

EFEKTI ANALIZE OPTIMALNOG UKLOPNOG STANJA I REGULACIJE NAPONA U DISTIBUTIVNIM MREŽAMA SREDNJEG NAPONA

M. Marković, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija
M. Ivanović, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija
G. Radović, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija
A. Šaranović, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija
D. Kecman, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija
V. Sovrlić, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija
I. Stanislavljević, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija

UVOD

U uslovima lošeg tehničkog stanja elektroenergetskog sistema, visokog nivoa angažovanosti proizvodnih i prenosnih kapaciteta, način eksploatacije bitno određuje nivo gubitaka električne snage i energije u mrežama elektroenergetskog sistema. Sa nemogućnošću da se utiče na zahteve konzuma za električnom energijom pažnja se mora posvetiti upravljanju distributivnim mrežama srednjeg napona, dakle rekonfiguraciji mreže i regulaciji napona.

Rekonfiguracija mreže kao osnovni cilj ima izbor takvog uklopnog stanja u mreži srednjeg napona u kome se imaju najmanji gubici, a time i najmanji troškovi funkcionisanja sistema, uz ispunjenje zadatih ograničenja i bez preopterećenih elemenata u mreži. Posredan efekat izbora takvog optimalnog uklopnog stanja u mreži je i delimično poboljšanje naponskih prilika. Primarno, naponske prilike u distributivnim mrežama određene su podešenjem regulacije napona na transformatorima 110/X kV i položajem regulatora na transformatorima 35/X kV. Izbor uklopnog stanja mreže srednjeg napona i regulacija napona u trafostanicama 35/X kV je u domenu distributivnih preduzeća. Međutim, napon na mestima preuzimanja energije distributivnih preduzeća iz sistema JP "Elektromreže Srbije", bilo na 110 kV ili 35 kV nivou, je van njihovog uticaja, a time je posredno određen i položaj regulatora na transformatorima 110/X kV i 35/X kV kojima upravljaju distributivna preduzeća. Rekonfiguracija mreže i regulacija napona u cilju optimalne eksploatacije mreže ne zahtevaju dodatna ulaganja i mogu se realizovati u relativno kratkom roku, te ne postoje opravdani razlozi za njihovo nesprovođenje.

U ovom radu biće prikazani rezultati analiza rada niza distributivnih mreža na području PD "Jugoistok" Niš i PD "Elektrosrbija" Kraljevo sprovedenih kroz osam Studija razvoja distributivnih mreža (1) - (8) koji se tiču izbora optimalnog uklopnog stanja mreže srednjeg napona i optimalne regulacije napona. Biće predstavljeni efekti izmena u uklopnom stanju, zatim mogućnosti promene prenosnog odnosa transformatora 35/X kV, dakle mogućnosti distributivnih preduzeća da ekonomski i tehnički optimiziraju eksploataciju pripadajuće mreže srednjeg napona. Potom, dati su i efekti promene prenosnog odnosa transformatora 110/X kV, koji su u većini vlasništvo JP "Elektromreže Srbije". Kroz konkretne primere biće prikazane promene uklopnog stanja koje rezultiraju značajnim smanjenjem gubitaka.

PODLOGE ZA FORMIRANJE MODELA, USVOJENA OGRANIČENJA ZA ANALIZU I METODOLOGIJA OPTIMIZACIJE UKLOPNOG STANJA I PRENSNOG ODNOSA TRANSFORMATORA

Izradi svake Studije (1) - (8) prethodio je proces opsežnog prikupljanja i pripreme podataka koji mogu da posluže kao osnova za brojne analize.

Naime, za gradska područja raspolagalo se georeferenciranom digitalizovanom geografskom podlogom pogodne razmere, što je iskorišćeno za precizan unos i proveru podataka o mreži (dužina i trasa nadzemnih i kablovskih vodova). U slučaju Studija (1) - (4), snimanje srednjenaponske nadzemne mreže za koju nisu postojali potrebni podaci izvršeno je GPS uređajima. Iako su ove pripreme radnje uzele značajno vreme, one su od velikog značaja jer su konačno sređeni podaci o srednjenaponskoj mreži.

Takođe, za Studije (1) - (4) potrošači su, na gradskim i prigradskim područjima, direktno locirani na raspoloživoj podlozi, što je omogućilo da se precizno odrede napojne TS 10/0.4 kV za svakog potrošača. Lociranje napojnih TS 10/0.4 kV realizovano obilaskom trafo-reona radi identifikacije potrošača. Ovakvo formiranje podloge sada se mogu koristiti za potrebe održavanja (moguće je jednostavno locirati i obavestiti potrošače koji će ostati bez napajanja tokom radova na mreži), upravljanja (npr. u slučaju kvara po pozivu potrošača jednostavno se identifikuje napojna ili napojne TS 10/0.4 kV koje su ostale bez napajanja, na osnovu čega se jednostavno određuju vodovi koje je potrebno isključiti ili uključiti). Takođe, poslednjih godina došlo do značajnih promena u strukturi potrošnje električne energije, smanjenja industrijske potrošnje i povećanja potrošnje u kategoriji široke potrošnje, a velike industrijske potrošače koji su energiju kupovali na srednjem naponu zamenile su manje grupe industrijskih potrošača na 0.4 kV nivou. Na ovaj način se povećao deo energije koji se isporučuje na niskom naponu, gde su gubici veći. Stoga, uvid u geografski raspored potrošača omogućuje da se formira predlog optimalne rekonfiguracije mreže 0.4 kV sa stanovišta smanjenja gubitaka i da se shodno potrošnji potrošača odredi potrebni kapacitet svake napojne TS 10/0.4 kV, a moguće je i uočiti objekte kojima nisu pridruženi potrošači i izvršiti kontrolu zbog čega je to tako.

Dakle, 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 na transformatorima 110/X kV,

za potrebe Studija razvoja distributivnih mreža (1) - (8) formirani su georeferencirani matematički modeli koji verno reprezentuju razmatrani konzum.

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

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

Na osnovu podatka o pripadnosti svakog kupca reonu napajanja TS X/0.4 kV, za uobičajeno uklopno stanje u mreži napona 0.4 kV i mreži srednjeg napona, raspolagalo se i informacijama o evidentiranoj aktivnoj energiji koja je isporučena kupcima putem svake od TS 110/X kV. Na osnovu energije fakturisane kupcima, na mestima merenja pojedinačnih kupaca, koja protekne kroz svaku od TS 110/X kV i suma aktivnih i reaktivnih snaga izmerenih u trenutku njihovog vršnog opterećenja, u okviru iterativnog postupka procenjuje se vreme korišćenja energije isporučene potrošačima, kao i faktor snage. Za usvojene vrednosti ovih veličina, na osnovu fakturisane energije po TS X/0.4 kV, modelovana su proračunska vršna opterećenja na pragu transformacije X/0.4 kV iz odabrane godine tako da se na mestima preuzimanja energije iz sistema JP "Elektromreže Srbije" modelovana opterećenja poklope sa ostvarenim vršnim opterećenjima u toj godini. U TABELI 1 navedeni su podaci za razmatrane ogranke i pogone PD "Elektrosrbija" Kraljevo i PD "Jugoistok" Niš sa kojima se ušlo u proračune: ekvivalentno vreme trajanja vršne snage, ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka kao i ukupni iznosi modelovane snage po naponskim nivoima.

Da bi se ekonomski valorizovali efekti optimalnog upravljanja distributivnim mrežama u analizama je računato sa cenom gubitaka energije od 8 €-cents/kWh.

Analize su vršene pod određenim tehničkim ograničenjima: termičkim i naponskim. Termičke granice pojedinih elemenata mreže (vodova i transformatora) su definisane tako da ne dođe do njihovog prekomernog zagrevanja, što uzrokuje ubrzano starenje elemenata mreže ili kvar. Naponska ograničenja se tiču maksimalno dozvoljenih napona u mrežama 10, 20 i 35 kV u razmatranim režimima. Obe grupe ograničenja su u skladu sa propisanim u okviru (10) i (11). Za mreže 10 i 20 kV gornja granica napona je 10.7 i 21.4 kV respektivno ($107\% U_{nom}$), jer su analize pokazale da se ova maksimalna vrednost napona može uspešno kompenzovati promenom prenosnog odnosa transformatora X/0.4 kV. Što se tiče napona u mreži 35 kV u razmatranim radnim režimima maksimalni dozvoljeni napon je bio jednak trajno podnosivom maksimalnom naponu opreme - 38 kV ($108.5\% U_n$). Ova vrednost napona ne ugrožava direktno potrošače osim u nekoliko TS 35/0.4 kV na analiziranim distributivnim područjima gde su neposredne provere pokazale da se visoki naponi takođe mogu uspešno kompenzovati promenom prenosnog odnosa transformatora 35/0.4 kV.

TABELA 1 - EKVIVALENTNO VREME TRAJANJA VRŠNE SNAGE, EKVIVALENTNO VREME TRAJANJA MAKSIMALNIH GUBITAKA I MODELOVANO OPTEREĆENJE PO RAZMATRANIM ED

Privredno društvo	"Elektrosrbija" Kraljevo								"Jugoistok" Niš		
	Ogranak	Lazarevac	Šabac	Valjevo	Loznica	Kraljevo				Niš	Pilot
Pogon						Kraljevo	Vrnjačka Banja	Novi Pazar	Raška		
Godina	2006	2006	2008	2008	2006	2006	2008	2008	2006	2008	2008
T_{ekv} (h)	5 450	4 350	4 950	4 700	4 350		3 800	4 600	4 500	5 150	4 750
τ (h)	3 740	2 530	3 160	2 890	2 530		2 010	2 790	2 680	3 390	2 950
Modelovano opterećenje po naponskim nivoima (MW)											
110 kV	-	23.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35 kV	2.5	-	-	12.2	-	-	-	-	41.4	10.2	6.3
20 kV	-	72.9	-	-	-	16.2	-	-	-	-	-
10 kV	48.8	47.6	94.6	83.5	91.9	9.3	77.6	36.1	256.2	54.5	113.7
6 kV	6.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ukupno	57.9	144.0	94.6	95.7	91.9	25.4	77.6	36.1	297.6	64.7	120.0

Predlozi za promenu uklopnog stanja su rezultat analize gubitaka, opterećenja transformatora, opterećenja izvoda i naponskih prilika. Do optimalnog uklopnog stanja u analiziranim distributivnim mrežama došlo se korišćenjem algoritma za pronalaženje optimalnog uklopnog stanja datom u radu (9) i kritičkom analizom njegovih rezultata. Pored prethodno navedenih tehničkih ograničenja (termičkih i naponskih) koje algoritam uzima u obzir, potrebno je naknadno analizirati predložena rešenja kako bi se uvažili zahtevi distributivnih preduzeća po pitanju napajanja mešovite potrošnje (široka i industrijska potrošnja) kao i ostala ograničenja koja nisu obuhvaćena programom (npr. stanje delova mreže sa stanovišta pouzdanost napajanja na osnovu informacija iz dispečerskog centra i službi održavanja u distributivnim preduzećima). Takođe, broj promena uklopnog stanja koje je algoritam predložio a koje ne proizvode bitnije smanjenje gubitaka je relativno mali i nije uzet u obzir imajući u vidu da svako korišćenje prekidačke opreme skraćuje njen životni vek.

Po optimizaciji uklopnog stanja, analizirani su efekti promene prenosnog odnosa transformatora na gubitke u mreži, u skladu sa usvojenim naponskim ograničenjima u mreži 10 i 35 kV. Postupak promene prenosnog odnosa je automatizovan, sa mogućnošću promene prenosnog odnosa transformatora 35/X kV, kao i promene odnosa svih transformatora u mreži. Upravo u ova dva koraka je i vršena analiza efekata regulacije napona: promenom prenosnog odnosa transformatora 35/X kV (pri tome se zadržava aktualna regulacija napona transformatora 110/X kV) i promenom prenosnog odnosa svih transformatora (110/X kV, a time i 35/X kV).

EFEKTI OPTIMIZACIJE UKLOPNOG STANJA I REGULACIJE NAPONA SA ISTAKNUTIM PRIMERIMA

Na osnovu prethodno navedenih polaznih pretpostavki i metoda optimalnog upravljanja distributivnim mrežama realizovani su proračuni za četiri stepena upravljanja u pet distributivnih preduzeća na području JP "Elektrosrbija" Kraljevo (nešto više od 40% konzuma) i tri na području JP "Jugoistok" Niš (oko 40% konzuma). Ukupno, razmatrani konzum obuhvata oko 15% konzuma Srbije.

Rezultati su prikazani u TABELI 2, gubici snage po naponskim nivoima za razmatrane ED, za četiri stanja u mreži. Sumarni efekti primena mera optimalnog upravljanja dati su u TABELI 3.

TABELA 2 - GUBICI SNAGE PO NAPONSKIM NIVOIMA I RAZLIKE U GUBICIMA U RAZMATRANIM STANJIMA

Privredno društvo	"Elektrosrbija" Kraljevo						"Jugoistok" Niš			
	Ogranak	Lazarevac	Šabac	Valjevo	Loznica	Kraljevo			Niš	Piroć
Kraljevo i Vrnjačka Banja						Novi Pazar	Raška			
Pogon										
Godina	2006	2006	2008	2008	2006	2008	2008	2006	2008	2008
TABELA 2.1: Gubici po naponskim nivoima u normalnom uklopnom stanju (MW)										
110 kV	0.164	0.511	0.579	0.340	0.410	0.291	0.135	1.483	0.578	0.712
35 kV	1.440	1.995	1.598	0.854	0.515	1.773	1.099	3.996	1.018	1.563
20 kV		1.199				0.179				
10 kV	0.804	0.583	1.744	2.404	1.636	1.804	0.382	2.331	0.574	4.200
6 kV	0.264									
Ukupno	2.672	4.288	3.921	3.598	2.740	3.868	1.616	7.810	2.170	6.475
TABELA 2.2: Gubici po naponskim nivoima u optimalnom uklopnom stanju (MW)										
110 kV	0.166	0.511	0.581	0.335	0.401	0.285	0.134	1.445	0.558	0.705
35 kV	1.395	1.878	1.576	0.833	0.416	1.617	1.033	3.851	0.864	1.498
20 kV		1.192				0.130				
10 kV	0.790	0.568	1.703	1.941	1.564	1.511	0.384	2.164	0.475	3.728
6 kV	0.227									
Ukupno	2.578	4.149	3.860	3.109	2.511	3.413	1.551	7.460	1.897	5.931
TABELA 2.3: Razlika u gubicima po naponskim nivoima: normalno → optimalno uklopno stanje (MW)										
110 kV	-0.002		-0.002	0.005	0.009	0.006	0.001	0.038	0.020	0.007
35 kV	0.045	0.117	0.022	0.021	0.099	0.156	0.066	0.145	0.154	0.065
20 kV		0.007				0.049				
10 kV	0.014	0.015	0.041	0.463	0.072	0.293	-0.002	0.167	0.099	0.472
6 kV	0.037									
Ukupno	0.094	0.139	0.061	0.489	0.229	0.455	0.065	0.350	0.273	0.544
TABELA 2.4: Gubici po naponskim nivoima u optimalnom uklopnom stanju pri optimalnom prenosnom odnosu transformatora 35/X kV (MW)										
110 kV	0.167	0.468	0.576	0.335	0.384	0.279	0.133	1.440	0.557	0.702
35 kV	1.382	1.864	1.558	0.831	0.416	1.576	1.016	3.786	0.852	1.464
20 kV		1.066				0.122				
10 kV	0.732	0.568	1.599	1.930	1.511	1.416	0.369	2.087	0.454	3.675
6 kV	0.225									
Ukupno	2.506	3.966	3.733	3.096	2.433	3.271	1.518	7.313	1.863	5.841
TABELA 2.5: Razlika u gubicima po naponskim nivoima: optimalno uklopno stanje → optimalno uklopno stanje i optimalni prenosni odnos transformatora 35/X kV (MW)										
110 kV	-0.001	0.043	0.005		0.017	0.006	0.001	0.005	0.001	0.003
35 kV	0.013	0.014	0.018	0.002	0.000	0.041	0.017	0.065	0.012	0.034
20 kV		0.126				0.008				
10 kV	0.058		0.104	0.011	0.053	0.095	0.015	0.077	0.021	0.053
6 kV	0.002									
Ukupno	0.072	0.183	0.127	0.013	0.078	0.142	0.033	0.147	0.034	0.090
TABELA 2.6: Gubici po naponskim nivoima u optimalnom uklopnom stanju i optimalnoj regulaciji napona (MW)										
110 kV	0.152	0.452	0.576	0.335	0.375	0.262	0.125	1.440	0.536	0.675
35 kV	1.269	1.710	1.558	0.831	0.397	1.435	0.967	3.786	0.779	1.434
20 kV		1.054				0.122				
10 kV	0.701	0.525	1.599	1.930	1.496	1.379	0.369	2.087	0.450	3.573
6 kV	0.219									
Ukupno	2.341	3.741	3.733	3.096	2.390	3.076	1.461	7.313	1.765	5.682
TABELA 2.7: Razlika u gubicima po naponskim nivoima: optimalno uklopno stanje i optimalni prenosni odnos transformatora 35/X kV → optimalno uklopno stanje i optimalna regulacija napona (MW)										
110 kV	0.015	0.016			0.009	0.017	0.008		0.021	0.027
35 kV	0.113	0.154			0.019	0.141	0.049		0.073	0.030
20 kV		0.012								
10 kV	0.031	0.043			0.015	0.037			0.004	0.102
6 kV	0.006									
Ukupno	0.165	0.225	0.000	0.000	0.043	0.195	0.057	0.000	0.098	0.159

TABELA 3 - UKUPNI EFEKTI PRIMENOM MERA OPTIMALNOG UPRAVLJANJA - SMANJENJE GUBITAKA: SNAGE, ENERGIJE, GODIŠNJIH TROŠKOVA GUBITAKA PRENOSA I PROIZVODNJE

Privredno društvo	"Elektrosrbija" Kraljevo						"Jugoistok" Niš			
	Ogranak	Lazarevac	Šabac	Valjevo	Loznica	Kraljevo			Niš	Piro
Kraljevo i Vrnjačka Banja						Novi Pazar	Raška			
Pogon										
Godina	2006	2006	2008	2008	2006	2008	2008	2006	2008	2008
TABELA 3.1:	Ukupno smanjenje gubitaka snage primenom mera optimalnog upravljanja (MW)									
110 kV	0.012	0.059	0.003	0.005	0.035	0.029	0.010	0.043	0.042	0.037
35 kV	0.171	0.285	0.040	0.023	0.118	0.338	0.132	0.210	0.239	0.129
20 kV		0.145			0.057					
10 kV	0.103	0.058	0.145	0.474	0.140	0.425	0.013	0.244	0.124	0.627
6 kV	0.045									
Ukupno	0.331	0.547	0.188	0.502	0.350	0.792	0.155	0.497	0.405	0.793
TABELA 3.2:	Ukupno smanjenje gubitaka energije primenom mera optimalnog upravljanja (MWh)									
110 kV	44.9	149.3	9.5	14.5	88.6	58.3	27.9	115.2	142.4	109.2
35 kV	639.5	721.1	126.4	66.5	298.5	679.4	368.3	562.8	810.2	380.6
20 kV		366.9			144.2					
10 kV	385.2	146.7	458.2	1 369.9	354.2	854.3	36.3	653.9	420.4	1 849.7
6 kV	168.3									
Ukupno	1 237.9	1 383.9	594.1	1 450.8	885.5	1 591.9	432.5	1 332.0	1 373.0	2 339.4
TABELA 3.3:	Ukupno smanjenje godišnjih troškova gubitaka energije primenom mera optimalnog upravljanja (€)									
110 kV	3 590	11 942	758	1 156	7 084	4 663	2 232	9 219	11 390	8 732
35 kV	51 163	57 684	10 112	5 318	23 883	54 350	29 462	45 024	64 817	30 444
20 kV		29 348			11 537					
10 kV	30 818	11 739	36 656	109 589	28 336	68 340	2 902	52 314	33 629	147 972
6 kV	13 464									
Ukupno	99 035	110 713	47 526	116 062	70 840	127 354	34 596	106 557	109 836	187 148
TABELA 3.4:	Ukupno smanjenje godišnjih troškova proizvodnje energije primenom mera optimalnog upravljanja (€)									
110 kV	1 346	4 478	284	434	2 657	1 749	837	3 457	4 271	3 275
35 kV	19 186	21 632	3 792	1 994	8 956	20 381	11 048	16 884	24 306	11 417
20 kV		11 006			4 326					
10 kV	11 557	4 402	13 746	41 096	10 626	25 628	1 088	19 618	12 611	55 490
6 kV	5 049									
Ukupno	37 138	41 517	17 822	43 523	26 565	47 758	12 974	39 959	41 189	70 181

Iz TABELE 2, deo 2.1, ukupni troškovi gubitaka u početnom aktuelnom stanju mreže su 8 818 750 €. Ukupna novčana ušteda na godišnjem nivou koja se može postići na modelovanom konzumu primenom mera optimalnog upravljanja je 1 009 667 € (TABELA 3, deo 3.3). To je smanjenje troškova gubitaka za 11.4%. Od ukupnog smanjenja gubitaka oko 59% (596 219 €) je posledica rekonfiguracije mreže, 20% (201 675 €) je smanjenje usled izbora optimalnog prenosnog odnosa transformatora 35/X kV, a preostalih 21% (211 791 €) je posledica optimalnog prenosnog odnosa transformatora 110/X kV.

Ukoliko se razmatrani uzorak od 15% konzuma Srbije uzme kao dovoljno reprezentativan, samo primenom mera optimalnog upravljanja distributivnim mrežama očekivano smanjenje godišnjih troškova gubitaka energije u domenu distribucije na području Srbije je oko 6 700 000 €.

U TABELI 3, deo 3.4, dat je i pregled smanjenja godišnjih troškova proizvedene energije primenom mera optimalnog upravljanja, računato sa cenom od 3 €-cents/kWh, koji ukupno iznosi oko 380 000 €. Ako i u ovom slučaju uzorak od 15% konzuma Srbije preslikamo na celokupan konzum, dobija se oko 2 500 000 € uštede u godišnjim troškovima proizvodnje.

Za rešenja koja su dobijena rekonfiguracijom mreže uopšteno se može reći da usmeravaju na to da se napojne trafostanice X/10 kV koje napajaju i gradske sredine i veoma udaljena potrošačka područja rasterećuju preko obodnih trafostanica takođe X/10 kV, čiji su izvodi i transformatori manje opterećeni. Preraspodelom opterećenja po ovom principu smanjuju se gubici, poboljšavaju naponske prilike i smanjuju opterećenja transformatora koji napajaju gradska jezgra i postiže ravnomernija raspodela opterećenja po TS X/10 kV. Indikativni primeri optimizacije uklopnog stanja biće posebno navedeni u nastavku.

U okviru analize optimalnog uklopnog stanja mreže ED Novi Pazar predložena je jedna promena koja se odnosi na mrežu 35 kV. Predlaže se da se napajanje TS 35/10 kV Žirče u normalnom uklopnom stanju realizuje upravo iz pravca TS 35/10 kV Kula. Opisanom promenom uklopnog stanja značajno se smanjuju gubici na vodovima 35 kV (oko 75% smanjenja gubitaka, rasterećuje se 35 kV vod TS 110/35 kV Novi Pazar 1 - TS 35/10 kV Tutin kojim se u aktuelnom stanju distribuira snaga i do TS 35/10 kV Žirče), ali i u mreži 10 kV (oko 25% smanjenja gubitaka) jer se ovom promenom

popravljanju naponske prilike na području Tutina koje su prilično loše. Ukupno smanjenje troškova gubitaka na godišnjem nivou koje se postiže ovom promenom uklopnog stanja iznosi oko 36 800 €.

Najveći efekti pri rekonfiguraciji mreže po pravilu su postignuti pri optimizaciji mesta razdvajanja nadzemnih vodova sa dvostranim napajanjem. Visok nivo smanjenja gubitaka na području ED Piroć ima se pri potpunom preuzimanju izvoda Jugopetrol iz TS 35/10 kV Bela Palanka preko izvoda Dolac naselje iz TS 35/10 kV Dolac. Ova promena uklopnog stanja bi uticala na smanjenje ukupnih gubitaka prevashodno u 35 kV mreži, sa oko 17 600 € smanjenja troškova gubitaka energije na godišnjem nivou. Promenom uklopnog stanja, znatno bi se poboljšale naponske prilike na svim ostalim 10 kV izvodima iz TS 35/10 kV Bela Palanka. Procenjeno je da bi na 10 kV strani TS 10/0.4 kV najudaljenijim od TS 35/10 kV Bela Palanka, napon porastao za oko 0.3 kV. Naponske prilike na izvodu Jugopetrol bi takođe bile mnogo bolje. Sa druge strane, naponi na izvodu Dolac naselje iz TS 35/10 kV Dolac bi se smanjili, međutim, ovaj problem je moguće prevazići promenom prenosnog odnosa transformatora u TS 35/10 kV Dolac.

Takođe, na području ED Vranje, identifikovan je slučaj veoma isplativog prebacivanja opterećenja sa gradske TS 35/10 kV PKV na obodnu TS 35/10 kV Trgovište koja je podopterećena. Izvod Motel iz TS 35/10 kV PKV napaja 10 kV mrežu u ukupnoj dužini od oko 28 km, sa praktično ravnomerno raspedeljenim opterećenjem duž magistralnog voda (izvedenog provodnicima niske prenosne moći), što uz faktor dužine mreže značajno povećava gubitke i pogoršava naponske prilike (pad napona na izvodu 13.2%). S druge strane, iako se TS 35/10 kV Trgovište se napaja 35 kV vodom dužine 25.5 km iz pravca TS 110/35 kV Vranje, pokazuje se isplativim da nisko opterećeni izvod Barbace iz TS 35/10 kV Trgovište preuzme deo konzuma (oko 30%) izvoda Motel iz TS 35/10 kV PKV preko postojeće 10 kV veze ova dva izvoda. Pri tome se ostvaruje smanjenje godišnjih troškova gubitaka energije za oko 9 000 €. Najbitnija posledica ove promene uklopnog stanja je poboljšanje naponskih prilika i uvođenje pada napona (8.6%) u dozvoljene okvire.

Sličan nivo smanjenja gubitaka može se realizovati i na području ED Valjevo, i u ovom slučaju samo jednom promenom uklopnog stanja, a odnosi se na preraspedelu opterećenja između visoko opterećenog izvoda Divci i izvoda Otpadne Vode iz TS 35/10 kV Valjevo 4. Dominantno smanjenje gubitaka se ostvaruje na 10 kV vodovima. Smanjenje godišnjih troškova gubitaka koje se ostvaruje ovom promenom uklopnog stanja iznosi 9 300 €.

Izdvojeni primeri pokazuju da su slučajevi gde se mogu postići najveće uštede u troškovima gubitaka distributivne mreže sa više naponskih nivoa (10, 35 i 110 kV), rekonfiguracijom mreže na višem naponskom nivou (35 kV), ali da se značajno smanjenje gubitaka postiže i preraspedelom opterećenja između izvoda srednjeg napona iz susednih ili iste TS.

Treba istaći i činjenicu da, zbog modelovanja konstantnih opterećenja po TS X/0.4 kV, koja nisu zavisna od napona, nije uzet u obzir efekat promene opterećenja zbog promene napona, koji kod pojedinih predloženih promena uklopnog stanja, a naročito kod promene prenosnog odnosa transformatora može biti značajan. Uticaj ovog efekta detaljnije je ispitan u (12) i zaključci iz ovog rada su u skladu sa zaključcima izvedenim u (12).

ZAKLJUČAK

Rezultati analiza prikazani u radu deo su Studija razvoja i u potpunosti opravdavaju težnju da se ista analiza sprovede i u ostalim distributivnim preduzećima u Srbiji. Sagledavanjem kako delova, tako i celokupne distributivne mreže Srbije moguće je optimizovati upravljanje distributivnim mrežama sa visokim godišnjim uštedama, 6.7 miliona evra godišnje uštede na troškovima gubitaka električne energije pri distribuciji na osnovu sprovedenih analiza, i oko 2.5 miliona evra uštede na troškovima proizvodnje. Preduslov za analize bilo je formiranje baze podataka o potrošnji, kao i modela mreže, što su poslovi koji zahtevaju vreme za prikupljanje podataka (i njihovo uobličavanje za primenu izloženih metoda), koje je u svetlu rezultata analiza do kojih se došlo, više nego korisno utrošeno.

Pored novčanih efekata optimalnog upravljanja distributivnom mrežom na razmatranim naponskim nivoima 10-110 kV, ostvaruje se i značajno poboljšanje naponskih prilika u mreži niskog napona, što podiže kavalitet snabdevanja električnom energijom krajnjih kupaca.

KLJUČNE REČI: Upravljanje, Distributivna mreža, Srednji napon, Optimizacija, Uklopno stanje, Regulacija napona

LITERATURA

1. "Studija perspektivnog dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10 kV na području ogranka Vranje", 2010, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
2. "Studija perspektivnog dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10 kV na području ogranka Piroć", 2009, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
3. "Analiza funkcionisanja distributivnih mreža 10-110 kV, prognoza potrošnje i srednjoročni plan razvoja na području ogranka Kraljevo - Analiza postojećeg stanja mreže i prognoza potrošnje", 2009, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
4. "Studija dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10-110 kV na području ED Valjevo - Prognoza potrošnje - analiza postojećeg stanja", 2009, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
5. "Studija dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10-110 kV na području ED Loznica - Analiza postojećeg stanja mreže i prognoza potrošnje ", 2009, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
6. "Studija dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 6-110 kV na području ED Šabac", 2008, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
7. "Studija dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10-110 kV na području ED Lazarevac", 2008, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
8. "Studija perspektivnog dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10 kV na području grada Niša", 2008, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
9. S. Minić, G. Radović, A. Šaranović, N. Obradović, B. Čupić, "Novi algoritam za pronalaženje optimalnog uklopnog stanja u distributivnim mrežama", Zbornik radova XLVI Konf za ETRAN, Banja Vrućica - Teslić, 2002, tom I, str. 259 - 262
10. Tehničke preporuke Direkcije za distribuciju EPS-a
11. Pravilnik o radu distributivnog sistema, verzija 1.0, novembar, 2009. godine
12. V. Mrdak, "Uticaj promene prenosnog odnosa transformatora na opterećenja, naponske prilike i gubitke u distributivnoj mreži", diplomski rad na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, Beograd, 2008.