

JEDNA METODA ZA PRORAČUN NEISPORUČENE ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Nada Vrcelj, Saša Minić
Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd

Kratak sadržaj: *U radu je opisana metoda za proračun neisporučene električne energije koja se primenjuje u analizama efekata automatizacije mreže 10 kV na području ED Beograd.*

Ključne reči: *metoda, proračun, neisporučena električna energija, ED Beograd*

1. UVOD

Vrednovanje šteta koje nastaju usled prekida napajanja potrošača električnom energijom, u uslovima liberalizovanog tržišta električne energije, postaje sve značajnija tema. Naime, očekuje se da će pojava konkurencije, kao i višegodišnje nedovoljno ulaganje u razvoj EESa rezultirati zahtevom da se kao predmet ugovaranja isporuke električne energije pojavi i valorizacija šteta koja nastaju zbog neisporučene električne energije.

Kako je potreba da se ima kvalitetnija i pouzdanija isporuka električne energije sve izraženija, to je i značaj definisanja metodologije za proračun neisporučene električne energije i pokazatelja pouzdanosti veći. U prilog tome ide i činjenica da je preko 70% prekida napajanja posledica kvarova u distributivnoj mreži [1].

O potrebi da se štete vrednuju na odgovarajući način govore i iskustva pojedinih stranih zemalja koje su uvele obavezu da se kontinualno prate pokazatelji pouzdanosti i da se na osnovu njih donose odluke o dozvoljenom profitu i potrebnim investicijama.

2. TEORIJSKI OSNOV I POLJE PRIMENE

Ukupne štete neposredno zavise od pokazatelja pouzdanosti napajanja potrošača i to prvenstveno od broja i pojedinačnih trajanja nenajavljenih prekida. Štete kod potrošača nastaju zbog narušavanja ili ometanja njihovih normalnih aktivnosti i mogućeg stvaranja škarta. Kod distributivnog preduzeća štete nastaju zbog neostvarene dobiti na prodaji električne energije i zbog eventualnog plaćanja penala pojedinim potrošačima ukoliko je to predviđeno ugovorom.

Metoda za proračun neisporučene električne energije koja je prikazana u ovom referatu je razvijena u okviru Elaborata za pilot projekat daljinskog upravljanja srednjenaponskom mrežom ED Beograd sa implementacijom, čija je izrada u toku, i kao takva je bazirana na vrsti podataka sa kojom se u tu svrhu raspolagalo. Odnosno, za delove mreže 10 kV ED Beograd, gde su ugrađeni riklozeri, se mogu rekonstruisati određeni događaji, a na osnovu podataka dobijenih njihovim očitavanjem (datumi kada je posmatrani reklozer proradio, broj i vrsta isključenja, podešenje zaštite, kritični parametri i merenja struje, napona i snage ukoliko postoje) i podataka dobijenih od strane SCADA sistema (petnaestominutna merenja struje na izvodima 10 kV i po

TS X/10 kV). Pri tome je neophodno poznavati i topologiju posmatranog dela mreže. Inače, riklozeri (automatski rasklopni uređaji) o kojima je ovde reč imaju obiman sistem funkcija zaštite, uključujući usmerenu prekostrujnu, zemljospojnu, prenaponsku i podnaponsku zaštitu, frekventnu zaštitu, osetljivu zemljospojnu zaštitu i proveru sinhronizovanosti, kao i brojne funkcije merenja.

Najjednostavniji slučaj proračuna neisporučene električne energije se ima kada je riklozer ugrađen na radijalnom izvodu, odnosno kada bez napajanja ostaje konzum "iza" riklozera i ne postoji mogućnost njegovog rezervnog napaja. Tada se prema izveštajima o proradi postojeće automatske opreme definiše vrsta isključenja (delovanje zaštite ili ručno otvaranje kontakata zbog promene uklopnog stanja i dr.). Ako je reč o kvaru, iz podataka dobijenih od SCADA sistema (izmerene struje u intervalima od petnaest minuta) se pronade posmatrani trenutak i period isključenja i proveru izveštaj dobijen očitavanjem posmatranog riklozera.

Sledeći korak je pronalaženje sličnih dnevnih dijagrama potrošnje i određivanje "pretpostavljene potrošnje" u periodu isključenja. Naime, posmatra se isto godišnje doba, odnosno, isti mesec iz prethodnih godina, dan u sedmici (dani vikenda i praznici imaju drugačiji oblik dnevnog dijagrama potrošnje), kao i vrsta potrošnje (pretežno seoski konzum, proizvodnja i sl.). Prema navedenim sličnostima se zatim bira određeni broj dana (do deset), odnosno njihovih dnevnih dijagrama potrošnje (pod potrošnjom se u ovom slučaju smatraju izmerene vrednosti struja).

Za izabrane dijagrame potrošnje se izračunava srednje kvadratno odstupanje struja od posmatranog dnevnog dijagrama, za vremenski interval od oko šest sati pre kvara i isto toliko sati nakon uspostavljanja normalnog radnog režima. Najbliži dijagram ima minimalno kvadratno odstupanje. Formula je sledeća:

$$I_{sr} = \left(\sum_{i=1}^{Na} I_i + \sum_{j=Nb}^{Nc} I_j \right) / [Nc - (Nb - Na)] \quad (1)$$

$$SKO = \sum_{i=1}^{Na} (I_i - I_{sr})^2 \quad (2)$$

gde su:

- I_{sr} – srednja vrednost struje u posmatranom intervalu za posmatrano isključenje,
- I_i i I_j – izmereni petnaestominutni odbirci struje sa rednim brojem i , odnosno j ,
- Na – redni broj poslednjeg merenja pre nenajavljenog isključenja,
- Nb – redni broj šestog merenja nakon ponovnog uključenja,
- Nc – redni broj merenja struje šest sati nakon ponovnog uključenja,
- SKO – srednje kvadratno odstupanje.

Treba reći da se pri proračunu srednje vrednosti ne uzimaju merenja koja su se imala za vreme isključenja, kao ni pet izmerenih vrednosti nakon ponovnog uključenja. Naime, analize određenog broja isključenja različitog trajanja i veličine konzuma su pokazale da reakcija konzuma na ponovo uključenje traje oko 60 minuta za isključenja srednjeg trajanja, odnosno deo neisporučene energije se u prvih sat vremena delimično nadoknadi, odnosno potrošači u tom periodu troše više nego što bi trošili da nije bilo isključenja.

Interval od šest sati je izabran kao optimalan nakon detaljnih analiza prekida u napajanju različitog trajanja i različite veličine konzuma. Razlozi da se tako postupi su

bili to što, ako se izabere duži interval, može da se desi da najbliži dijagram (ima minimalno srednje kvadratno odstupanje struje od posmatranog) u delu dana kada se desio kvar ima značajno drugačiji oblik. Greška koja se u tom slučaju pravi je veća ukoliko je period isključenja kraći. Ukoliko je posmatrani interval kraći od šest sati, period nakon ponovnog uključanja, koji se može nazvati reakcija konzuma na uključanje, može da ima veću "težinu" u analizama nego što bi realno trebalo.

Kada se odredi najbliži dijagram opterećenja, potrebno je na osnovu odabranog i posmatranog dijagrama izračunati "pretpostavljenu potrošnju" u intervalu isključenja. Kao ilustracija jednog takvog proračuna se navodi Slika I.

Petnaestominutni odbirci struje dijagrama pretpostavljene potrošnje se računaju prema formuli:

$$I_i'' = [(t_i - t_1)/(t_n - t_1)](I_n'' - I_n') + I_i' \quad (3)$$

gde su:

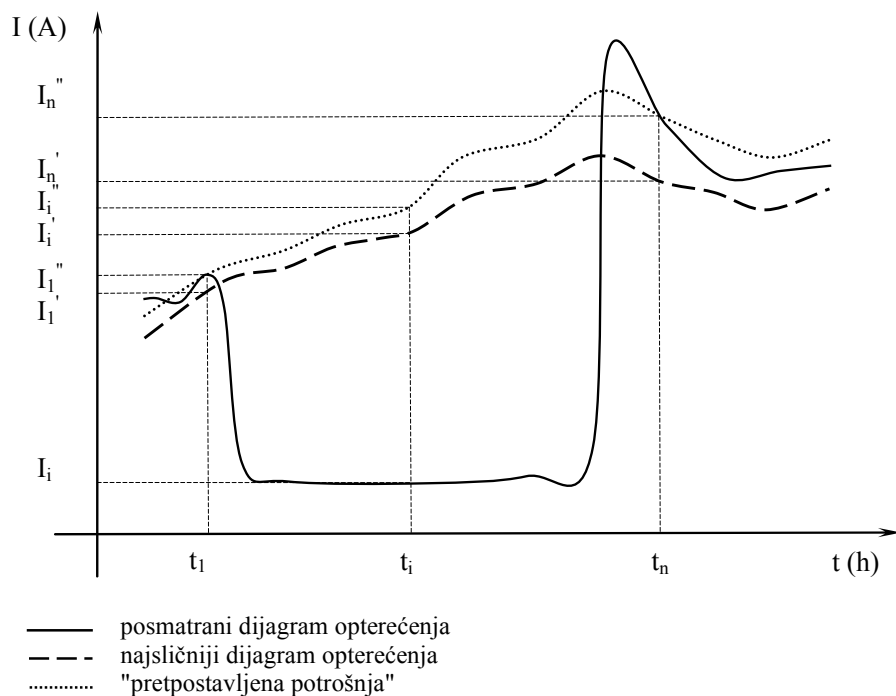
- t_1 – trenutak poslednjeg merenja pre nenajavljenog isključenja,
- t_i – trenutak za koji se računa i -ti odbirak struje I_i'' (pretpostavljena potrošnja se računa za intervale od 15 minuta saglasno posmatranom dijagramu), $i=1,2,..,n$,
- n – broj odbiraka za koji se računa pretpostavljena potrošnja (ceo broj koji se dobije deljenjem vremena trajanja isključenja sa 15, pa "plus" 5),
- t_n – trenutak merenja 60 minuta nakon uključanja,
- I_n' – odbirak struje u trenutku t_n najbližijeg dijagrama potrošnje,
- I_n'' – odbirak struje u trenutku t_n dijagrama pretpostavljene potrošnje (struja koja se imala u trenutku t_n dijagrama potrošnje za koji se računa neisporučena električna energija).

Neisporučena električna energija se onda računa kao:

$$W = \sqrt{3} U \cos \varphi \sum_{i=1}^n [(I_{i+1}'' + I_i'')/2 - I_i'](t_{i+1} - t_i) \quad (4)$$

gde je:

- U – izračunata vrednost napona na početku posmatranog izvoda 10 kV, na osnovu izmerene maksimalne struje i maksimalne snage za posmatrani dan,
- $\cos \varphi$ – usvojeni faktor snage na nivou distribucije,
- W – proračunata neisporučena električna energija za vreme trajanja nenajavljenog isključenja napajanja posmatranog konzuma.



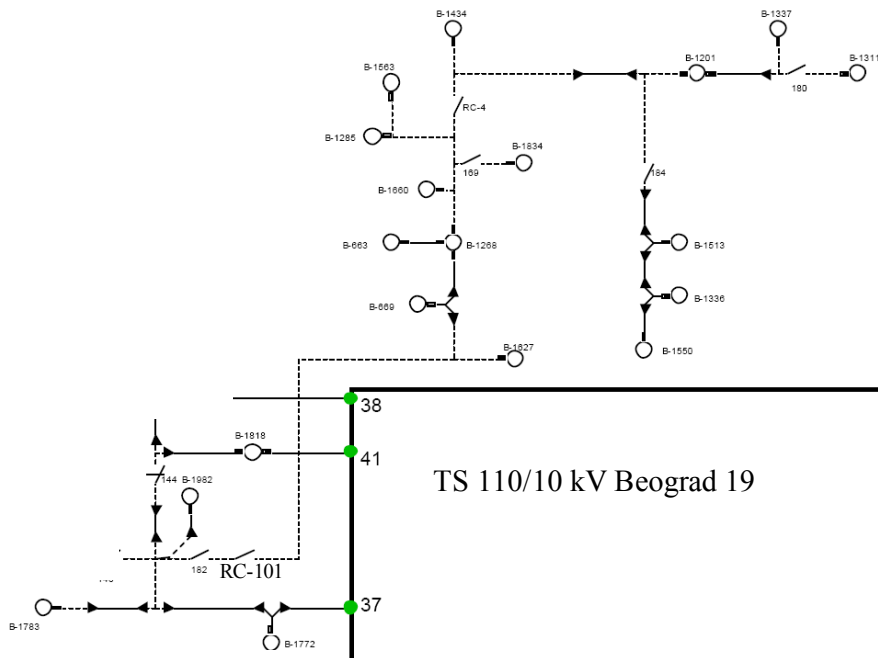
Slika I: Određivanje dijagrama "pretpostavljene potrošnje"

Kao što je već rečeno, opisana metoda se primenjuje u okviru analiza za potrebe Elaborata za pilot projekat daljinskog upravljanja srednjenaponskom mrežom ED Beograd sa implementacijom. Uz poznatu cenu neisporučene električne energije moguće je valorizovati štete nastale nenajavljenim isključenjima napajanja za pojedina područja. Preporuka je da se za različite kategorije potrošača definišu različite cene u skladu sa vrstom potrošnje, odnosno mogućim štetama.

U narednom odeljku su dati rezultati primene opisane metode na praktičnom primeru.

3. PRAKTIČNI PRIMER

Reč je o konzumu jednog od izvoda 10 kV iz TS 110/35 kV Beograd 19 (ćelija 37) preko kojeg se napaja deo naselja Mirijevo, kao i naselja Slanci i Veliko selo [2]. Posmatran je riklozer RC-101 koji je u pogonu već nekoliko godina, i u slučaju kvara u mreži "iza" ovog riklozera, za ugroženi konzum nije moguće obezbediti rezervno napajanje. Njegov položaj u mreži je prikazan na sledećoj slici:



Slika II: Prikaz dela mreže 10 kV ED Beograd - riklozer RC-101 (izvod 10 kV iz TS 110/10 kV Beograd 19, čelija 37)

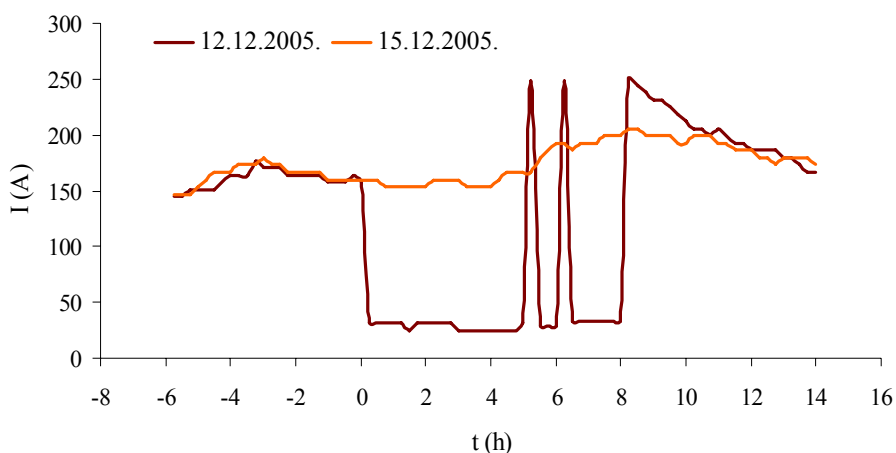
Iz izveštaja o proradi riklozera RC-101 (Slika III), kao odgovarajući primer za prikaz rezultata opisane metodologije je izabrana situacija koja se imala 12.12.2005. godine.

| On-Line Date and Time | Date and Time | Event title | Source of event | Relevant state | Critical parameter |
|-----------------------|-------------------------|-------------|-----------------|----------------|-----------------------------|
| 2.11.2009 12:04:01 | Data may be lost | | | | |
| | 19.11.2005 15:50:40.014 | Open | EF1+ | Lockout | Max(I _n), A=46 |
| | 19.11.2005 17:53:48.175 | Closed | MMI | | |
| | 21.11.2005 8:49:20.172 | Open | EF1+ | Lockout | Max(I _n), A=40 |
| | 21.11.2005 11:14:12.609 | Closed | MMI | | |
| | 21.11.2005 11:14:12.676 | Open | EF1+ | Lockout | Max(I _n), A=40 |
| | 21.11.2005 11:14:24.031 | Closed | MMI | | |
| | 12.12.2005 11:47:17.413 | Open | EF1+ | Lockout | Max(I _n), A=49 |
| | 12.12.2005 16:50:11.112 | Closed | MMI | | |
| | 12.12.2005 17:03:04.899 | Open | DC1+ | Lockout | Max(I _a), A=211 |
| | 12.12.2005 17:54:01.358 | Closed | MMI | | |
| | 12.12.2005 17:54:01.425 | Open | EF1+ | Lockout | Max(I _n), A=41 |
| | 12.12.2005 17:54:03.479 | Closed | MMI | | |
| | 12.12.2005 18:07:49.432 | Open | DC1+ | Lockout | Max(I _a), A=206 |
| | 12.12.2005 19:46:01.606 | Closed | MMI | | |
| | 12.12.2005 19:46:44.979 | Open | DC1+ | Lockout | Max(I _a), A=205 |
| | 12.12.2005 19:46:51.284 | Closed | MMI | | |
| | 8.3.2006 22:44:31.241 | Open | MMI | Lockout | |
| | 9.3.2006 5:24:35.407 | Closed | MMI | | |
| | 15.3.2006 6:47:08.013 | Open | MMI | Lockout | |

Slika III: Prikaz izveštaja o proradi riklozera RC-101

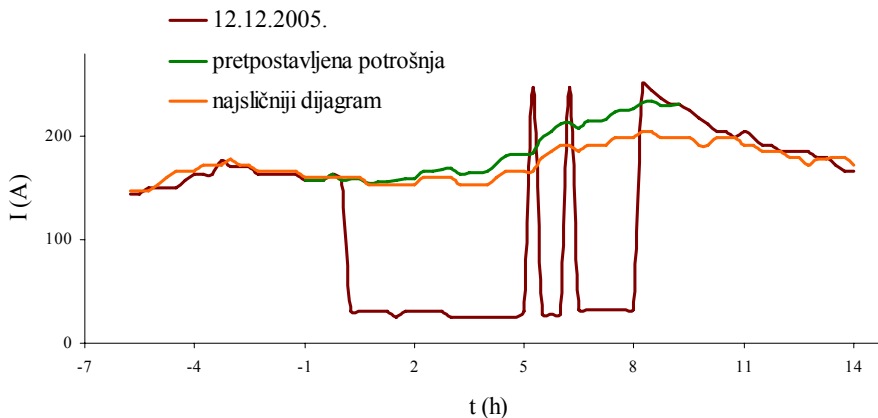
Kao što može da se vidi na slici, toga dana su se desila dva isključenja usled reagovanja zemljospojne zaštite (oznaka EF1+) i tri isključenja usled delovanja prekostrujne zaštite (oznaka OC1+). Dva isključenja su trajala po nekoliko sekundi, dok su preostala tri trajala duže i za njih je potrebno izračunati neisporučenu električnu energiju.

Prema obliku dnevnog dijagrama za posmatrani dan, izabrano je sedam dijagrama potrošnje za koje prema proceni imalo smisla računati srednje kvadratno odstupanje (na raspolaganju su bila petanaestominutna merenja struje na početku izvoda u periodu od 1.7.2002. do 30.9.2009. godine). Kao najbliži po obliku, odnosno sa minimalnim kvadratnim odstupanjem, se pokazao dijagram koji se imao na dan 15.12.2005. godine. Prikaz ova dva dijagrama je priložen kao Slika IV:

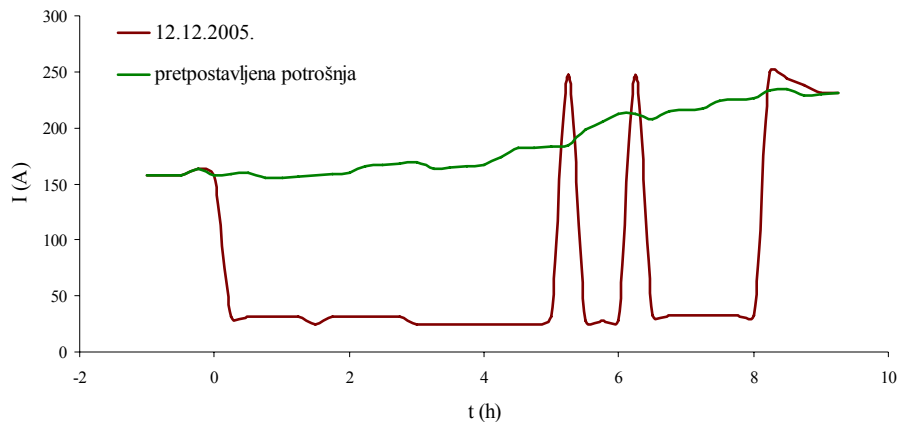


Slika IV: Dijagrami potrošnje mereni u ćeliji 37 TS 110/10 kV Beograd 19 u intervalu od 05.00h 12.12.2005. do 00.45h 16.12.2005. godine

Nakon izbora najbližijeg dijagrama izvršen je proračun pretpostavljene potrošnje i dobijeni su dijagrami kao na sledećim slikama:



Slika V: Prikaz dobijenog dijagrama pretpostavljene potrošnje u intervalu od 05.00h 15.12.2005. do 00.45h 16.12.2005. godine



Slika VI: Dijagrami na osnovu kojih se računa neisporučena električna energija

Rezultati proračuna neisporučene električne energije po petnaestominutnim odbircima su predstavljeni tabelarno.

Treba reći da je za proračun korišćena vrednost napona na početku izvoda od 10.01 kV, izračunata iz izmerene maksimalne snage za posmatrani dan i posmatrani izvod od 4.2 MW i izmerene maksimalne struje od 250 A. Za faktor snage je usvojena vrednost od 0.97 (ova vrednost je usvojena od strane ED Beograd i koristi se prema potrebi u okviru samog preduzeća). Takođe, kako su merenja sa kojima se raspolaže u intervalima od petnaest minuta, a kvarovi, odnosno isključenja se dešavaju u trenucima koji su bili tačno zabeleženi u izveštajima očitanim sa riklozera, to je pri proračunu bili moguće uzeti u obzir i tačan trenutak isključenja. "Površine" koje su računane sa dijagrama su u skladu sa tačnim vremenom isključenja, odnosno uključenja, bile korigovane.

Negativne vrednosti za neisporučenu električnu energiju u tabeli (Tabela I) su reakcija konzuma na isključenje. Ova energija je isporučena, ali da nije bilo isključenja ne bi bilo ni ove povećane potrošnje u prvih, po pretpostavci, sat vremena za isključenja srednjeg trajanja, pa se pri vrednovanju neisporučene električne energije mora uzeti u obzir. Što se tiče prelaznih pojava pri isključenju, odnosno uključenju, smatrano je da one zanemarljivo kratko traju i da za proračune sa petnaestominutnim merenjima nisu od značaja kosine koje se imaju na dijagramima potrošnje u tim trenucima.

Tabela I: Proračunata neisporučena električna energija

| Vreme proteklo od trenutka isključenja (h) | 12.12.2005. (A) | Pretpostavljena potrošnja (A) | Neisporučena električna energija (MWh) |
|--|-----------------|-------------------------------|--|
| 0 | 158 | 158 | 0 |
| 0.25 | 31 | 159 | 0.536 |
| 0.5 | 31 | 160 | 0.54 |
| 0.75 | 31 | 155 | 0.552 |
| 1 | 31 | 156 | 0.522 |
| 1.25 | 31 | 157 | 0.526 |
| 1.5 | 25 | 158 | 0.555 |
| 1.75 | 31 | 158 | 0.534 |
| 2 | 31 | 159 | 0.538 |
| 2.25 | 31 | 166 | 0.554 |
| 2.5 | 31 | 167 | 0.571 |
| 2.75 | 31 | 168 | 0.575 |
| 3 | 25 | 169 | 0.604 |
| 3.25 | 25 | 164 | 0.616 |
| 3.5 | 25 | 165 | 0.586 |
| 3.75 | 25 | 166 | 0.59 |
| 4 | 25 | 167 | 0.594 |
| 4.25 | 25 | 174 | 0.61 |
| 4.5 | 25 | 182 | 0.642 |
| 4.75 | 25 | 182 | 0.66 |
| 5 | 31 | 183 | 0.766 |
| 5.25 | 248 | 184 | -0.234 |
| 5.5 | 28 | 198 | 0.686 |
| 5.75 | 28 | 205 | 0.73 |
| 6 | 28 | 212 | 0.911 |
| 6.25 | 248 | 213 | -0.169 |
| 6.5 | 33 | 208 | 0.767 |
| 6.75 | 33 | 215 | 0.75 |
| 7 | 33 | 216 | 0.766 |
| 7.25 | 33 | 217 | 0.77 |
| 7.5 | 33 | 225 | 0.789 |
| 7.75 | 33 | 225 | 0.807 |
| 8 | 33 | 226 | 0.811 |
| 8.25 | 250 | 233 | -0.085 |
| 8.5 | 244 | 234 | -0.043 |
| 8.75 | 238 | 229 | -0.005 |
| 9 | 231 | 230 | -0.006 |
| 9.25 | 231 | 231 | -0.002 |
| UKUPNO | | | 18.914 |

4. ZAKLJUČAK

Kako je pokazano, opisana metoda je primenljiva samo u situacijama kada su na raspolaganju svi potrebni podaci. Međutim, smatra se da je i u delovima mreže gde nisu ugrađeni riklozeri i gde ne postoje detaljni podaci o uzrocima i trajanju isključenja, moguće, ukoliko postoje kontinualna merenja opterećenja izvoda, uz mala prilagođenja metode izvršiti dovoljno tačne proračune. U tom slučaju je neophodno da se raspolože detaljnom istorijom kvarova za svaki izvod (uredno vođene dispečerske knjige).

Smatra se da bi energija, koja je u ovom radu opisana kao reakcija konzuma na uključnje, trebalo da se posmatra odvojeno od neisporučene električne energije i da se tako i vrednuje. Takođe, potrebno je izvršiti temeljnije analize koje bi definisale granice

trajanja reakcije konzuma na uključenje u zavisnosti od dužine trajanja isključenja i veličine konzuma, jer bi tačnost metode bila veća.

Jasno je da sistemi bez mogućnosti otkaza ne postoje. Pouzdanost se može povećati dodatnom izgradnjom sistema, primenom automatike i daljinskog upravljanja, ugradnjom kvalitetnije opreme i sl. Kako sva navedena poboljšanja koštaju, tehnički racionalna rešenja se moraju tražiti na osnovu tehničko-ekonomskih analiza koje uzimaju u obzir navedene troškove i troškove korisnika usluga. Kvalitet analiza u velikoj meri zavisi od izbora metodologije, ali i od raspoloživih podataka. Na našim prostorima je, za proračune u oblasti adekvatnog vrednovanja šteta usled prekida napajanja električnom energijom, značaj prikupljanja odgovarajućih podataka zaista veliki. Naime, u velikom broju elektrodistributivnih preduzeća se o ovoj vrsti podataka ne vodi briga i nije moguće izvršiti bilo kakvu procenu neisporučene električne energije ili štete nastale usled nenajavljenih isključenja.

LITERATURA

- [1] "Vrednovanje šteta kod prekida napajanja električnom energijom kod potrošača distributivnih mreža JP Elektrodistribucija Beograd", studija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, april 2005. godina.
- [2] "Godišnji izveštaj o opterećenju elemenata mreže u toku zimskog perioda 2008/2009. godine, PD Elektrodistribucija Beograd d.o.o. "

Abstract: The paper describes a method for calculation of undelivered electricity used in the analysis of the effects of automation networks 10 kV ED Belgrade.

Key words: *method, calculation, undelivered electricity, ED Belgrade*

ONE METHOD FOR CALCULATION OF UNDELIVERED ELECTRICITY IN DISTRIBUTION NETWORK

Nada Vrcelj, Saša Minić
Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade