

# IZBOR OPTIMALNE LOKACIJE DISTRIBUIRANOG IZVORA ENERGIJE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Jelena STOJKOVIĆ, Elektrotehnički fakultet – Univerzitet u Beogradu, Srbija  
Jelisaveta KRSTIVOJEVIĆ, Elektrotehnički fakultet – Univerzitet u Beogradu, Srbija

## KRATAK SADRŽAJ

U ovom radu će se analizirati izbor optimalne lokacije distribuiranog izvora energije sa aspekta povećanja pouzdanosti isporuke električne energije. Kriterijumska funkcija, na osnovu koje se vrši izbor optimalne lokacije distribuiranog izvora, baziraće se na minimizaciji pokazatelja *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*) koji predstavlja prosečno trajanje dugotrajnih prekida napajanja potrošača tokom analiziranog perioda. Osim toga, u kriterijumskoj funkciji će biti uzeta u obzir i minimizacija pokazatelja *AENS* (*Average Energy Not Supplied*), koji daje vrednost prosečne neisporučene električne energije u analiziranom području. Kriterijumska funkcija je korelisana sa neisporučenom električnom energijom koja predstavlja trošak za operatora distributivnog sistema. Cilj rada je da ukaže na optimalnu lokaciju, odnosno značaj prostorne koordinate pri planiranju distribuiranih izvora na nivou distributivne mreže. U radu će biti prikazan optimizacioni algoritam, a njegov rad će biti verifikovan na IEEE test sistemu distributivne mreže.

**Ključne reči:** pouzdanost, optimizacija, obnovljivi izvori energije, planiranje

## ABSTRACT

This paper will analyze the selection of the optimal location of the distributed energy source that is the best from the aspect of reliability improvement. Selection of optimal location of the distributed energy source is based on the criterion function which includes minimization of *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*), which refers to the average duration of long-term interruptions of consumer supply during the analyzed period. In addition, the criterion function will also take into account the minimization of *AENS* (*Average Energy Not Supplied*) indicators, which gives the value of the average energy not supplied by the system in the analyzed area. The criterion function is correlated with unsupplied electricity that represents the cost for the distribution system operator. The aim of the paper is to analyze the optimal location and to point out the importance of spatial coordinates in the planning of distributed sources at the distribution network level. The paper will include optimization algorithm which will be verified on the IEEE test system of the distribution network.

**Key words:** reliability, optimization, renewable energy sources, planning

Bulevar kralja Aleksandra 73, 11 000 Beograd, e-mail: [jstojkovic@etf.rs](mailto:jstojkovic@etf.rs), [j.krstivojevic@etf.rs](mailto:j.krstivojevic@etf.rs)

## UVOD

Klimatske promene zajedno sa ograničenim resursima fosilnih goriva su stavile obnovljive izvore energije u prvi plan kada se radi o proizvodnji električne energije. Distribuirani generatori (DG) koji se nalaze u blizini potrošačkih područja imaju pozitivan uticaj na smanjenje gubitaka aktivne snage, rasterećenje vodova i transformatora, kao i na poboljšanje naponskih prilika. Istovremeno postojanje proizvodnih jedinica koje se nalaze bliže potrošačima povećava pouzdanost isporuke električne energije jer potrošači sada imaju dodatni nivo nezavisnosti od distributivne mreže.

Priključenje distribuiranih izvora utiče i na kvalitet električne energije, relejnu zaštitu i pouzdanost distributivnih sistema. U distributivnom sistemu pouzdanost igra važnu ulogu, prema [1] uzrok 80% svih prekida napajanja potrošača su kvarovi u distributivnim mrežama. Uvođenje tržišnog aspekta u domen energetike primoralo je operatore distributivnih sistema da više pažnje posvete povećanju kvaliteta i pouzdanosti isporuke električne energije, koji predstavljaju zahteve korisnika. Povećanje pouzdanosti ne predstavlja samo zahtev potrošača već ima i finansijski doprinos za operatora zbog smanjenja neisporučene električne energije. Postoji više načina za povećanje pouzdanosti isporuke električne energije i osnovni zadatak operatora distributivnog sistema je da planira tehnološki opravdan razvoj mreže koja će imati bolje performanse.

Integracija distribuiranih izvora ima više pozitivnih efekata na tehničke performanse sistema. Pored ekološkog faktora koji je bio glavna motivacija za investiranje u distribuirane izvore, njihova integracija je donela mnoge benefite za EES. Jedna od prednosti jeste što se zahtevima potrošnje može odgovoriti na lokalnom nivou, čime se smanjuje potreba prenosa električne energije na velika rastojanja. Uticaj distribuiranih izvora na distributivnu mrežu i izbor njihove optimalne lokacije je razmatran u okviru više radova. U [2] je sagledan uticaj priključenja distribuiranih izvora na različite lokacije kroz stabilnost sistema, pouzdanost i relejnu zaštitu. U [3] optimalna lokacija za priključenje distribuiranog izvora je izabrana tako da se smanje gubici energije na godišnjem nivou. Dok je u [4] izbor izvršen na osnovu dva kriterijuma: poboljšanja pokazatelja pouzdanosti i smanjenja gubitaka aktivne snage u sistemu.

U ovom radu će biti izvršen izbor optimalne lokacije distribuiranog izvora primenom kriterijumske funkcije koja se bazira na minimizaciji pokazatelja *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*), koji predstavlja prosečno trajanje dugotrajnih prekida napajanja potrošača tokom analiziranog perioda, i pokazatelja *AENS* (*Average Energy Not Supplied*), koji daje vrednost prosečne neisporučene električne energije u analiziranom području. Razvijen je optimizacioni algoritam koji se bazira na analitičkom pristupu. Najpre su za početnu IEEE distributivnu test mrežu sa 33 čvora (*IEEE 33 bus test system*) [5] proračunate vrednosti pokazatelja *SAIDI* i *AENS*. Zatim je pretpostavljeno da distribuirani izvor može biti priključen u bilo kom čvoru test mreže i proračunate su nove vrednosti pokazatelja za svaki slučaj priključenja distribuiranog izvora pojedinačno. Optimalna lokacija je izabrana kao lokacija koja daje minimalnu vrednost objektivne funkcije.

## TEORIJSKA OSNOVA

### Pokazatelji pouzdanosti

U radu je izbor optimalne lokacije izvršen na osnovu sledećih pokazatelja pouzdanosti:

- *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index*) i
- *AENS* (*Average Energy Not Supplied*)

Pokazatelj *SAIDI* je jedan od najčešće korišćenih pokazatelja u analizama pouzdanosti distributivnih sistema. Ovaj pokazatelj tretira sve potrošače jednako bez obzira na njihovu potrošnju električne energije i angažovanu snagu [6]. *SAIDI* se definiše kao prosečno vreme trajanja dugoročnih prekida napajanja potrošača tokom analiziranog perioda:

$$SAIDI = \frac{\sum_i f_i \cdot r_i \cdot N_i}{N} \approx \frac{\sum_i \lambda_i \cdot r_i \cdot N_i}{N} \left[ \frac{\text{min}}{\text{god}} \right] \quad (1)$$

, gde su  $i$  – broj kvarova u toku godine,

$f_i$  – učestanost prekida  $i$ ,

$r_i$  – trajanje prekida  $i$ ,

$N_i$  – broj potrošača koji su isključeni prilikom prekida  $i$ ,

$N$  – ukupan broj potrošača na analiziranom području.

Prosečna neisporučena električna energija (*AENS*) jednaka je energiji koja nije isporučena potrošačima u analiziranom području zbog dugih prekida snabdevanja [6,7]:

$$AENS = \frac{\sum_i \lambda_i \cdot r_i \cdot P_i}{N} \left[ \frac{MWh}{god} \right] \quad (2)$$

gde je  $P_i$  snaga svih potrošača koji ostaju bez napajanja prilikom ispada  $i$  u sistemu.

### Kriterijumska funkcija

U radu je predložen algoritam kojim se može pronaći optimalna lokacija distribuiranog izvora energije na osnovu analize pouzdanosti, tako da pokazatelji  $SAIDI$  i  $AENS$  budu poboljšani.

Za početnu IEEE distributivnu test mrežu sa 33 čvora će biti proračunate vrednosti pokazatelja  $SAIDI$  i  $AENS$ . Zatim će distribuirani izvor biti priključen u čvorove, i pojedinačno za svaki slučaj priključenja će biti proračunata nova vrednost pokazatelja  $SAIDI_j$  i  $AENS_j$ . Izbor optimalne lokacije distribuiranog izvora biće izabran na osnovu minimalne dobijene vrednosti kriterijumske funkcije koja je definisana izrazom (3).

$$F_{obj} = \omega_1 \cdot \frac{SAIDI_i}{SAIDI} + \omega_2 \cdot \frac{AENS_i}{AENS} \quad (3)$$

gde su:  $\omega_1$  i  $\omega_2$  težinski koeficijenti,

$SAIDI_j$  – nova vrednost pokazatelja  $SAIDI$  nakon priključenja distribuiranog izvora u čvor  $j$ ,

$AENS_j$  – nova vrednost pokazatelja  $AENS$  nakon priključenja distribuiranog izvora u čvor  $j$ .

U algoritmu je usvojeno da su težinski koeficijenti jednaki jedinici ( $\omega_1=1$  i  $\omega_2=1$ ).

### Mikromreže

Mikromreže se mogu posmatrati kao aktivne distributivne mreže koje imaju savremene komunikacione, zaštitne i kontrolne sisteme koji omogućavaju ostrvski rad [8].

Koncept mikromreže postaje veoma zastupljen u tranziciji postojećeg elektroenergetskog sistema ka budućim pametnim mrežama. Ona predstavlja bitnu polugu u omogućavanju integracije OIE (obnovljivih izvora energije) koji postaju sve više zastupljeni u proizvodnji električne energije.

Mikromreža se može definisati kao niskonaponska distributivna mreža koja se sastoji od obnovljivih izvora energije, upravljivih proizvodnih kapaciteta, sistema skladištenja i upravljive potrošnje [9, 10]. Ona ima dva moguća režima rada: može biti povezana na glavnu mrežu ili raditi u izolovanom (ostrvskom) režimu. U režimu kada je povezana na glavnu mrežu njen osnovni cilj je ekonomičan rad baziran na prodaji, odnosno kupovini električne energije iz glavne mreže u zavisnosti od cene na tržištu. Kada radi u izolovanom režimu, ona upravlja distribuiranim resursima da bi osigurala stabilnost napona i frekvencije, pri čemu balans između proizvodnje i potrošnje treba da bude ispoštovan u svakom trenutku.

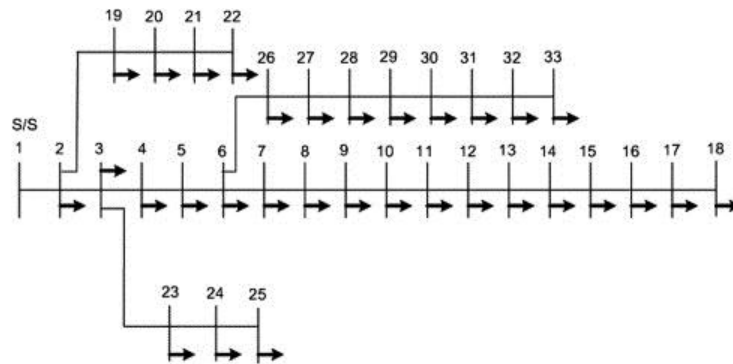
DG-i uobičajeno rade paralelno sa mrežom. Ostrvski režim rada nastupa kada dođe do prekida napajanja iz mreže iz bilo kog razloga, a DG (ili grupa DG-a) nastavi da napaja deo sistema koji je odvojen od mreže. Do prekida napajanja iz mreže može doći zbog reagovanja uređaja relejne zaštite, što za posledicu ima otvaranje pripadajućeg prekidača, kao i zbog reagovanja osigurača i dugih zaštitnih uređaja. Važeća tehnička regulativa u većini zemalja, uključujući i Republiku Srbiju [11], zabranjuje ostrvski rad [12].

## OPIS SCENARIJA I ALGORITAM

### Test sistem

Algoritam predložen u narednoj sekciji je testiran na IEEE 33 sabirničkom sistemu koji odgovara topologiji standardne distributivne mreže (Sl. 1). Konkretno, sistem se sastoji od četiri ogranka sa ukupno 32 potrošačka čvora. Nominalni napon mreže je 12.66 kV i bazna snaga je 10 MVA. Podaci o mreži i potrošačima su preuzeti iz rada [5]. U radu je uvojeno da se na početku i kraju svakog voda nalazi rastavljač, a analizirani su kvarovi na vodovima i

rastavaljačima. Prosečne vrednosti učestanosti i trajanja kvarova komponenti su prikazane u Tabeli I [13]. Pretpostavljeno je da ne postoje ograničenja u pogledu priključenja DG-a u bilo kom čvoru test mreže.



Slika 1. IEEE 33 test sistem

TABELA I. PROSEČNE VREDNOSTI UČESTANOSTI I TRAJANJA KVAROVA KOMONENTI

Komponenta	$f_i$ - Učestanost kvara [1/god.]	$r_i$ - Trajanje kvara [h]
rastavljač	0.0028	10.5
kablovski vod	0.0400*	30

\*- [1/km/god.]

Usvojeno je da vreme lokalizacije kvara i uključenja ispravnih deonica iznosi  $r_{kv}=1$  h. Ovo se odnosi i na vreme potrebno za manipulaciju rastavnom opremom za isključenje distribuiranog izvora i njegovo ponovno uključenje nakon lokalizacije i sekcionisanja mesta kvara.

Svaki vod na početku i kraju ima rastavljač. U slučaju pojave kvara na nekoj komponenti, nakon lokalizacije mesta kvara i sekcionisanja dela koji je u kvaru ponovo se uspostavlja napajanje za jedan deo potrošača. U posmatranoj mreži, potrošači koji se nalaze ispred mesta kvara će ostati bez napajanja onoliko vremena koliko je potrebno da se kvar lokalizuje, odnosno onoliko vremena koliko je potrebno za manipulaciju raskopnom opremom. Ukoliko je na neki ogranak priključen distribuirani izvor i ukoliko se dogodi kvar na delu mreže između čvora 1 (Sl. 1) i distribuiranog izvora, tada potrošači iza mesta kvara mogu biti napojeni iz distribuiranog izvora. Deo distributivne mreže iza mesta kvara može se posmatrati kao mikromreža koja bi u tom slučaju radila u izolovanom režimu.

Ovde se mogu uočiti dva slučaja: (1) instalisana snaga distribuiranog izvora je manja od ukupne potrošnje iza mesta kvara i (2) instalisana snaga distribuiranog izvora je veća od ukupne potrošnje iza mesta kvara. U prvom slučaju kada je ukupna potrošnja iza mesta kvara veća od instalisane snage, distribuirani izvor održava izlaznu snagu jednaku njegovoj instalisanoj snazi i napaja samo deo potrošnje koji je jednak toj snazi. Za taj deo potrošnje, prekid napajanja je jednak vremenu koje je potrebno za manipulaciju raskopnom opremom. Ostatak potrošača ostaje bez napajanja onoliko vremena koliko je potrebno da se sanira kvar na komponenti. U drugom slučaju je usvojeno da će distribuirani izvor prilagoditi svoju izlaznu snagu ne bi li uspostavio balans između potrošnje i proizvodnje, i tada će svi potrošači biti napojeni. U ovom slučaju je prekid napajanja za potrošače koji se nalaze iza mesta kvara jednak vremenu koje je potrebno za manipulaciju raskopnom opremom. U proračunu je usvojeno da je izlazna snaga distribuiranog izvora konstantna.

Deterministički proračuni pokazatelja pouzdanosti isporuke električne energije daju rezultate u specifičnom scenariju, pod određenim opterećenjem i proizvodnjom. Nesigurnosti koje postoje u potrošnji i proizvodnji DG-a se ne razmatraju pri determinističkim proračunima, a efikasno uključivanje neizvesnosti je od vitalnog značaja jer pokazatelji pouzdanosti predstavljaju bitne ulazne promenljive za donošenje odluka u sistemu. Probabilistički proračuni mogu pružiti više informacija o mogućim budućim stanjima u elektroenergetskom sistemu. Kod probabilističkih proračuna ulazne i izlazne promenljive sistema se posmatraju kao slučajne promenljive i na taj način je moguće obuhvatiti različita moguća stanja EES-a. U ovom radu je kao probabilistička metoda izabrana metoda bazirana na Monte Carlo simulacijama (MCS). Ova metoda predstavlja iterativan proces gde se u svakoj iteraciji biraju slučajne vrednosti za svaku od stohastičkih promenljivih sistema (potrošnja i proizvodnja iz DG-a) na osnovu usvojenih funkcija gustine raspodele. Zatim se vrši proračun pokazatelja SAIDI i AENS za svaki set ulaznih slučajnih

promenljivih. Rezultat svakog proračuna se pamti i proces se ponavlja. Postupak se ponavlja sve dok se ne zadovolji uslov za prekid algoritma odnosno maksimalni broj iteracija.

Za proračun pokazatelja pouzdanosti bilo je potrebno distributivni sistem predstaviti pomoću stabla jer se na taj način utvrđuju (takozvane) relacije "roditelj/dete" između određenih deonica. Ovaj način predstavljanja je koristan jer se na taj način mogu utvrditi potrošači koji se nalaze ispred i iza posmatranog mesta kvara.

## Algoritam

U nastavku je opisan svaki korak predloženog algoritma za određivanje optimalne pozicije distribuiranog izvora.

Korak 1: Učitavanje podataka o mreži, potrošačima i instalisanoj snazi distribuiranog izvora. Usvajanje prosečnih vrednosti učestanosti i trajanja kvarova komponenti, kao i vremena lokalizacije kvara i uključenja ispravnih deonica. Usvajanje parametara Monte Carlo simulacija - maksimalni broj iteracija ( $max\_iter=1000$ ).

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

Korak 3: Postavlja se brojač trenutne iteracije na vrednost 1 ( $tren\_iter=1$ )

Korak 4: Generisanje slučajnih promenljivih za potrošnju. Opterećenja su modelovana preko normalne raspodele  $N(\mu, \sigma^2)$  sa parametrima  $\mu=1$  i  $\sigma=0.07$  u relativnim jedinicama.

Korak 5: Pokretanje proračuna za proračun pokazatelja SAIDI i neisporučene električne energije za bazni slučaj kada ne postoji proizvodnja iz distribuiranog izvora.

Korak 6: Postavlja se distribuirani izvor na trenutnu lokaciju koja odgovara čvoru  $j$ . U prvom prolazu  $j=2$ .

Korak 7: Pokretanje proračuna za proračun pokazatelja SAIDI i neisporučene električne energije za slučaj kada se distribuirani izvor nalazi na lokaciji  $j$ .

Korak 8: Provera da li je distribuirani izvor 'stigao' do lokacije koja odgovara čvoru sa maksimalnim brojem indeksa. Ako je broj trenutne lokacije distribuiranog izvora manji od ukupnog broja čvorova, povećava se brojač trenutne lokacije za 1 ( $j=j+1$ ) i algoritam se vraća na Korak 7, u suprotnom nastavlja na Korak 9.

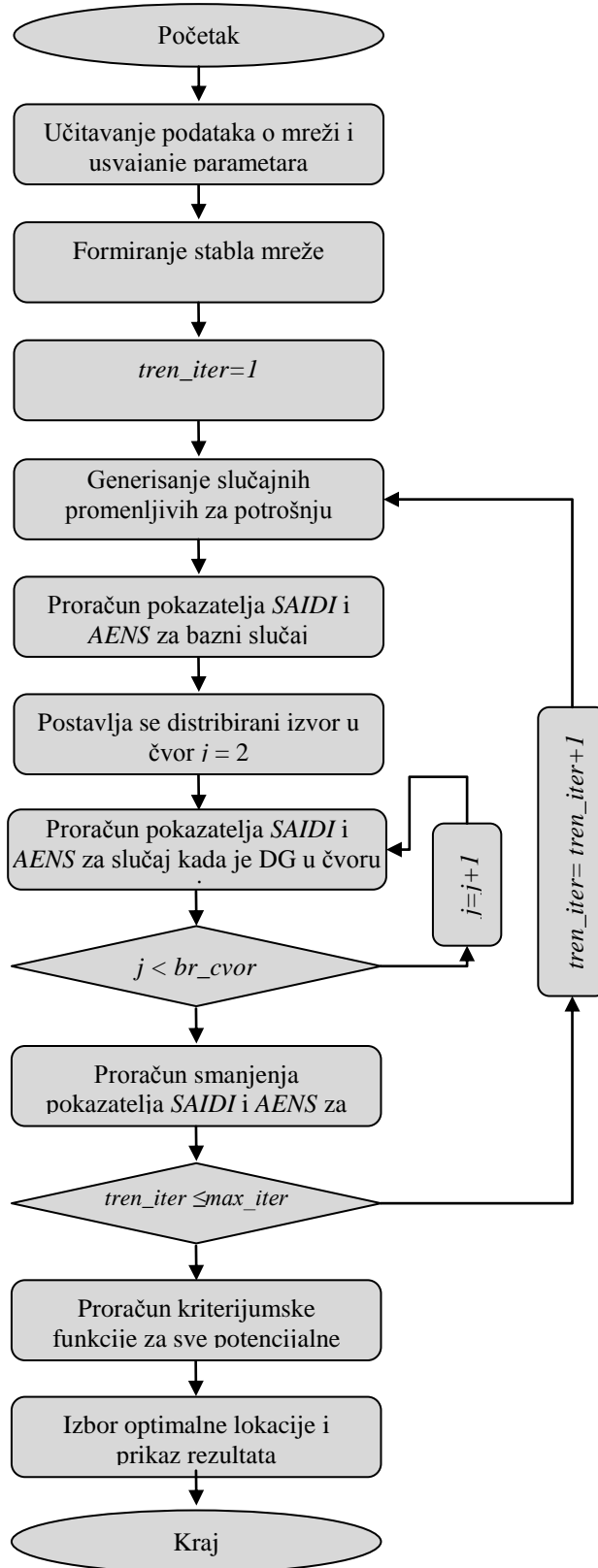
Korak 9: Proračun smanjenja pokazatelja SAIDI i neisporučene električne energije za sve moguće lokacije distribuiranog izvora.

Korak 10: Provera kriterijuma za izlaz iz algoritma. Ako je broj trenutne iteracije manji od  $max\_iter$ , povećava se brojač trenutne iteracije za 1 i ponavljaju se koraci od Korak 4 do Korak 10, u suprotnom se nastavlja na Korak 11.

Korak 11: Proračun srednje vrednosti smanjenja pokazatelja SAIDI i neisporučene električne energije za sve moguće lokacije distribuiranog izvora na osnovu rezultata pojedinačnih iteracija MCS. Proračun kriterijumske funkcije za sve potencijalne lokacije distribuiranog izvora.

Korak 12: Izbor optimalne lokacije distribuiranog izvora, prikaz rezultata i kraj algoritma.

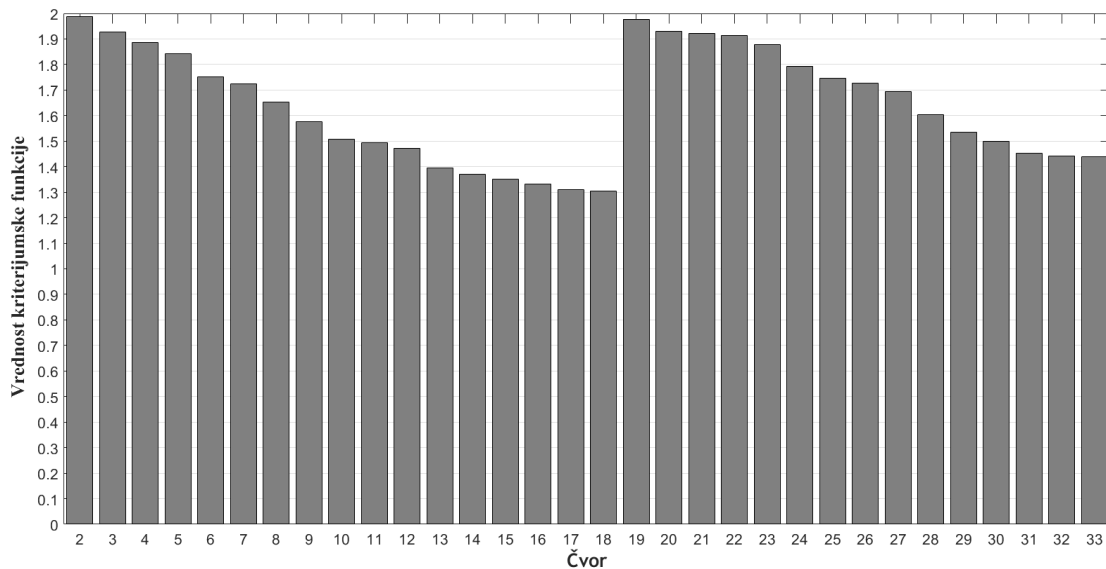
Na Sl. 2 je prikazan celokupan algoritam. Predloženi algoritam je implementiran u MATLAB-u i primenjen je na standardnu mrežu IEEE 33.



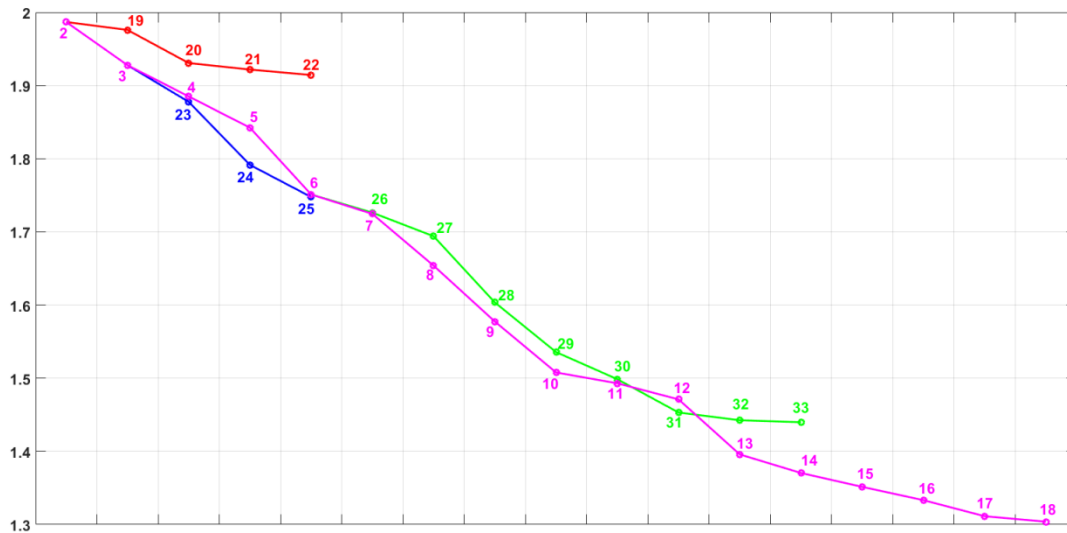
Slika 2. Algoritam za izbor optimalne lokacije distriburanog

## REZULTATI SIMULACIJA

Vrednost kriterijumske funkcije nakon priključenja DG u odgovarajućem čvoru je data je na Sl. 3. Rezultati proračuna pokazuju da je sa aspekta povećanja pouzdanosti isporuke električne energije optimalna lokacija za priključenje distribuiranog izvora na kraju jednog od ogranaka (najdužeg ogranaka u analiziranom primeru) u čvoru 18. Za tu lokaciju vrednost kriterijumske funkcije iznosi 1.3038. Istovremeno, vrednost kriterijumske funkcije opada kako se približavamo kraju ogranaka (Sl. 4), pa bi priključenje distribuiranog izvora u tim tačkama bilo povoljnije u pogledu smanjenja trajanja prekida napajanja i neisporučene električne energije. Dobijeni rezultat za optimalnu lokaciju za priključenje distribuiranog izvora ukazuje će u slučaju najvećeg broja kvarova distribuirani izvor biti iza mesta kvara, i na taj način će omogućiti napajanje za sve ili deo potrošača koji bi ostali bez napajanja električnom energijom. Kada je distribuirani izvor ispred mesta kvara ne postoji smanjenje pokazatelja pouzdanosti u odnosu na početni slučaj kada na mrežu nije priključen distribuirani izvor. Ovakva optimalna lokacija distribuiranog izvora je povoljna i sa aspekta poboljšanja naponskih prilika i smanjenja gubitaka.



Slika 3. Vrednost kriterijumske funkcije nakon priključenja distribuiranog izvora na odgovarajuću lokaciju



Slika 4. Vrednost kriterijumske funkcije za svaki ogranak

## ZAKLJUČAK

U radu je izvršen izbor optimalne lokacije distribuiranog izvora koja najviše doprinosi povećanju pouzdanosti isporuke električne energije. Ovaj problem je definisan kao optimizacioni problem čija kriterijumska funkcija uključuje pokazatelje pouzdanosti *SAIDI* i *AENS*. Proračun je izvršen za IEEE 33 sabirnički test sistem. Razmatrana potencijalna mesta za instaliranje DG-a su svi potrošački čvorovi. Izvršeni proračuni pokazuju da je optimalna lokacija distribuiranog izvora na kraju fidera jer se u tom slučaju distribuirani izvor nalazi iza mesta kvara za najveći procenat kvarova. Proračuni isto pokazuju da povećanju pouzdanosti isporuke električne energije najviše doprinose distribuirani izvori koji se nalaze pri kraju fidera i ogranka.

Rezultati dobijeni primenom predloženog algoritma mogu biti korisni operatoru distributivnog sistema pri planiranju razvoja mreže, jer mogu ukazati na kojim lokacijama će priključenje distribuiranih izvora u najvećoj meri smanjiti neisporučenu električnu energiju. Predstavljeni optimizacioni algoritam bi mogao da uključi i druge pokazatelje pouzdanosti kao i očekivane uštede usled skraćenog trajanja prekida napajanja potrošača. Ovakva nadogradnja algoritma bi bila korisna ukoliko se u potrošačkim čvorovima nalaze drugačiji tipovi potrošača kod kojih se razlikuje cena neisporučene električne energije. Takođe, uz jednostavno proširenje algoritma bilo bi moguće analizirati višekriterijumsku optimizaciju koja uključuje i doprinose usled poboljšanja naponskih prilika i smanjenja gubitaka aktivne snage.

## LITERATURA

1. Chowdhury, A. A., D. O. Koval, "Power Distribution System Reliability: Practical methods and applications", New Jersey: John Wiley and Son, 2009. ISBN 978-0470-29228-0.
2. Juan, Y., S. Ming, D. BO., "Research about Impact of DGs in Distribution Network", International Conference on Electricity Distribution, CIGRE 2008, China, Guanzhou: IEEE, 2008, pp. 1– 6. ISBN 978-1-4244-3373-5. DOI: 10.1109/CIGRE.2008.5211807.
3. Atwa Y. M., El-Saadany E. F., M. Salama M. A., Seethapathy R., "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 1, pp. 360–370, Feb. 2010.
4. Zhu D., Broadwater R. P., Tam K.-S., Seguin R., Aseirsson H., "Impact of DG placement on reliability and efficiency with time-varying loads," IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 1, pp. 419– 427, Feb. 2006.
5. Ghasemi, S., Moshtagh, J., 2013. "Radial distribution systems reconfiguration considering power losses cost and damage cost due to power supply interruption of consumers", "International Journal on Electrical Engineering and Informatics", 5(3), 297.
6. Nahman J., Mijailović V., "Pouzdanost sistema za distribuciju električne energije", Akademska misao, 2009.
7. Faulin J., Juan A. A., Martorell S., Ramírez-Márquez J. E., "Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems", Springer 2010, ISSN 1614-7839, ISBN 978-1-84882-212-2.
8. Bae I., Kim J., "Reliability Evaluation of Customers in a Microgrid", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 23, no. 3, Aug. 2008, pp. 1416-1422.
9. Borges C. L.T., Cantarino E., "Microgrids Reliability Evaluation with Renewable Distributed Generation and Storage Systems", 18th IFAC World Congress, Milano, Italy, 2011, pp. 11696-11700.
10. Zhou P., et al., "Reliability evaluation of grid-connected micro-grid considering demand response", Probabilistic International Conference on Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 2016, Beijing, China, pp. 1-5.
11. "Pravila o radu distributivnog sistema", Operator distributivnog sistema "EPS distribucija" d.o.o. Beograd, 2017.
12. Četenović D., Mijailović V., "Uticaj distribuiranih generatora na rad relejne zaštite u srednjenaponskoj distributivnoj mreži", <http://www.ftn.kg.ac.rs/download/SIR/SIR%20Dragan%20Cetenovic.pdf>
13. Tanasković M., Bojković T., Perić D., "Distribucija električne energije - rešeni primeri", 2. izdanje, Akademska misao, 2009.