vrha je i trenutak redukcija i havarija. Na osnovu analiza petnaestominutnih merenja EMS-ovog SRAAMD sistema i merenja SCADA sistema ED Vranje, usvojena su vršna opterećenja koja daju realnu sliku konzuma (Tabela 3: označena sa  $P_{MAXver}$  - verifikovana vršna opterećenja). Na osnovu njih proračunate su nove vrednosti  $T_{EKV}$  koje su u slučaju TS 110/35/10 kV Bujanovac 15%, a u slučaju TS 110/10 kV Ristovac čak 22% veće.

**Tabela 1.** Pregled godišnjih proteklih energija i vršnih opterećenja po mestima nabavke električne energije ED Vranje u periodu 2006-2008. godine

Godina	TS 110/35 kV Vranje 1	TS 110/35/10 kV Bujanovac	TS 110/10 kV Preševo	TS 110/10 kV Ristovac	HE Vrta 4 35 kV Vladičin Han i HE Jelašnica
Aktivna energija (nabavka) (kWh)					
2008	281 6043	108 972 072	92 217 400	21 838 608	67 899 234
2007	270 277 795	105 068 480	68 321 660	19 335 943	64 147 810
2006	273 751 590	105 195 420	83 872 580	18 658 530	73 500 634
Vršno opterećenje (kW)					
2008	58 430	26 048	22 000	4 752	14 179
2007	51 895	25 784	21 120	3 938	12 740
2006	60 312	26 752	19 677	4 312	14 224
$T_{EKV}$ (h)					
2008	4 819	4 184	4 192	4 596	4 789
2007	5 208	4 075	3 235	4 910	5 035
2006	4 539	3 932	4 263	4 327	5 167

**Tabela 2.** Pregled godišnje nabavljene energije, prodane energije i gubitaka po mestima nabavke električne energije ED Vranje u periodu 2006-2008. godine

Godina	TS 110/35 kV Vranje 1	TS 110/35/10 kV Bujanovac	TS 110/10 kV Preševo	TS 110/10 kV Ristovac	HE Vrta 4 35 kV Vladičin Han i HE Jelašnica
Aktivne energije (nabavka) (kWh)					
2008	281 604 223	108 972 072	92 217 400	21 838 608	67 899 234
2007	270 277 795	105 068 480	68 321 660	19 335 943	64 147 810
2006	273 751 590	105 195 420	83 872 580	18 658 530	73 500 634
2005	258 996 113	98 693 540	78 843 600	16 141 400	61 934 502
Aktivne energije (prodaja) (kWh)					
2008	249 635 222	66 389 913	48 060 634	16 264 986	56 076 131
2007	218 841 792	60 249 490	39 863 348	13 760 996	44 796 210
2006	231 820 594	63 008 066	43 609 085	13 389 825	59 630 163
Gubici (kWh)					
2008	31 969 001	42 582 159	44 156 766	5 573 622	11 823 103
2007	51 436 003	44 818 990	28 458 312	5 574 947	19 351 600
2006	41 930 996	42 187 354	40 263 495	5 268 705	13 870 471
Procenat gubitaka					
2008	11%	39%	48%	26%	17%
2007	19%	43%	42%	29%	30%
2006	15%	40%	48%	28%	19%

Visoke vrednosti  $T_{EKV}$  u zonama u kojima nije dominantna industrijska potrošnja ukazuju da je prisutno prigušenje potrošnje u mesecima maksimalnih opterećenja. Jasno je da u slučaju distributivne mreže

nedovoljnih prenosnih kapaciteta često dolazi do redukcija u napajanju. Međutim, za konzumna područja koje odlikuje visok procenat netehničkih gubitaka prisutno je i prigušenje potrošnje usled loših naponskih prilika koje nisu samo posledica visokih opterećenja i niske prenosne moći elemenata mreže kojima se vrši isporuka električne energije. Bitno je uočiti postojanje delova konzuma na kojima je prigušenje potrošnje posledica niskih napona na sabirnicama TS X/10 kV. Ova mera se koristi kako za smanjivanje opterećenja mreže tako i za ograničavanja količine neovlašćeno preuzete električne energije. Sve ovo treba uzeti u obzir kada se razmatra ovako kompleksno energetska područje.

**Tabela 3.** Struktura nabavke i prodaje energije u TS 110/X/y kV u ED Vranje, zabeležena vršna opterećenja u 2008. godini ( $P_{MAXgod}$ ) i usvojena vršna opterećenja ( $P_{MAXver}$ )

TS 110/X kV	Aktivna energija (kWh) 2008. godina			Gubici (%)	$P_{MAXgod}$ (kW)	$T_{EKV}$ (h)	Trenutak kada je zabeleženo $P_{MAX}$	$P_{MAXver}$ (kW)	$T_{EKVver}$ (h)
	Nabavka	Prodaja	Gubici						
TS 110/35/10 kV Bujanovac	108 972 072	66 389 913	42 582 159	39%	26 048	4 184	26.12.2007. 17:15 h	22 264	4 895
TS 110/35 kV Vranje	281 604 223	249 635 222	31 969 001	11%	58 430	4 819	17.12.2007. 20:00 h	58 430	4 819
TS 110/10 kV Ristovac	21 838 608	16 264 986	5 573 622	26%	4 752	4 596	26.12.2007. 17:15 h	3 696	5 909
TS 110/10 kV Preševo	92 217 400	48 060 634	44 156 766	48%	22 000	4 192	19.12.2007. 21.00 h	22 000	4 192
Ukupno:	504 632 303	380 350 755	124 281 548	25%					

### 3.2. Prosečno vreme korišćenja energije isporučene potrošačima ( $T_{PKE}$ ) i faktor snage ( $\cos\phi$ )

Poseban proces u pripremi modela distributivne mreže jesu podaci o opterećenjima u mreži. Najlakše je odrediti lokaciju i odabrati naponski nivo na kome će biti modelovana opterećenja, a najteži deo je definisati ih.

Za potrebe analiza rada mreže 10-110 kV opterećenja se modeluju na X kV sabirnicama TS X/0.4 kV, kao opterećenja konstantne snage, shodno energijama koje su isporučene potrošačima posredstvom tih TS. Energija koja se beleži na mernim mestima pojedinačnih potrošača uz podatak o pripadnosti potrošača trafo rejonu jedne TS X/0.4 kV je i najtačniji način da se izvrši prostorna raspodela opterećenja. Stoga se definiše koeficijent srazmere energije isporučene potrošačima i izmerene na njihovim mestima preuzimanja ( $W_{pot}$ ) i modelovanog aktivnog opterećenja na odabranom mestu modelovanja kao prosečno vreme korišćenja energije isporučene potrošačima ( $T_{PKE}$ ).

$$T_{PKE} = \frac{W_{pot}}{P_{mod}} \quad (1)$$

Prosečno vreme korišćenja energije isporučene potrošačima ( $T_{PKE}$ ) kao i vrednosti faktora snage ( $\cos\varphi$ ) usvajaju se u okviru iterativnog postupka, tako da se suma proračunatih aktivnih i proračunatih reaktivnih opterećenja po mestima preuzimanja energije poklopi sa sumom aktivnih i reaktivnih snaga koje su detaljnom analizom merenja SRAAMD i SCADA sistema usvojene za vršno opterećenje TS 110/X kV. Modelovana opterećenja su definisana zabeleženom energijom proteklom kroz pojedine TS X/0.4 kV i dvema promenljivima koje se usvajaju u iterativnom postupku sa ciljem da se proračunom dobijene vrednosti opterećenja prilagode merenjima. Formiraju se dve klase kupaca u zavisnosti od veličina koja se mere u skladu sa [2], odnosno raspoloživih podataka:

1. Široka potrošnja i javno osvetljenje (preuzeta aktivna energija se utvrđuje merenjem)

Svi potrošači iz ove kategorije se posmatraju zbirno na nivou jedne TS X/0.4 kV tako što se na osnovu podataka o pripadnosti kupca trafo rejonu odredi ukupna energija preuzeta posredstvom određene TS X/0.4 kV na nivou proračunske godine ( $W_{akt TS X/0.4 kV}$ ) kao suma aktivnih energija pojedinačnih kupaca ( $W_{akt pot. i}$ ). Aktivno opterećenje ( $P_{TS X/0.4 kV}$ ) se određuje kao količnik ukupne preuzete energije i iterativne varijable 1 - prosečnog vremena korišćenja energije isporučene potrošačima ( $T_{PKE}$ ), a reaktivno opterećenje ( $Q_{TS X/0.4 kV}$ ) na osnovu proračunatog aktivnog opterećenja i iterativne varijable 2 - faktora snage ( $\cos\varphi$ ).

$$W_{akt TS X/0.4 kV} = \sum_{pot. i} W_{akt pot. i} \quad (pot. i \in TS X/0.4 kV) \quad (2)$$

$$P_{TS X/0.4 kV} = \frac{W_{akt TS X/0.4 kV}}{T_{PKE}} \quad (3)$$

$$Q_{TS X/0.4 kV} = P_{TS X/0.4 kV} \cdot \tan(\arccos(\cos\varphi)) \quad (4)$$

2. Potrošnja na srednjem i niskom naponu (kupci kojima se preuzeta aktivna snaga, aktivna i reaktivna energija utvrđuju merenjem)

Za potrošače iz ove kategorije se na osnovu raspoloživih merenja proračunava njihov faktor snage (koji je u iterativnom procesu konstantan) i ekvivalentno vreme trajanja vršne snage potrošača ( $T_{EKVpot}$ ). Ukoliko je  $T_{EKVpot} > T_{PKE}$ , smatra se da je kupac postigao maksimalno opterećenje u trenutku maksimalnog opterećenja TS 110/X kV i u vršno opterećenje TS 110/X kV "ulazi" sa svojom vršnom snagom. U suprotno smatra se da vršno opterećenje kupca nije jednovremeno sa maksimalnim opterećenjem na nivou TS 110/X kV, pa se aktivno opterećenje računa kao količnik utrošene aktivne enegije na nivou proračunske godine i  $T_{PKE}$ . Reaktivno

opterećenje se računa pomoću već definisanog aktivnog opterećenja i faktora snage potrošača.

Sumirajući opterećenja definisana na prethodno opisani način dobijaju se proračunska vršna aktivna i reaktivna opterećenja na pragu transformacije X/0.4 kV. Ona se dodeljuju pojedinačnim TS X/0.4 kV koje predstavljaju čvorove u formiranom matematičkom modelu mreže i vrši se proračun tokova snaga. Kako se raspolaže merenjima aktivne i reaktivne snage zabeleženim u sistemu SRAAMD, na naponu 110 kV i 35 kV, zavisno od mesta preuzimanja energije iz sistema "Elektromreže Srbije", modelovano opterećenje se kroz iteracije, promenom veličina  $T_{PKE}$  i  $\cos\varphi$ , prilagođava tim merenjima.

Na osnovu prethodnog izlaganja može se zaključiti da je od velikog značaja da energija koju potrošači preuzmu iz sistema bude zabeležena i izmerena, odnosno da nivo neovlašćeno preuzete električne energije bude što niži kako bi opisani model u opštem bio održiv. Kada to nije slučaj, potrebno je produbiti analize razmatranog konzuma u cilju prevazilaženja problema.

Prilikom modelovanja opterećenja u mreži ED Vranje javilo se nekoliko problema. Prvo, za konzum TS 110/10 kV Preševo i 10 kV konzum TS 110/35/10 kV Bujanovac razlike u nabavljenoj i fakturisanom energiji su značajne. Visok udeo netehničkih gubitaka onemogućio je da se za ogranak Vranje u celini definišu i usvoje vrednosti  $T_{PKE}$  i  $\cos\varphi$  za modelovanje opterećenja. Nije bilo moguće sa jednom vrednošću ovih veličina dostići nivo modelovanog opterećenja koji će minimalno odstupati od izmerenih vršnih aktivnih i reaktivnih snaga. Ovo je uslovalo podelu konzuma na područja sličnih karakteristika potrošnje.

Prvo je izgledalo da konzumi TS 110/10 kV Preševo i TS 110/35/10 kV Bujanovac predstavljaju slična konzumna područja. Inače, TS 110/10 kV Preševo je ostrvska trafostanica, bez 10 kV veza sa drugim TS X/10 kV, pa je njeno izolovano razmatranje jednostavno. U slučaju TS 110/35/10 kV Bujanovac situacija se pokazala kao znatno složenija. Prevazilaženje prepreka omogućila je detaljna analiza merenja SCADA sistema ED Vranje.

Utvrđeno je da tronamotajni transformator u TS 110/35/10 kV Bujanovac praktično jednako deli protok energije (Tabela 4) po transformaciji 110/35 kV i 110/10 kV, dok su razlike u fakturisanom energiji značajne. Takođe, na osnovu SCADA merenja utvrđeno je kako se aktivno opterećenje raspoređuje po 110/35 kV i 110/10 kV transformaciji. Treba napomenuti da su merenja protoka kroz transformator bila u velikoj meri potpuna i na taj način lako uporediva sa merenjima koja su na 110 kV nivou zabeležena u SRAAMD sistemu.

Nastavljeno je sa analizom kako bi se stekao uvid u raspodelu visokog iznosa gubitaka po 10 kV izvodima koji se napajaju preko tercijera transformatora u TS 110/35/10 kV Bujanovac. Za svaki od 10 kV izvoda iz TS 110/35/10 kV Bujanovac postoji određeni broj dana za koje je merenje jednako nuli. Tretirani su kao dani kada nije bilo merenja, bez obzira na uzrok, i za njih je izvršena procena ukupne protekle energije. Za sate za koje je

postojalo merenje izračunata je prosečna satna protekla energija na nivou svakog meseca, i dodata zabeleženom protoku za taj mesec, za sate za koje ne postoji zabeleženo merenje. Na ovaj način je dobijena struktura protoka električne energije u TS 110/35/10 kV Bujanovac (Tabela 5).

**Tabela 4.** Raspodela aktivnog opterećenja po nivoima transformacije u TS 110/35/10 kV Bujanovac

TS 110/35/10 kV Bujanovac	Aktivna energija (kWh) 2008. godina			Gubici (%)	P <sub>MAX ver</sub> (kW)	P <sub>MAX ver</sub>	
	Nabavka	Prodaja	Gubici			udeo	(kW)
transformacija 110/10 kV:	55 313 610	23 361 007	31 952 603	58%	22 264	51%	11 355
transformacija 110/35 kV:	53 658 462	43 028 906	10 629 556	20%		49%	10 909

**Tabela 5.** Struktura nabavke i prodaje energije u TS 110/35/10 kV Bujanovac u 2008. godini

TS 110/35/10 kV Bujanovac		Aktivna energija (kWh) 2008. godina			Gubici (%)
		Nabavka	Prodaja	Gubici	
Izvod 10 kV	Biljača	20 516 818	9 408 712	11 108 106	54
	Trnovac 1	27 556 763	9 694 783	17 861 980	65
	Trnovac 2	7 240 029	4 257 512	2 982 517	41
Kosovska		7 240 029	4 257 512	2 982 517	41
transformacija 110/10 kV:		55 313 610	23 361 007	31 952 603	58
transformacija 110/35 kV:		53 658 462	43 028 906	10 629 556	20
<b>110/35/10 kV ukupno:</b>		<b>108 972 072</b>	<b>66 389 913</b>	<b>42 582 159</b>	<b>39</b>
učešće transformacije 110/10 kV ukupno:		51%	35%	75%	
učešće transformacije 110/10 kV bez izvoda Kosovska:		44%	29%	68%	
učešće transformacije 110/35 kV:		49%	65%	25%	

Uvidom u topologiju mreže zaključeno je da radijalni izvod Biljača jeste jedina mogućnost napajanja pripadajućih TS 10/0.4 kV putem 10 kV mreže i sa zanemarljivim mogućnostima dvostranog napajanja konzuma na 0.4 kV iz pravca TS 10/0.4 kV čije osnovno napajanje nije realizovano preko istog izvoda. Pored toga, izvod Biljača čija je ukupna dužina 56.85 km (sa svim ograncima), sa 43 TS 10/0.4 kV, ima magistralni dalekovod promenljivog preseka i slabe prenosne moći, koji uzrokuje veliki pad napona, što je dodatno zakomplikovalo modelovanje opterećenja imajući u vidu da se koristi model konstantne snage. Problem velikog pada napona na visoko opterećenim magistralnim deonicama dugih izvoda usled modelovanja opterećenja modelom konstantne snage javio se i kod izvoda Žuince iz TS 110/10 kV Preševo, te je usvojeno da se opterećenja na ova dva izvoda modeluju kako isto konzumno područje za koje će biti posebno definisani  $T_{PKE}$  i  $\cos\varphi$ . Naročito bitna činjenica je da se raspolagalo i sa merenjima napona na sva tri prisutna naponska nivoa u TS 110/35/10 kV Bujanovac, imajući u vidu da nizak nivo izmerene energije na mernim mestima kod pojedinačnih potrošača utiče i na tačnost prostorne raspodele opterećenja po TS X/0.4 kV. Izmerene vrednosti faznog napona na 0.4 kV sabirnicama u najudaljenijoj TS 10/0.4 kV na izvodu Biljača, TS Bratoselce, iznosile su u proseku 182 V po fazi. Za



prisutna podešenja regulatora to iznosi oko 7.5 kV na 10 kV strani, u trenutku kada je na sabirnicama 10 kV u TS 110/35/10 kV Bujanovac izmereno 10.2 kV. Ovim je i verifikovano usvajanje vrednosti  $T_{PKE}=2400$  h i  $\cos\phi=0.9995$  za konzume radijalnih izvoda Biljača iz TS 110/35/10 kV Bujanovac i Žuinca iz TS 110/10 kV Preševo. Veoma loše naponske prilike na kraju ovih izvoda i prisutno prigušenje potrošnje dozvoljavaju skoro u potpunosti samo termogenu potrošnju.

Za preostali konzum TS 110/10 kV Preševo nivo izmerenih vrednosti vršnog aktivnog i reaktivnog opterećenja pri modelovanju opterećenja na osnovu fakturisane električne energije preuzete od strane kupaca u okviru iterativnog postupka postignut je za usvojene vrednosti  $T_{PKE}=2000$  h i  $\cos\phi=0.984$ .

Izvodi Trnovac 1 i Trnovac 2 iz TS 110/35/10 kV Bujanovac se naslanjaju jedan na drugi i na osnovu merenja SCADA sistema se zaključuje da su promene uklopnog stanja između ova dva izvoda česte, kao i da se ovi izvodi po potrebi međusobno rezerviraju u potpunosti. Stoga ih je moguće razmatrati kao konzumno područje istih karakteristika sa usvojenim vrednostima  $T_{PKE}=1550$  h i  $\cos\phi=0.9995$ .

Preostali 10 kV izvod Kosovska iz TS 110/35/10 kV Bujanovac je jedini koji ide u pravcu grada Bujanovac. Zbog 10 kV veza sa izvodom Grad iz TS 35/10 kV Svetlost i izvodom Centar iz TS 35/10 kV Bujanovac i veoma čestih izmena uklopnog stanja, protok energije po ovom izvodu nije moguće odvojeno razmatrati od pomenutih izvoda. Učestalo prihvatanje napajanja konzuma izvoda Centar iz TS 35/10 kV Bujanovac (radi njenog rasterećenja) na izvod Kosovska je i uzrok nerealno visokom procentu gubitaka energije - 41%. U pogledu načina određivanja raspodele opterećenja po TS 10/0.4 kV konzum izvoda Kosovska moguće je razmatrati zajedno sa konzumom TS 35/10 kV Bujanovac i TS 35/10 kV Svetlost. Pregledom merenja SCADA sistema za ostale TS 35/10 kV ogranka Vranje utvrđena je podudarnost sa karakteristikama ovog konzumnog područja i usvojene su vrednosti  $T_{PKE}=2500$  h i  $\cos\phi=0.954$ .

Usvojena vremena korišćenja energije isporučene potrošačima i faktore snage, pregledno po delovima konzuma ED Vranje, sadrži Tabela 6 (globalno su definisana dva potrošačka područja u tabeli).

Usvajanjem veoma niskih vrednosti  $T_{PKE}$  za potrošače koji pripadaju potrošačkom području 1 (Tabela 6) bilo je neophodno redefinisati uslove po kojima se modeluju kupci na srednjem i niskom naponu jer je na ovaj način praktično ukinut filter koji definiše nivo učešća pojedinačnog kupca sa merenjem snage u vršnoj snazi napojne TS 110/X kV. Tako je usvojeno da: ako je  $T_{EKVpot} > T_{PKE}$ , računa se sa njihovim vršnim opterećenjem,  $P_{MAXpot}$ ; ukoliko je  $3000 > T_{EKVpot} > 2000$  h, računa se sa 80% njihovog vršnog opterećenja (u trenutku maksimalnog opterećenja TS 110/X kV, aktivno opterećenje kupca je  $0.8 \cdot P_{MAXpot}$ ); u suprotnom računa se sa aktivnim opterećenjem dobijenim kao količnik utrošene aktivne energije na nivou

proračunske godine i odgovarajućim  $T_{PKE}$  (Tabela 6). Ovo proračunsko opterećenje odgovara maksimalnoj snazi koja se javlja po TS 110/X kV. Za potrošače sa  $3000 > T_{EKVpot} > 2000$  h snaga sa kojom "ulaze" u maksimum napojne TS 110/X kV je 80% njihove maksimalne snage zbog procene da je mala verovatnoća koincidencije njihove maksimalne snage i vršnog opterećenja napojne TS, a velika verovatnoća koincidencije 80% njihove maksimalne snage i maksimalnog opterećenja napojne TS. Reaktivno opterećenje izračunato je na osnovu aktivnog opterećenja i faktora snage samog potrošača.

**Tabela 6.** Usvojene vrednosti  $T_{PKE}$  i faktora snage

Potrošačko područje	Konzum		$T_{PKE}$ (h)	$\cos\varphi$
1.	TS 110/10 kV Preševo - bez izvoda Žuince		2000	0.984
	TS 110/35/10 kV Bujanovac	10 kV izvodi Trnovac 1 i Trnovac 2	1550	
	TS 110/35/10 kV Bujanovac	10 kV izvod Biljača	2400	
	TS 110/10 kV Preševo	10 kV izvod Žuince		
2.	TS 110/35 kV Vranje		2500	0.954
	TS 110/35/10 kV Bujanovac	110/35 kV transformacija 10 kV izvod Kosovska		
	HE Vrla 4 Vladičin Han			
	TS 110/10 kV Ristovac			

Na ovaj način je sa usvojenim vrednostima  $T_{PKE}$  i  $\cos\varphi$  proračunata i modelovana opterećenja za ED Vranje, po TS 10/0.4 kV, prema proteklim energijama za obračunsku 2008. godinu (Tabela 7) koja se od zabeleženih vršnih opterećenja u ukupnom razlikuju 0.22% za aktivnu i 0.46% za reaktivnu snagu.

**Tabela 7.** Vrednosti vršnih i modelovanih opterećenja po mernim mestima ED Vranje

Merno mesto	Naponski nivo	Modelovano opterećenje		Zabeleženo vršno opterećenje		Razlika	
		P (MW)	Q (Mvar)	P (MW)	Q (Mvar)	$\Delta P$ (MW)	$\Delta Q$ (MVar)
TS 110/35 kV Vranje 1	35 kV	58.600	18.560	58.430	18.430	-0.170	-0.130
TS 110/10 kV Ristovac	110 kV	3.249	1.165	3.696	1.364	0.447	0.199
TS 110/35/10 kV Bujanovac	110 kV	22.790	7.257	22.264	7.304	-0.526	0.047
TS 110/10 kV Preševo	110 kV	21.980	7.000	22.000	7.040	0.020	0.040
Ukupno:		106.619	33.982	106.390	34.138	-0.229	0.156

#### 4. Zaključak

Formiranje modela distributivne mreže je složen proces koji zahteva opsežan rad i vreme na definisanju potrebnih podataka, njihovom prikupljanju, obradi i uobličavanju, kako bi se dobio model koji će verno reprezentovati razmatrani konzum.

Vršne snage i protoci energije na mestima na kojima elektrodistributivna preduzeća vrše nabavku električne energije iz prenosnog sistema beleže se u SRAAMD sistemu. U radu je pokazano na primeru ED Vranje da ova merenja treba kritički sagledati kada se donose zaključci o veoma bitnoj veličini stanja

distributivne mreže: vremenu trajanja vršnog opterećenja, jer je na osnovu "sirovih" merenja moguće napraviti greške od preko 15%.

Poseban problem prilikom definisanja opterećenja u modelu distributivne mreže, u slučaju konzumnih područja sa visokim nivoom neovlašćeno preuzete električne energije, predstavlja nepostojanje podataka za njihovu raspodelu po čvorištima mreže: energije isporučene krajnjim kupcima. Tada merenja SCADA sistema, koja u osnovi treba da posluže za verifikaciju tačnosti modelovanog opterećenja u mreži, postaju jedini izvor podataka o načinu funkcionisanja konzuma. Na osnovu njih je moguće jasno identifikovati potrošačka područja koja je potrebno zasebno razmatrati. U suprotnom, tretirajući celokupan konzum jednobrazno i usvajajući jedinstvene veličine stanja došlo bi se do pogrešne prostorne raspodele opterećenja u mreži. Detaljnom analizom merenja, na način na koji je to u radu opisano za slučaj ED Vranje, moguće je definisati veličine stanja za modelovanje opterećenja za konzumna područja sa visokim netehničkim gubicima dok stvarni podaci o preuzetoj električnoj energiji svih kupaca ne postanu dostupni.

Što se više rada uloži u deo analize merenja, tačniji će biti rezultati svih proračuna. Verodostojnost zaključaka analiza različitih stanja u mreži, sa ciljem optimizacije upravljanja i planiranja budućeg razvoja, je proporcionalna tačnosti formiranog modela distributivne mreže.

## Literatura

- [1] Studija perspektivnog dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10 kV na području ogranka Vranje, Elektrotehnički institut Nikola Tesla (2010)
- [2] Tarifni sistem, Službeni glasnik RS, broj 1 od 5. januara 2007. godine

**Abstract.** This work is the result of "Study of long-term perspective 10 kV network development for distributive area of Vranje". It is a consumption area in whose parts non-technical losses exceed 50% of energy purchased from transmission power system. The necessary data for the analysis of distribution network are specified. The way to interpret these data is given in detail, in order to obtain the results that are usable in case of distribution areas with high levels of unauthorized consumption of electricity. The changes to the methodology in determining the state variables of distribution network in such case are presented.

**Keywords:** distributive network, load modelling, non-technical losses

## **Analysis of the Distribution Network with High Non-Technical Losses of Electricity**

Rad primljen u uredništvo 11.11.2010. godine  
Rad prihvaćen 16.11.2010. godine