

## Neisporučena električna energija kao pokazatelj efekata automatizacije u mreži 10 kV PD ED Beograd

Nada Vrcelj<sup>1</sup>, Sanja Ivković, Jelena Perić, Dragan Đorđević, Tijana Janjić, Branislav Čupić, Aleksandar Ivanov, Saša Minić

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

**Kratak sadržaj:** Tema rada su efekti automatizacije u mreži 10 kV PD ED Beograd valorizovani kroz neisporučenu električnu energiju. Posmatrani su delovi mreže za koje je bilo moguće rekonstruisati događaje iz prošlosti. Proračuni neisporučene električne energije su vršeni za period pre implementacije recloser-a u sistem daljinskog upravljanja i u periodu probnog rada sistema. Značajno smanjenje vremena trajanja kvara, a time i neisporučene električne energije u automatizovanoj mreži ukazuje na povećanje nivoa pouzdanosti nakon implementacije sistema SCADA SN.

**Cljučne reči:** neisporučena električna energija, PD ED Beograd, efekti automatizacije

### 1. Uvod

Analiza efekata automatizacije u mreži 10 kV na području ED Beograd [1] je izvršena praćenjem parametara pouzdanosti napajanja potrošača i kvaliteta isporuke električne energije u dva navrata. Najpre je posmatran period od nekoliko godina pre primene automatizacije, zaključno sa 2010. godinom, a zatim je analiziran veći deo perioda implementacije recloser-a u sistem daljinskog upravljanja, zaključno sa decembrom 2012. godine sa posebnim osvrtom na period probnog rada od 2. februara 2012. godine do 2. avgusta iste godine. Obrada podataka je vršena u kontinuitetu u meri u kojoj su bili raspoloživi odgovarajući podaci.

Inače, recloser-i su automatski rasklopni uređaji koji najčešće sadrže vakumske prekidne elemente i kontroler zasnovan na mikroprocesorskoj tehnici. Prekidni elementi su najčešće konstruisani tako da mogu da budu

korišćeni i samostalno. Kontroler obezbeđuje zaštitu, registrovanje podataka i komunikacione funkcije. Recloser-i, o kojim je ovde reč, imaju obiman sistem funkcija zaštite: usmerenu prekostrujnu, zemljospojnu, prenaponsku i podnaponsku zaštitu, frekventnu zaštitu, osetljivu zemljospojnu zaštitu i proveru sinhronizovanosti i dr., kao i brojne funkcije merenja. Očitavanjem recloser-a je moguće dobiti podatke o datumima i tačnim vremenima kada je posmatrani recloser proradio, broj i vrste isključenja, podešenja zaštite pri isključenjima, kritične parametre, merenja struje, napona i snage kroz vreme i dr.

Pri proračunima neisporučene električne energije su posmatrani recloser-i za koje je bilo moguće da se sa relativno velikom tačnošću rekonstruišu događaji koji su se desili u prošlosti. Kriterijum za izbor su bili "gustina" mreže 10 kV gde su recloser-i ugrađeni i mogućnost da se iz raspoloživih podataka odredi vrsta događaja, odnosno proceni da li je bilo prekida u napajanju električnom energijom, i ako ih je bilo, koliko su trajali. Veličina ugroženog konzuma je određivana na dva načina, odnosno u zavisnosti da li su se za proračune mogli koristiti podaci o opterećenju na izvodima 10 kV dobijeni od strane SCADA sistema ili su bila korišćena raspoloživa ručna merenja. U skladu sa vrstom raspoloživih podataka razvijene su i dve različite metodologije za njihovu obradu za period pre implementacije sistema daljinskog upravljanja i modifikovana metoda za period nakon implementacije sistema daljinskog upravljanja (SCADA SN).

## 2. Teorijski osnov, primer i rezultati proračuna

U ovom radu su predstavljeni rezultati proračuna neisporučene električne energije u slučaju recloser-a RC-101 koji je ugrađen na 10 kV izvodu C37 iz TS 110/10 kV Beograd 19. Ovaj izvod ima fizičke veze sa izvodom C38, C41 i C43 iz iste TS i izvodima C11, C12 i C18 iz TS 110/10 kV Beograd 1. U slučaju kvara "iza" posmatranog recloser-a bez napajanja je do kraja 2010. godine ostajao kompletan konzum dela izvoda iza recloser-a, jer nije postojala mogućnost rezervnog napajanja. Međutim, od sredine avgusta 2011. godine je ovaj izvod povezan sa konzumom koji se napaja preko izvoda C25 iz TS 110/35 Beograd 33. Za celokupan period za koji je računata neisporučena električna energija se raspolagalo sa podacima o opterećenju izvoda 10 kV, odnosno posmatrani deo mreže 35 kV i 110 kV je bio u sistemu daljinskog upravljanja.

Sam proračun je vršen tako što su, osim provere podataka koje su bile neophodne zbog zahteva primenjene metodologije [2], za svaki posmatrani slučaj isključenja za koji je računata neisporučena električna energija, vršene i provere i ažuriranje podataka u toku proračuna u smislu pojave novih vodova 10 kV i odgovarajuće promene uklopnog stanja kroz vreme, odnosno pojava novih TS 10/0.4 kV na posmatranim područjima. U tu svrhu su osim sinoptičkih šema mreže svih naponskih nivoa, korišćeni godišnji izveštaj o opterećenju elemenata, kao što je [3], odnosno godišnji izveštaj o događajima

na elektroenergetskim objektima, kao i raspoloživa istorija kvarova PD ED Beograd.

Slučajevi isključenja koji su obrađeni, a do kojih se došlo očitavanjem recloser-a, su dati tabelarno – Tabela 1. U obzir su uzete samo situacije kada je prema proceni bilo neisporučene električne energije. Za svaki navedeni slučaj je vršena provera događaja upoređivanjem dnevnih dijagrama potrošnje odgovarajućih izvoda i kompletnih napojnih TS, kao i izveštaja sa recloser-a RC-104 od trenutka kada je ugrađen u mrežu. Ovaj recloser se nalazi na istom izvodu kao i RC-101, ali "iza" njega. Intervali isključenja koji su bili kraći od petnaest minuta nisu uzimani u obzir, jer nije moglo sa sigurnošću da se odredi koji deo konzuma je ostao bez napajanja i koliko dugo. Događaji koji su beleženi, a nisu bili vezani za isključenja na posmatranom izvodu (ispadi napojnih vodova 110 kV ili napojnog transformatora i sl.) pri proračunu, takođe, nisu uzimani u obzir.

Treba reći i da izveštaji za 2005. i 2010. godinu nisu bili kompletni u smislu da obuhvataju celu kalendarsku godinu. Naime, recloser RC-101 je ušao u pogon sredinom 2005. godine, a poslednje očitavanje recloser-a je bilo krajem 2010. godine prilikom ugradnje telekomunikacione opreme potrebne da se recloser implementira u sistem SCADA SN.

$W_{NEE}$  – Neisporučena električna energija

$R_{KON}$  – Reakcija konzuma na ponovno uključenje

$W_{UK}$  – Ukupna neisporučena električna energija

$O_D$  - Odnos reakcije konzuma i neisporučene el. energije u periodu isključenja

$T_K$  – Trenutak kada se desilo isključenje

t – dužina trajanja isključenja

**Tabela 1.** Neisporučena električna energija u slučaju recloser-a RC-101

Datum	$W_{NEE}$ (MWh)	$R_{KON}$ (MWh)	$W_{UK}$ (MW)	$O_D$ (%)	$T_K$	t
19.11.2005.	4.654	-0.203	4.451	4.36%	16:53:00	2h 3min
21.11.2005.	5.884	-0.172	5.712	2.92%	10:24:00	2h 35min
12.12.2005.	18.613	-0.96	17.653	5.16%	18:47:00	7h 27min
<b>2005</b>	<b>29.151</b>	<b>-1.335</b>	<b>27.816</b>	<b>4.58%</b>		
27.10.2006.	4.182	-0.15	4.032	3.59%	12:34:00	4h 7min
<b>2006</b>	<b>4.182</b>	<b>-0.15</b>	<b>4.032</b>	<b>3.59%</b>		
19.03.2007.	7.606	-0.63	6.974	8.31%	13:16:00	4h 55min
30.12.2007.	6.606	-0.003	6.603	0.05%	16:24:00	5h
24.12.2007.	11.582	-0.42	11.159	3.65%	15:30:00	3h 57min
<b>2007</b>	<b>25.794</b>	<b>-1.058</b>	<b>24.736</b>	<b>4.10%</b>		
13.02.2008.	1.596	-0.006	1.59	0.38%	12:00:00	1h 22min
14.02.2008.	7.742	-0.151	7.591	1.95%	12:40:00	14min
07.03.2008.	32.895	-2.086	30.809	6.34%	19:30:00	16h 15min
27.03.2008.	0.429	0	0.429	0.00%	12:36:00	11min
18.04.2008.	2.584	-0.35	2.234	13.54%	11:26:00	1h 25min
05.05.2008.	0.479	0	0.479	0.00%	16:51:00	21min
11.07.2008.	1.191	-0.046	1.145	3.86%	10:37:00	1h 7min
04.09.2008.	7.109	-1.307	5.802	18.39%	18:16:00	10h 15min
02.10.2008.	2.737	-0.232	2.505	8.48%	17:18:00	1h 55min

Datum	$W_{NEE}$ (MWh)	$R_{KON}$ (MWh)	$W_{UK}$ (MW)	$O_D$ (%)	$T_K$	t
24.10.2008.	3.136	-0.197	2.939	6.28%	11:06:00	2h 12min
14.12.2008.	12.998	-0.691	12.307	5.32%	11:53:00	4h 18min
29.12.2008.	20.996	-0.58	20.416	2.76%	19:42:00	5h 44min
<b>2008</b>	<b>93.892</b>	<b>-5.646</b>	<b>88.246</b>	<b>6.01%</b>		
19.02.2009.	103.539	-7.26	96.279	7.01%	0:35:00	28h 54min
28.03.2009.	7.497	-0.513	6.984	6.84%	14:26:00	4h 17min
09.04.2009.	5.91	-0.586	5.324	9.92%	12:15:00	5h 22min
12.04.2009.	1.865	-0.151	1.714	8.10%	11:30:00	52min
30.06.2009.	0.577	0	0.577	0.00%	13:00:00	12min
28.08.2009.	8.127	-0.775	7.352	9.54%	16:51:00	7h 2min
07.09.2009.	0.983	-0.242	0.741	24.62%	9:34:00	1h
08.10.2009.	7.288	-0.79	6.498	10.84%	14:16:00	5h 31min
13.10.2009.	8.76	-0.267	8.493	3.05%	21:35:00	7h 24min
<b>2009</b>	<b>144.546</b>	<b>-10.584</b>	<b>133.962</b>	<b>7.32%</b>		
13.02.2010.	24.692	-0.462	24.23	1.87%	19:30:00	7h 20min
29.05.2010.	6.957	-0.216	6.741	3.10%	8:55:00	5h 40min
24.06.2010.	5.003	-0.189	4.814	3.78%	10:15:00	4h 45min
18.07.2010.	9.957	-0.448	9.509	4.50%	10:15:00	7h 30min
<b>2010</b>	<b>216.313</b>	<b>-13.973</b>	<b>202.34</b>	<b>6.46%</b>		
<b>Ukupno</b>	<b>297.565</b>	<b>-18.773</b>	<b>278.792</b>	<b>6.31%</b>		

Kao što može da se vidi iz Tabele 1. reakcija konzuma na ponovno uključanje je, kao što se i očekivalo izraženija u zimskim mesecima i u slučajevima kada se ponovno uključanje desilo u popodnevnim časovima, odnosno u trenutcima mogućeg dnevnog maksimuma. Posmatrano po godinama neisporučena električna energija je prema izveštajima sa recloser-a RC-101 uglavnom rasla, pri tome treba da se izuzme 2006. godina za koju je bilo moguće izračunati neisporučenu električnu energiju samo za jedan slučaj. Ova godina je karakteristična po tome što je bilo više promena uklopnog stanja u smislu preraspodele opterećenja između izvoda C37 i C41 pri čemu nije bilo moguće sa dovoljnom tačnošću odrediti veličinu konzuma koja je pri tim manipulacijama ostajala bez napajanja.

Odnos reakcije konzuma na ponovno uključanje i neisporučene električne energije na godišnjem nivou se kretao između 4.1% i 7.32%, a za kompletan posmatrani period iznosi 6.31%. S obzirom da je reakcija konzuma na uključanje energija koju potrošači nadoknade u kratkom periodu neposredno nakon uključanja, a koju ne bi potrošili da isključenja nije bilo. Sa aspekta distributivnog preduzeća ova potrošnja smanjuje štetu zbog neisporučene električne energije u toku nenajavljenog isključenja, međutim sa aspekta potrošača, koji ovu energiju često troše po višoj tarifi, a inače je ne bi potrošili ili bi je potrošili u nižoj tarifi da isključenja nije bilo, šteta usled nenajavljenog isključenja postaje veća.

Recloser RC-101 je integrisan u sistem daljinskog upravljanja preko SCADA SN sistema u novembru 2011. godine. Od ovog trenutka konzum iza recloser-a više nije radijalno napajan, jer postoji veza sa izvodom C25 iz TS 110/10 kV Beograd 33 koja se zatvara preko recloser-a RC-104. U toku probnog perioda zabeleženo je sedam isključenja i dve promene uklopnog stanja koje nisu predstavljene.

Proračun neisporučene električne energije je vršen na isti način, kao i kada recloser nije bio integrisan u sistem SCADA SN, odnosno kako je to opisano u radu [2], ali su izvršena odgovarajuća prilagođenja u skladu sa specifičnostima programa SN, odnosno kako je to objašnjeno u [1].

Probni period je trajao šest meseci i za svaki navedeni slučaj je vršena provera događaja upoređivanjem dnevnih dijagrama potrošnje odgovarajućih izvoda i kompletnih napojnih TS, kao i dijagrama recloser-a RC-104. Osim isključenja, u toku probnog perioda, zabeležen je i slučaj ispada izvoda C37 iz TS 110/10 kV Beograd 19 pri čemu je celokupan konzum ostao bez napajanja tri petnaestominutna intervala, nakon čega se uspostavilo napajanje iz pravca TS 110/10 kV Beograd 33 što nije uzeto u obzir pri proračunu neisporučene električne energije s obzirom da nije direktno vezano za reagovanje recloser-a. Karakterističan slučaj je i kvar 21.7.2012. kada do prekida napajanja dolazi u dva navrata čemu prethodi reagovanje recloser-a RC-104 što znatno menja oblik dnevnog dijagrama koji je zabeležen na recloser-u RC-101 te je zbog tačnijeg izbora najslabijeg dnevnog dijagrama koji bi odgovarao pretpostavljenoj potrošnji da isključenja nije bilo ovaj deo izuzet iz proračuna za srednje kvadratno odstupanje.

**Tabela 2.** Neisporučena električna energija za probni period u slučaju recloser-a RC-101

Datum	$W_{NEE}$ (MWh)	$R_{KON}$ (MWh)	$W_{UK}$ (MW)	$O_D$ (%)	$T_K$	t
11.03.2012.	0.71	-0.050	0.66	7.03%	20:30:00	30min
27.03.2012.	0.14	-0.025	0.116	17.68%	14:15:00	15min
11.04.2012.	0.351	0	0.351	0.00%	11:15:00	30min
08.06.2012.	0.19	-0.055	0.134	29.18%	8:15:00	30min
26.06.2012.	0.188	0	0.188	0.00%	1:00:00	30min
21.07.2012.	0.239	-0.011	0.229	4.41%	15:15:00	15min
21.07.2012.	0.216	0	0.216	0.00%	16:15:00	15min
<b>Ukupno</b>	<b>2.034</b>	<b>-0.141</b>	<b>1.893</b>	<b>6.91%</b>		

Poređenjem rezultata proračuna dobijenih na osnovu odgovarajućih podataka u periodu pre i periodu nakon intergacije recloser-a RC-101 u sistem SCADA SN, može se reći da se u drugom slučaju ima značajno smanjenje vremena trajanja kvara. Neisporučena električna energija je takođe manja, mada je reč o kratkom vremenskom intervalu i konzumu koji se tokom godina menjao jednim delom zbog rasta potrošnje, a drugim delom zbog promena uklopnog stanja i konfiguracije mreže. Međutim, s obzirom da dužina trajanja kvara najviše utiče na iznos neisporučene električne energije može se reći da je implementacija recloser-a RC-101 u sistem daljinskog upravljanja značajno doprinela povećanju nivoa pouzdanosti napajanja u posmatranom delu distributivne mreže PD ED Beograd.

Povećanje nivoa pouzdanosti u delovima mreže 10 kV gde su ugrađeni recloser-i nije jedini efekat automatizacije, ali se može valorizovati kroz neisporučenu električnu energiju. U efekte automatizacije spadaju i brže i lakše otkrivanje mesta kvara i niži troškovi u ciklusu: trenutak kada se desio

kvar – izlazak ekipe na teren radi lociranja kvara i isključenja dela mreže radi popravke – popravka, kao i mogućnost da se automatskom promenom uklopnog stanja u mreži 10 kV izbegne prekoračenje dozvoljene vršne snage sistema, odnosno plaćanje “penala” na isporučenu snagu i dr [1] [4] .

### 3. Zaključak

U elaboratu [1] je izvršena analiza reagovanja recloser-a pre i posle implementacije sistema SCADA SN. Primećeno je da raspoloživost podataka za detaljne analize nije bio baš zadovoljavajući, posebno u periodu pre automatizacije kada izveštaji sa recloser-a nisu redovno očitavani. Uvođenjem sistema daljinskog upravljanja podaci koji se prikupljaju su kompletniji i sistemizovaniji te se očekuje da bi njihova obrada bila kvalitetnija.

Analiza neisporučene električne energije i vremena trajanja ispada za pojedinačne recloser-e daje sliku efekata na nivou manjih delova mreže gde su ugrađeni recloser-i, ali stvarna slika na nivou kompletne srednjenaponske mreže bi se dobila tek kada bi se opisane analize izvršile na nivou svih izvoda i za duži vremenski period.

Takođe, analiza izveštaja sa recloser-a bi trebalo da se nastavi u dužem kontinuiranom periodu sa većim brojem podataka što osim pokazatelja ostvarenih efekata može dati i smernice za dalja ulaganja u povećanje pouzdanosti napajanja električnom energijom, a samim tim i kvaliteta isporučene električne energije, što u uslovima liberalizovanog tržišta električnom energijom dobija sve više na značaju.

U novim uslovima poslovanja, koji predstoje, unapređenje i integracija informacionih sistema postaju jedan od osnova efikasnog poslovanja distributivnog preduzeća.

### Literatura

- [1] N. Vrcelj, T. Janjić, S. Minić, B. Ćupić, S. Ivković, J. Perić, D. Đorđević, A. Ivanov, “Analiza postignutih efekata pilot projekta daljinskog upravljanja srednjenaponskom distributivnom mrežom PD ED Beograd”, elaborat, ETI Nikola Tesla, Beograd, Srbija, februar, 2013.
- [2] Nada Vrcelj, Saša Minić, “Jedna metoda za proračun neisporučene električne energije u distributivnim mrežama”, *Zbornik radova, Elektrotehnički Institut Nikola Tesla*, Beograd, Srbija, br. 19, str. 1-9, 2008-2009.
- [3] „Godišnji izveštaj o opterećenju elemenata mreže u toku zimskog perioda 2008/2009. godine”, PD Elektrodistribucija Beograd d.o.o.
- [4] Miladin Tanasković, Tomislav Bojković, Dragoslav Perić, *Distribucija električne energije*, Beograd, Srbija, mart, 2007.

**Abstract.** The paper discusses the effects of automation in the 10 kV PD ED Belgrade valorized through undelivered electricity. In the paper it was observed the parts of the network for which it was possible to reconstruct the events of the past. Calculations undelivered electricity were carried out for the period prior to the implementation of recloser in remote control system and during the period of probation system. A significant reduction in the duration of the fault, and thus undelivered electricity in automated network, indicates an increase in the reliability level after the implementation in the system SCADA SN.

**Keywords:** undelivered electricity, PD ED Belgrade, effects of automation

## **Undelivered Electricity as an Indicator of the Effects of Automation in the 10 kV Network PD ED Belgrade**

Rad primljen u uredništvo 12.11.2013. godine  
Rad prihvaćen 26.11.2013. godine