

Minimizacija pokazatelja pouzdanosti u distributivnoj mreži uz uvažavanje ograničenih finansijskih sredstava

Jelena Stojković, Jelisaveta Krstivojević
Katedra za elektroenergetske sisteme
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
jstojkovic@etf.rs, j.krstivojevic@etf.rs

Sažetak—Osnovni zadatak operatora distributivnog sistema je planiranje i razvoj mreže kroz finansijska ulaganja tako da dugoročno omogući pouzdanu i ekonomičnu isporuku uz povećanje kvaliteta električne energije. U ovom radu je analizirano koje od investicionih opcija najviše doprinose smanjenju pokazatelja pouzdanosti *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*) koji se odnosi na srednje vreme trajanja prekida napajanja potrošača. Razmatrane investicione opcije uključuju: (i) izgradnju novih vodova, kojim bi bili formirani poluprstenovi na vodovima koji su jednostrano napajani, i (ii) zamenu starih komponenti novim. Minimizacija pokazatelja *SAIDI* izvršena je za različite maksimalne iznose sredstava koja stoje na raspolaganju. Optimizacioni algoritam je implementiran u MATLAB-u i verifikovan na uprošćenom test sistemu koji odgovara tipičnoj topologiji distributivne mreže.

Ključne riječi—pouzdanost; optimizacija; tehno-ekonomska analiza; distributivna mreža.

I. UVOD

Pouzdanost isporuke električne energije je sposobnost distributivnog sistema (DS-a) da izvrši svoju funkciju pod navedenim uslovima za određeni vremenski period bez prekida napajanja potrošača [1]. Poboljšanje pouzdanosti distributivnih sistema je stalni predmet istraživanja koji je postao još aktuelniji uvođenjem tržišnih principa u sektor energetike. Deregulacija i poslovanje na tržišnim principima primoravaju isporučioce električne energije da maksimalno poboljšaju pouzdanost snabdevanja potrošača, u smislu snižavanja broja i trajanja prekida napajanja. Istovremeno, to zahteva od operatora da ulože znatna finansijska sredstva.

Razvoj elektrodistributivnih mreža jedan je od ključnih zadataka radi obezbeđenja ekonomičnog, sigurnog i pouzdanog snabdevanja kupaca električnom energijom. Sve to se mora obuhvatiti planiranjem, koje predstavlja jedan od ključnih poslovnih procesa rada operatora distributivnog sistema. Pravilno sagledavanje pokazatelja pouzdanosti može bitno da snizi troškove pojedinih potrošača, a takođe može da doprinese boljem i optimalnom planiranju daljeg razvoja mreža. Unapređivanje DS-a treba da dugoročno omogući pouzdanu i ekonomičnu isporuku uz povećanje kvaliteta električne energije [2].

Sisteme snabdevanja električnom energijom u urbanim gradskim područjima karakterišu jake, prstenaste i podzemne kablovske mreže. One se sastoje iz kombinacije povezanih i prstenastih vodova malih dužina. Ove mreže poseduju određeni nivo automatizacije i imaju mogućnost pružanja alternativnih

tačaka snabdevanja za veliki broj povezanih potrošača. Urbane mreže odlikuje kraće vreme prekida napajanja odnosno veća pouzdanost isporuke električne energije [3].

Vangradske (seoske, prigradске) distributivne mreže po pravilu rade kao radialne bez mogućnosti napajanja iz rezervnog izvora. Istovremeno, one imaju više ograničenja i veće dužine vodova koje, sa terenskim uslovima, utiču na dosta veliko vreme potrebno ekipi da stigne od jedne do druge TS SN/NN. S obzirom na veću rasprostranjenost i manji značaj potrošača u odnosu na gradske mreže, vangradske mreže su i manje tehnički opremljene [4].

Pokazatelji pouzdanosti za distributivne sisteme su definisani standardom kako bi se kvantifikovao nivo kvaliteta isporuke električne energije. Pouzdanost isporuke električne energije prati se preko sledećih pokazatelja pouzdanosti [5]: prosečno trajanje prekida isporuke u minutima po mestu predaje električne energije *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*), prosečna učestalost prekida isporuke po mestu predaje električne energije *SAIFI* (*System Average Interruption Frequency Index*) i prosečno trajanje prekida isporuke *CAIDI* (*Customer Average Interruption Duration Index*). Minimizacija ovih pokazatelja je bila predmet mnogih istraživanja.

U [6] je predložen optimizacioni model čija se kriterijumska funkcija odnosila na minimizaciju pokazatelja *SAIFI* i *ASIFI* (*Average System Interruption Frequency Index*). Takođe je analizirana minimizacija troškova nabavke zaštitnih uređaja dok su pokazatelji pouzdanosti ovde bili tretirani kao ograničenja.

Multi-kriterijumska optimizacija koja uključuje istovremenu minimizaciju pokazatelja *SAIFI*, *ASIFI* i *MAIFI* (*Momentary Average Interruption Frequency*) pomoću fazi programiranja je predstavljena u [7] i [8].

U [9] je razvijen nelinearan binaran model koji minimizira ukupne troškove pouzdanosti, uključujući troškove ispada i ulaganja u zaštitne uređaje prekidače. Takođe, nelinearan binaran model je korišćen u [10] kako bi se smanjio vrednost pokazatelja *SAIFI*.

Uvođenje tržišta električne energije je naročito bacilo akcenat na smanjenje ekonomskih gubitaka usled neisporučene električne energije. Ovi zahtevi uključujući i promenjenu regulativu vezanu za isporuku električne energije dali su osnovu za definisanje tarifa zasnovanih na pouzdanosti ili kazni za operatora distributivne mreže električne energije ukoliko nivo pouzdanosti nije zadovoljen.

Prema trenutnim regulatornim modelima širom sveta, kao što su španski ili finški, ulaganje u poboljšanje pouzdanosti sistema je pozitivno motivisano jer pouzdanost ima direktan efekat na prihode operatora. Konkretno, naknada do 2% godišnjih prihoda bez podsticaja se može dati operatoru distributivnih sistema zbog poboljšanje pouzdanosti [11]. Ovde leži ideja za analize izvršene u radu.

U literaturi generalno vlada mišljenje da ako se korisnik odlučuje samo za jedan pokazatelj, onda je to *SAIDI*. Sve analize pokazuju da su kupci manje osetljivi na broj prekida nego na dužinu prekida, a *SAIDI* upravo pokazuje prosečnu dužinu prekida električne energije. Otuda opravdanost da se u ovom radu prati i minimizuje samo vrednost pokazatelja *SAIDI*.

Cilj rada je da se izvrši minimizacija pokazatelja *SAIDI* uz uvažena ograničena finansijska sredstva koja mogu biti investirana. Kao moguće investicione opcije radi smanjenja pokazatelja *SAIDI* razmotrena je izgradnja novih vodova, kojim bi bili formirani poluprstrenovi, kao i zamena starih komponenti (prekidača, rastavljača, osigurača) novim.

II. TEORIJSKA OSNOVA

A. *SAIDI*

Pokazatelj *SAIDI* je zajedno sa pokazateljem *SAIFI* najčešće korišćen pokazatelj pouzdanosti distributivnih sistema. *SAIDI* se definiše kao prosečno, zbirno, vreme trajanja prekida napajanja jednog potrošača:

$$SAIDI = \sum_i \frac{D_i \cdot N_i}{N} \quad (1)$$

$$D_i = f_i \cdot r_i \quad (2)$$

, gde je i – broj kvarova u toku godine,

f_i – učestanost kvarova i ,

r_i – trajanje kvarova i ,

N_i – broj potrošača koji su isključeni kod kvara i ,

N – ukupan broj potrošača koji se napaja,

D_i – zbirno vreme trajanja prekida napajanja potrošača kod kvara i u toku godine.

B. Intenzitet otkaza komponenti

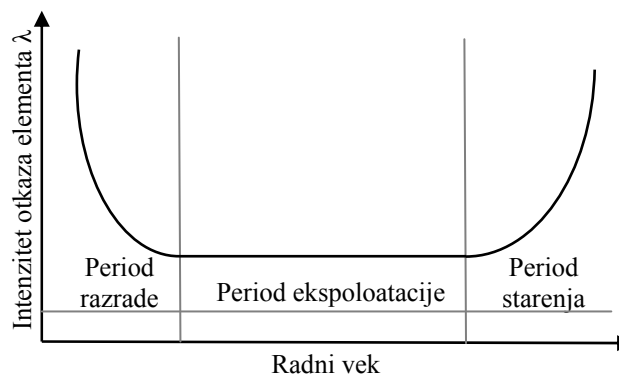
Intenzitet otkaza nekog elementa nije idealno konstantan u toku njegovog životnog veka. Promena intenziteta otkaza može se predstaviti krivom na Sl. 1. Na dijagramu se razlikuju tri vremenska perioda: period razrade, period eksploatacije i period starenja.

U toku prvog perioda do izražaja dolaze skrivene konstruktivne greške, oštećenja u transportu, greške u montaži i drugo. Po otklanjanju pomenutih nedostataka, intenzitet otkaza elementa se smanjuje i postaje približno konstantan u toku dužeg vremenskog perioda. Usled starenja komponente prelazi se u treći vremenski period, koji karakteriše neprekidan porast intenziteta otkaza. Tehnički vek komponente je završen onda kada se nastali kvar ne može otkloniti popravkom ili kada troškovi održavanja i popravki zbog učestalih kvarova narastu do vrednosti koje su bliske ceni novog uređaja [12].

C. Formulacija optimizacionog problema

U toku eksploatacije distributivnog sistema uočene su mogućnosti da se smanji vrednost pokazatelja *SAIDI*, pri čemu to zahteva da određena finansijska sredstva budu uložena. Optimizacioni problem se može definisati pomoću (3) i (4). Cilj je minimizirati:

$$f(x_i) = SAIDI \quad (3)$$



Slika 1. Promena intenziteta otkaza u toku radnog veka

uz ograničenje

$$\sum_i x_i \cdot C_i \leq C_{max} \quad (4)$$

gde su: x_i – binarna promenljiva, koja može imati vrednost 0 (rešenje x_i nije realizovano) ili 1 (rešenje x_i je realizovano),

C_{max} – maksimalni iznos sredstava koja stoje na raspolaganju,

C_i – Troškovi realizacije rešenja x_i .

Ovaj optimizacioni problem pripada klasi Mixed-integer linear programming (MILP) problema u kome sve promenljive imaju binarnu prirodu, tj. mogu imati samo vrednost 1 ili 0. U ovom konkretnom slučaju promenljive se odnose na određene komponente koje je moguće zameniti, odnosno nove vodove koje je moguće izgraditi. Kada promenljiva uzima vrednost 1 znači da je određena komponenta zamenjena novom ili da je izgrađen odgovarajući vod.

D. Algoritam

Za proračun pokazatelja *SAIDI* potrebno je distributivni sistem predstaviti pomoću stabla jer se na taj način utvrđuju (takozvane) relacije "roditelj/dete" između određenih deonica. Ovaj način predstavljanja je pogodan jer se na taj način mogu utvrditi potrošači koji će biti pogođeni kvarom, kao i deonice koje se nalaze ispred i iza posmatranog mesta kvara.

U nastavku je opisan korak po korak predloženog algoritma za izbor investicionih opcija koje najviše doprinose smanjenju pokazatelja pouzdanosti *SAIDI*.

Korak 1: Učitavanje podataka o mreži i potrošačima. Usvajanje prosečnih vrednosti učestanosti i trajanja kvarova komponenti, kao i vremena lokalizacije kvara i uključenja ispravnih deonica. Definisavanje potencijalnih investicionih opcija i troškova njihove realizacije.

Korak 2: Formiranje stabla mreže sa relacijama roditelj/dete između određenih deonica.

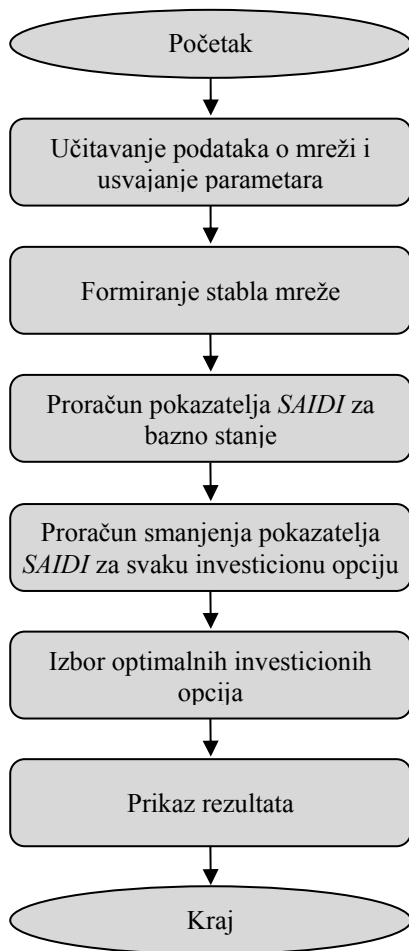
Korak 3: Proračun pokazatelja *SAIDI* za bazno stanje.

Korak 4: Proračun smanjenja pokazatelja *SAIDI* za svaku investicionu opciju.

Korak 5: Definisavanje optimizacionog problema uz zadato ograničenje ukupnih investicionih sredstava. Izbor investicionih opcija koje najviše doprinose smanjenju pokazatelja *SAIDI*.

Korak 6: Prikaz rezultata i kraj algoritma.

Na Sl. 2 je prikazan algoritam. Predloženi algoritam je implementiran u MATLAB-u.

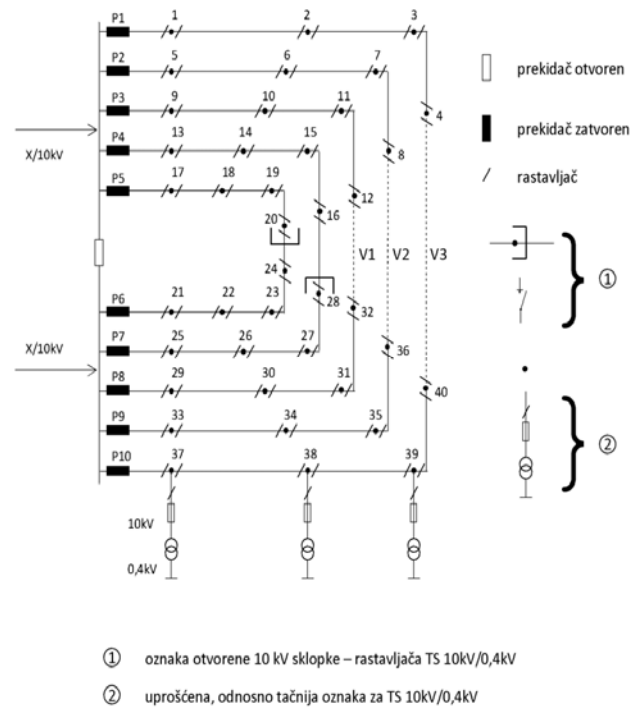


Slika 2. Algoritam za izbor optimalnih investicionih opcija

III. OPIS SCENARIJA

A. Test sistem

Šema analiziranog dela distributivnog sistema data je na Sl. 3. Usvojeno je da su napojne tačke, normalno otvoren prekidač i svi TR-i u TS-ma 10kV/0,4kV idealno pouzdani. Vodovi su kablovski. Sve deonice su jednake dužine 0.3 km. Na početku i na kraju svake deonice nalazi se rastavljač. Ukupan broj TS je 40. Broj potrošača koji se napajaju iz svake TS 10kV/0,4kV je 60.



Slika 3. Srednjenaponska test mreža

B. Ulazni parametri

Prosečne vrednosti učestanosti i trajanja kvarova komponenti su prikazane u Tabeli I [1,5,12].

TABELA I. PROSEČNE VREDNOSTI UČESTANOSTI I TRAJANJA KVAROVA KOMPONENTI

Komponenta	f_r - Učestanost kvara [1/god.]	r_i - Trajanje kvara [h]
prekidač	0.034	12
rastavljač	0.0028	10.5
VN osigurač	0.004	2
kablovski vod	0.0400*	30

*- [1/km/god.]

Usvojeno je davreme lokalizacije kvara i uključena ispravnih deonica iznosi $r_{kv}=1h$. Ovo se odnosi i na vreme potrebno za manipulaciju rastavne opreme prilikom zatvaranja poluprstena i obezbeđivanja napajanja iz druge napojne tačke.

Zadatoje da određene komponente, navedene u Tabeli II, zbog svoje starosti imaju intenzitet otkaza koji je 2.5 puta veći od prosečnih vrednosti.

TABELA II. KOMPONENTE SA VEĆIM INTEZITETOM OTKAZA

Fider	Komponente
2	P2, TS5, TS6, TS7, TS8;
5	P5, TS17, TS18, TS19, TS20;
7	P7, TS25, TS27;
9	P9, TS33, TS35.

Oznake: P – prekidač, TS – oprema u TS 10kV/0.4kV (rastavljači u vodnim čelijama i rastavljač i osigurač u trafo čeliji).

Razmatrane su sledeće mogućnosti da se vrednost pokazatelja *SAIDI* smanji:

- 1) Izgradnja novih vodova V1, V2 i V3 (formiranje poluprstena), pri čemu je usvojeno da su vodovi V1, V2 i V3 nakon uključivanja idealno pouzdani.
- 2) Zamena stare komponente (prekidača, rastavljača, osigurača) novom.

Analizirane investicione opcije i usvojeni troškovi njihove realizacije su prikazani u Tabeli III.

TABELA III. INVESTICIONE OPCJE

Br.	Opcija	Troškovi realizacije [€]
1	izgradnja novog voda V1	90000
2	izgradnja novog voda V2	110000
3	izgradnja novog voda V3	100000
4	zamena prekidača	5000
5	zamena rastavljača	1000
6	zamena osigurača	250

Minimizacijapokazatelja *SAIDI* izvršena je za slučajeve kada je maksimalni iznos sredstava koja stoje na raspolaganju:

1. 200 000 €,
2. 140 000 €,
3. 25 000 €,
4. 9 000 €.

Pri proračunu pokazatelja *SAIDI* razlikujemo sledeća dva slučaja:

- a) kvar je na elementu koji pripada fideru koji nije deo poluprstena (postoji mogućnost napajanja samo sa jedne strane), i
- b) kvar na elementu koji pripada fideru koji je deo poluprstena (postoji mogućnost dvostranog napajanja).

U daljem tekstu će se izraz rastavljač na početku voda koristiti za rastavljač koji se nalazi sa strane napajanja voda.

1) Kvarovi na kablovskim vodovima

U slučaju kvara na kablovskom vodu koji pripada fideru koji nije deo poluprstena, razlikujemo potrošače ispred i iza mesta kvara. Kada dođe do kvara na određenom kablovskom vodovima prvo prekidač na početku tog fidera. On se isključuje i na taj način se prekida napajanje mesta kvara. Zatim se vrši lokalizacija mesta kvara. Rastavljač koji se nalazi na početku kabla na kome se desio kvar se otvara i na taj način se vrši sekcionizacija deonice koja je u kvaru. Nakon toga se uključuje prekidač koji se nalazi na početku fidera i obezbeđuje se napajanje potrošača koji se nalaze ispred mesta kvara. Potrošači koji se nalaze iza mesta kvara će ostati bez napajanja onoliko vremena koliko je potrebno da se otkloni kvar na tom kablovskom vodu.

U slučaju kvara na kablovskom vodu koji pripada fideru koji je deo poluprstena prvo se isključi prekidač tog fidera, a zatim se otvore rastavljači na početku i na kraju voda na kome se desio kvar. Na taj način je mesto kvara fizički odvojeno od ostatka mreže. Zatim se uključuje prekidač koji obezbeđuje napajanje za potrošače koji se nalaze ispred mesta kvara. Da bi se obezbedilo napajanje potrošača koji se nalaze iza mesta kvara potrebno je im omogućiti napajanje sa druge strane,

odnosno zatvoriti poluprsten. Zatvaranje poluprstena uključuje sledeće manipulacije: isključivanje prekidača na fideru koji čini drugi deo poluprstena, zatvaranje rastavljača koji je u normalnom pogonu bio otvoren i ponovno uključivanje prekidača.

2) Kvarovi na prekidačima

Kvar na prekidaču koji se nalazi na početku nekog fidera osetiće svi potrošači koji se napajaju preko zajedničke sabirnice. Potrebno je obezbediti bežnaponsko stanje sa obe strane prekidača ne bi li se pristupilo sanaciji kvara na tom elementu. Iz tog razloga, napojne sabirnice ne smeju biti pod naponom pa će na ovaj način doći do prekida napajanja svih potrošača koji se napajaju preko te sabirnice. Prekid napajanja kod potrošača kod kojih ne postoji mogućnost dvostranog napajanja će biti jednak vremenu koje je potrebno da se otkloni kvar na prekidaču. Kod potrošača kod kojih postoji mogućnost dvostranog napajanja prekid će trajati onoliko vremena koliko je potrebno za odgovarajuću manipulaciju rasklopnom opremom da bi se poluprsten zatvorio.

3) Kvarovi na rastavljačima TS 10/0.4 kV/kV

Kada je fider moguće napojiti samo sa jedne strane, u slučaju kvara na nekom od rastavljača u TS 10/0.4 kV/kV, nakon lokalizacije kvara i sekcionisanja dela koji je u kvaru, bez napajanja ostaje TS u kojoj se desio kvar i ostale TS 10/0.4 kV/kV koje se na posmatranom fideru nalaze iza TS u kojoj je kvar. Potrošači koji se napaju iz TS u kojoj se desio kvar i TS-a koje se nalaze iza ove TS ostaju bez napajanja onoliko dugo koliko je potrebno da se kvar sanira.

Ukoliko postoji mogućnost dvostranog napajanja fidera tada bez napajanja ostaje samo TS u kojoj je kvar. U odnosu na mogućnost samo jednostranog napajanja, TS-e koje se nalaze iza TS u kojoj je kvar, nakon lokalizacije kvara i sekcionisanja mesta kvara, biće napojene zatvaranjem poluprstena. Za potrošače koji se napaju iz TS u kojoj se desio kvar prekid napajanja je jednak vremenu potrebnom za sanaciju kvara.

4) Kvarovi na VN osiguraču u trafo ćeliji TS 10/0.4 kV/kV

U visokonaponskom razvodu TS 10/0,4 kV/kV transformatorska ćelija sadrži trolnu sklopku-rastavljač sa osiguračima [13], koja treba da ima mogućnost automatskog trolnog isključenja pri pregorevanju najmanje jednog visokoučinskog osigurača.

U slučaju pregorevanja ovog osigurača u TS 10/0,4 kV/kV bez napajanja ostaju potrošači koji se napajaju iz te TS. Prekid napajanja je jednak vremenu potrebnom da se osigurač zameni [14,15].

IV. REZULTATI SIMULACIJA

Smanjenje pokazatelja *SAIDI* u slučaju zamene stare komponente novom dato je na Sl. 4, dok smanjenje pokazatelja *SAIDI* u slučaju izgradnje novih vodova V1, V2 i V3 iznosi: 16.9332, 16.8536 i 16.9332h/godrespektivno. Grafički rezultati proračuna za različite vrednosti investicija su prikazani na Sl.5 i 6. Potrošenasredstva za realizaciju rešenja kao i smanjenje pokazatelja *SAIDI* usled implementacije takvih investicionih odluka dati su u Tabeli IV. Rezultati proračuna pokazuju da izgradnja novih vodova, odnosno formiranje poluprstena navise doprinosi smanjenju pokazatelja *SAIDI* i ove opcije će biti realizovane ukoliko ulaze u opseg finansijskih sredstva koja su predviđena za investiranje. Dobijeni rezultat je opravdan jer se formiranjem poluprstena ostvaruje mogućnost dvostranog napajanja, te se smanjuje

vreme prekida napajanja kod potrošača koji se nalaze na fideru koji je sada deo poluprstena. Pre izgradnje odgovarajućih vodova, u slučaju kvara na nekom elementu, svi potrošači iza mesta kvara su imali prekid napajanja koji je određen vremenom koje je potrebno za otklanjanje kvara na tom elementu. Sa formiranjem poluprstena, svi potrošači iza mesta kvara će imati prekid napajanja koji odgovara vremenu koje je potrebno za odgovarajuće manipulacije rasklopnom opremom i promenu topološke šeme mreže. Proračuni pokazuju da smanjenju pokazatelja *SAIDI* zatim najviše doprinosi zamena prekidača na početku fidera koji čine deo poluprstena. To se može objasniti činjenicom da je učestanost kvarova (*f*) prekidača veća od učestanosti kvarova rastavljača i VN osigurača. Istovremeno, kvar na prekidaču koji se nalazi na početku nekog fidera osetiće svi potrošači koji se napajaju preko zajedničke sabirnice. Odnosno, kvar na prekidaču će uticati na više potrošača nego kvar na rastavljaču ili VN osiguraču. Zamenom prekidača novim elementom se smanjuje verovatnoća otkaza i samim tim vreme prekida napajanja za sve potrošače koji su ugroženi kvarom. Nakon toga, algoritam daje prednost rastavljačima koji se nalaze na početku i kraju vodova u odnosu na istovremenu zamenu VN osigurača i

rastavljača u travo polju TS jer se postiže veće smanjenje pokazatelja *SAIDI* po jedinici uloženi sredstava.

V. ZAKLJUČAK

U radu je izvršen izbor unapred definisanih investicionih opcija koje najviše doprinose smanjenju pokazatelja *SAIDI* uz uvažavanje ograničenih finansijskih sredstva koja mogu biti investirana. Ovaj optimizacioni problem je razmatrao izgradnju novih vodova V1, V2 i V3, kojim bi bili formirani poluprstenovi, i zamenu starih komponenti novim, kao potencijalne investicione opcije koje doprinose smanjenju pokazatelja *SAIDI*. Izvršeni proračuni pokazuju da izgradnja novih vodova, odnosno formiranje poluprstena najviše doprinosi smanjenju pokazatelja *SAIDI* jer se formiranjem poluprstena ostvaruje mogućnost napajanja sa druge strane. Proračuni pokazuju da smanjenju pokazatelja *SAIDI* zatim najviše doprinosi zamena prekidača, pa rastavljača koji se nalaze u na početku i kraju vodova, i kao poslednja opcija istovremena zamena VN osigurača i rastavljača u trafo polju TS.

Rezultati koji su dobijeni pokazuju da se primenom predloženog optimizacionog algoritma može izvršiti izbor

TABELA IV. REZULTATI PRORAČUNA

Maksimalni iznos sredstava [€]	Realizovane opcije	Potrošenasredstva [€]	Vrednost pokazatelja <i>SAIDI</i> u baznom stanju[h/god]	Smanjenje pokazatelja <i>SAIDI</i> [h/god]	Nova vrednost pokazatelja <i>SAIDI</i> [h/god]
200 000	P5, P7, V1, V3	200 000	61.8328	34.3764	27.4564
140 000	P2, P5, P7, P9, TS5-R1, TS5-R2, TS5-R-O, TS6-R1, TS6-R2, TS6-R-O, TS7-R1, TS7-R2, TS7-R-O, TS17-R-O, TS18-R1, TS18-R2, TS18-R-O, TS19-R1, TS19-R2, TS19-R-O, TS20-R1, TS20-R2, TS25-R1, TS25-R2, TS27-R1, TS27-R2, TS33-R1, TS33-R2, TS33-R-O, TS35-R1, TS35-R2, TS35-R-O, V1	140 000	61.8328	17.9265	43.9063
25 000	P2, P5, P7, P9, TS5-R1, TS5-R2, TS6-R2, TS33-R1, TS33-R2	25 000	61.8328	0.9391	60.8937
9 000	P7, TS5-R1, TS5-R2, TS33-R1, TS33-R2	9 000	61.8328	0.2726	61.5602

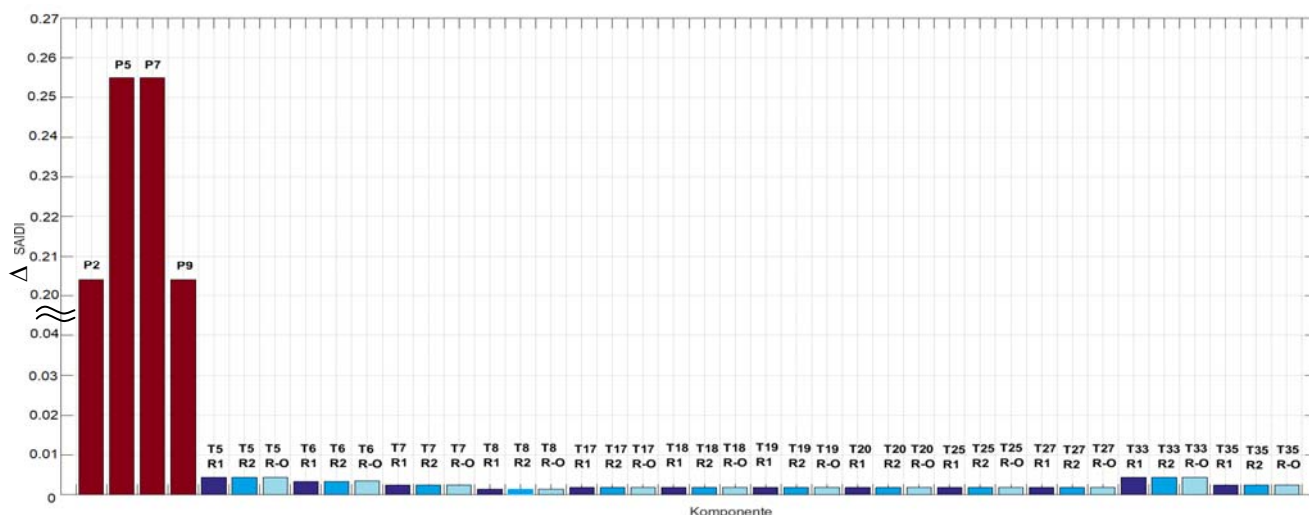
Oznake: P – prekidač,

TS-R1 – rastavljač u vodnoj ćeliji TS 10kV/0.4kV sa strane napajanja,

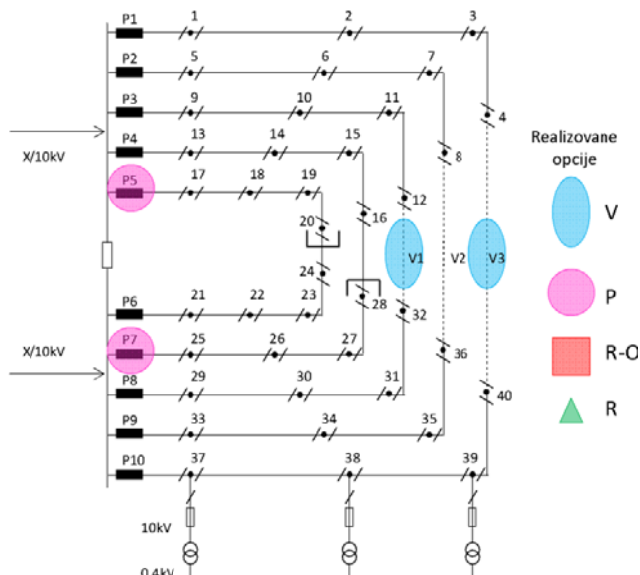
TS-R2 – rastavljač u vodnoj ćeliji TS 10kV/0.4kV koja nije sa strane napajanja,

TS-R-O – rastavljač i VN osigurač u trafo ćeliji TS 10kV/0.4kV (istovremeno se menjaju obe komponente),

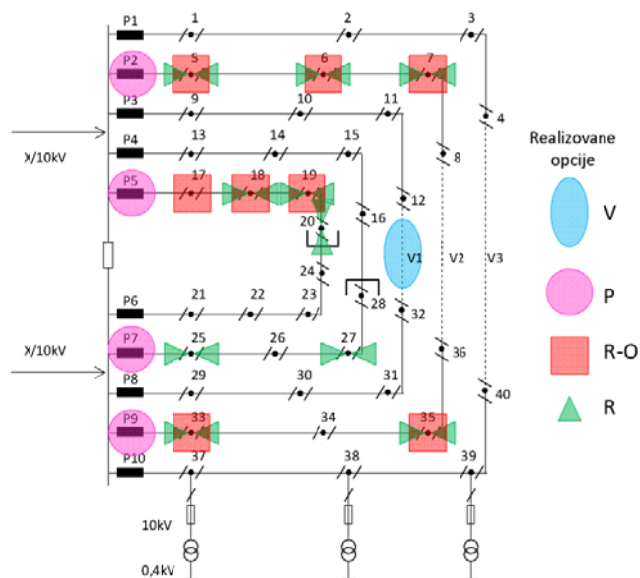
V – vod



Slika 4. Smanjenje pokazatelja *SAIDI* u slučaju zamene stare komponente novom



Slika 5. Realizovane opcije kada je maksimalni iznos sredstava 200 000€



Slika 6. Realizovane opcije kada je maksimalni iznos sredstava 140 000€ između predloženih investicionih opcija tako da se za predviđena finansijska ulaganja pokazatelj SAIDI smanji u najvećoj mogućoj meri. Proračun je izvršen za uprošćen test sistem koji odgovara tipičnoj topologiji distributivne mreže. Predstavljani optimizacioni algoritam bi mogao da se primeni i na mreže sa složenijom topologijom i mogao bi da razmatra i druge investicione opcije. Takođe, uz jednostavnu nadogradnju algoritma bilo bi moguće analizirati očekivane uštede usled sniženog broja i skraćenog trajanja prekida napajanja potrošača.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije koje je omogućilo izradu ovog rada u okviru Projekta III 42009 Inteligentne energetske mreže.

LITERATURA

- [1] IEEE guide for electric power distribution reliability indices, IEEE 1366-2003, 2004
- [2] Pravila o radu distributivnog sistema električne energije Operatora distributivnog sistema „EPS Distribucija“ d.o.o., Srbija, 2017.
- [3] Brown RE. Electric power distribution reliability. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2009.
- [4] Wu M., Ridzuan M., Djokic S. "Smart grid functionalities for improving reliability of rural electricity networks." Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2016), Mediterranean Conference on. IET, 2016.
- [5] Tanasković M., Bojković T., Perić D. Distribucija električne energije - rešeni primeri, 2.izdanje, Akademska misao, 2009.
- [6] Soudi F, Tomsovic K. "Towards optimized distribution protection design" In: Third international conference on power system planning and operations; 1997. p. 354–8.
- [7] Soudi F, Tomsovic K. "Optimized distribution protection using binary programming," IEEE Trans Power Delivery 1998;13:218–24.
- [8] Soudi F, Tomsovic K. "Optimal trade-offs in distribution protection design," IEEE Trans Power Delivery 2001;16:292–6.
- [9] Silva LGW, Pereira RAF, Mantovani JRS. "Allocation of protective devices in distribution circuits using nonlinear programming models and genetic algorithms," Electr Power Syst Res 2004;69:77–84.
- [10] Sohn JM, Nam SR, Park JK. "Value-based radial distribution system reliability optimization," IEEE Trans Power Syst 2006;21:941–7.
- [11] Royal Decree 1048/2013. Methodology for the calculation of the remuneration of the electric power distribution activity. Spanish Ministry of Industry, Energy and Tourism; 2013.
- [12] J. Nahman, V. Mijailović, "Pouzdanost sistema za distribuciju električne energije", Akademska misao, 2009.
- [13] Standard IEC 62271-105, "High-voltage switchgear and controlgear - Part 105: Alternating current switch-fuse combinations for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV", 2012.
- [14] Tehnička preporuka broj 1a – Distributivne transformatorske stanice 10/0,4 kV i 20/0,4 kV sa kablovskim izvodima snage 630 kVA, Elektrodistribucija Srbije, IV izdanje, 2000,
- [15] Tehnička preporuka broj 1b – Prigradska montažna transformatorska stanica 10(20)/0,4 kV snage 400 kVA, Elektrodistribucija Srbije, II izdanje, 2001.

ABSTRACT

The main task of the distribution system operator is planning and development of the network through continuous improvements and financial investments in the network, in order to provide a customer with reliable and economical energy supply of a necessary level of quality. This paper analyses the optimal investment options that most contribute to the reduction of the SAIDI reliability indicator that relates to system average supply interruption duration. Considered investment options include the construction of new lines, i.e. the formation of semi-circuits and the replacement of old components with new ones. Minimization of SAIDI indicators was made for different maximum amounts of investment funds available. The optimization algorithm is implemented in MATLAB and verified on a simplified test system that corresponds to the standard distribution network topology.

MINIMIZATION OF DISTRIBUTION NETWORK RELIABILITY INDICES CONSIDERING INVESTMENTS FUND CONSTRAINT

Jelena Stojković, Jelisaveta Krstivojević