

DEMONSTRACIJA UPOTREBE LOKATORA KVAROVA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Predrag Mršić, Đorđe Lekić, Čedomir Zeljković, *Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci*

Sadržaj – Većina subjekata i pravnih lica koja kupuju električnu energiju zahtijevaju da znaju koliko pouzdano će biti napajanje električnom energijom i traže da se zadovolji određeni nivo pouzdanosti. Najveći broj kvarova u elektroenergetskom sistemu, koji uzrokuju prekid napajanja krajnjih potrošača, dešava se u distributivnoj mreži. U radu je razmatran način za povećanje pouzdanosti napajanja krajnjih potrošača ugradnjom lokatora kvarova u distributivnu mrežu. Analiza pouzdanosti napajanja izvršena je na primjeru realne 20 kV distributivne nadzemne mreže.

1. UVOD

Osnovni zadatak elektroenergetskog sistema je da pouzdano, sigurno i ekonomično napaja potrošače električnom energijom [1]. U elektroenergetskom sistemu koji se danas koristi nisu se dešavale veće promjene više od 100 godina. Međutim, rast populacije i povećanje potreba za električnom energijom, globalne klimatske promjene, smanjenje resursa za konvencionalne elektrane i pojava obnovljivih izvora električne energije, te razvoj naprednih komunikacionih tehnologija dovodi do promjena u elektroenergetskom sistemu i pojave inteligentnih elektroenergetskih mreža (*Smart Grids*) [2].

Inteligentne mreže su elektroenergetske mreže koje koriste digitalne i ostale napredne tehnike za nadzor i upravljanje elektroenergetskim sistemom kako bi se smanjili troškovi prenosa električne energije, a povećala pouzdanost i sigurnost napajanja krajnjih potrošača [3] -[5].

Potrošači električne energije, zbog svog položaja u elektroenergetskom sistemu, trpe prekide napajanja uslijed kvarova u bilo kom dijelu elektroenergetskog sistema. Zbog različite konfiguracije prenosne i distributivne mreže, ispostavlja se da se 94% kvarova, koji uzrokuju prekid napajanja krajnjih potrošača dešava u distributivnoj mreži [6].

Postoje dva načina da se poveća pouzdanost napajanja krajnjih korisnika električnom energijom. Jedan način je da se smanji broj prekida napajanja potrošača u toku godine, što je direktno vezano sa novim investicijama i mijenjanjem konfiguracije same mreže. Drugi način je da se smanji vrijeme trajanja prekida napajanja. Jedan od mehanizama za smanjenje vremena trajanja prekida napajanja je ugradnja lokatora kvarova [7].

Lokatori kvarova treba da daju informaciju operateru da li je struja kvara protekla vodom na kome se nalazi lokator ili ne. Dobijanjem ove informacije smanjuje se vrijeme izolacije mesta kvara, a sa tim i vrijeme prekida napajanja potrošača koji nisu ugroženi kvarom. Lokatori kvarova mogu biti dizajnirani da informaciju o struci kvara prikazuju lokalno ili da je šalju operateru u SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) sistem [7].

U ovom radu će biti demonstrirana upotreba lokatora kvarova na nadzemnoj distributivnoj 20 kV mreži preko

pokazatelja pouzdanosti: srednjeg broja prekida napajanja potrošača u toku godine (SAIFI), kumulativnog vremena trajanja prekida napajanja jednog potrošača (SAIDI), prosječnog vremena trajanja jednog prekida (CAIDI) i neisporučene električne energije (ENS) [1]. Realni podaci o mreži preuzeti su od kompanije ZP „Elektrokraina“ a.d. Banja Luka.

2. METODOLOGIJA

Distributivne mreže obično imaju jedan prekidač i više rastavljača. Ugradnjom lokatora kvarova ne može se uticati na broj prekida napajanja krajnjih potrošača, nego samo na trajanje prekida. Vrijeme trajanja prekida se može izračunati kao zbir vremena potrebnog da se otkrije kvar i vremena potrebnog da se popravi kvar:

$$T = T_{tk} + T_p. \quad (1)$$

Na vrijeme popravke kvara lokator kvara ne može uticati, ali utiče na vrijeme traženja kvara. Na primjer, neka je prosječno vrijeme traženja kvara 3 h, za mrežu prikazanu na slici 1. Ugradnjom lokatora kvara vrijeme traženja kvara se smanjuje proporcionalno dužini vodova ispred i iza lokatora:

$$T_{tk1} = \frac{7}{7+8} \cdot 3 = 1,4 \text{ h}, \quad (2)$$

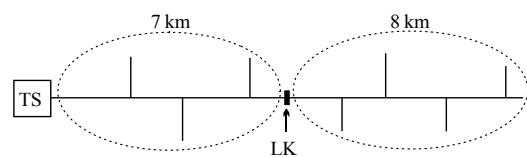
$$T_{tk2} = \frac{8}{7+8} \cdot 3 = 1,6 \text{ h}. \quad (3)$$

Generalno, ako se u distributivnu mrežu ugradi n lokatora kvarova, mreža je podijeljena na (n+1) dijelova i vrijeme traženja kvara u svakom od dijelova je [8], [9]:

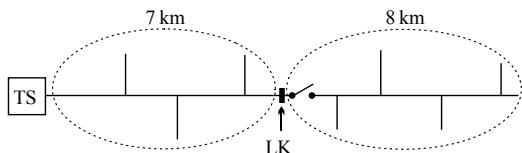
$$T_{tk(i)} = T_{tk} \frac{\frac{L_i}{n+1}}{\sum_{j=1}^{n+1} L_j}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, (n+1), \quad (4)$$

gdje je L_i dužina vodova između dva ili više lokatora kvarova.

U slučaju da je lokator kvara ugrađen ispred rastavljača, kao na slici 2, onda vrijeme traženja kvara zavisi od lokacije potrošača koji se posmatra. Za potrošače koji su priključeni na distributivnu mrežu između transformatorske stanice i lokatora kvara, vrijeme traženja kvara za kvarove koji se dogode iza lokatora kvara jednak je nuli, jer se odmah po nastanku kvara zna da je kvar na vodu iza rastavljača. Ovdje se smatra da su rastavljači 100% pouzdani.



Sl. 1. Distributivna mreža sa jednim lokatorom kvara



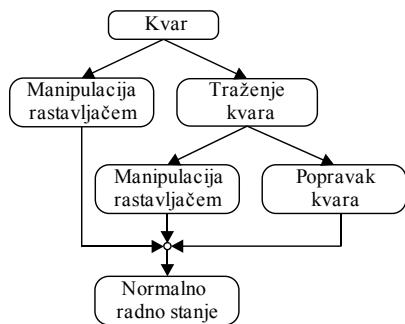
Sl. 2. Distributivna mreža sa rastavljačem i lokatorom kvara

Za potrošače koji su priključeni na distributivnu mrežu iza rastavljača, vrijeme traženja kvara računa se po formuli (3) za primjer sa slike 2, odnosno u opštem slučaju po formuli (4). Vrijeme popravke kvara, takođe, zavisi od lokacije potrošača u odnosu na lokator kvara. Ako je potrošač priključen na distributivnu mrežu prije rastavljača i ako se kvar desi iza rastavljača, vrijeme popravke kvara je vrijeme koje je potrebno osoblju da ode do rastavljača i izvrši manipulaciju. Naravno, ovdje se smatra da postoji lokator kvara koji će dati informaciju da li je kvar ispred ili iza rastavljača. U opštem slučaju, vrijeme popravke kvara može biti jednak vremenu potrebnom da se izvrši manipulacija rastavljačem ili stvarnom vremenu potrebnom da ekipa popravi kvar.

Na osnovu prethodnih primjera i teorije, može se napraviti set akcija koje treba izvršiti nakon pojave kvara kako bi se u najkraćem roku uspostavilo ponovno napajanje svih potrošača u nekoj mreži:

- 1) Ako u mreži postoje lokatori kvarova potrebno je izvršiti manipulacije rastavljačima kako bi se izolovala zona, dio mreže omeđen lokatorima kvarova, na kojoj je nastao kvar i vratilo napajanje ostatku mreže, ako je to moguće.
 - 2) Zatim, potrebno je locirati kvar i izvršiti manipulaciju rastavljačima kako bi se ponovo uspostavilo napajanje dijela potrošača, u zoni koja je prethodno izolovana, koji nisu ugroženi kvarom.
 - 3) I na kraju, nakon popravke kvara, uspostaviti napajanje ostatku potrošača u mreži.

Algoritam po kome se određuje vrijeme trajanja prekida napajanja, bilo kog potrošača, za bilo koji kvar u mreži prikazan je na slici 3. Vrijeme prekida napajanja za bilo koji potrošač se dobija sabiranjem vremena odgovarajućih stanja kroz koje je potrebno proći da bi se došlo do normalnog radnog stanja.



Sl. 3. Algoritam za određivanje trajanja prekida napajanja bilo kog potrošača u mreži

3. REZULTATI PRORAČUNA

Demonstracija upotrebe lokatora kvarova u cilju povećanja pouzdanosti napajanja potrošača sproveće se na primjeru jedne distributivne nadzemne 20 kV mreže. Jednopolna šema, sa dužinama vodova i oznakama potrošača prikazana je u dodatku ovog rada. Prosječno vrijeme za

nalaženje kvara, manipulaciju rastavljačem i popravku kvara su 13 h, 0,5 h i 12 h, respektivno. Učestanost otkaza je $0,2\text{ }1/(\text{km}\cdot\text{god})$ i smatra se da je ista za sve vodove. Podaci o srednjim snagama opterećenja i broju priključenih potrošača dati su u tabeli 1. Uticaj lokatora kvarova na pouzdanost ovog sistema izvršiće se kroz dva proračuna.

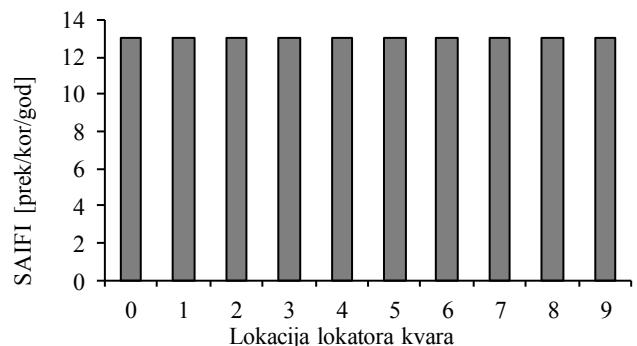
Tabela 1 - Prosječne snage i broj potrošača na svakom od priklučaka

Prikљуčak	Broj potrošača	Srednja snaga
P_1, P_{13}	269	112,24 kW
$P_5 - P_7$	171	71,27 kW
P_8, P_{23}	106	44,54 kW
$P_2 - P_4, P_9 - P_{12}, P_{14} - P_{22},$ $P_{24} - P_{29}, P_{31} - P_{34}, P_{36},$ $P_{37}, P_{39} - P_{41}, P_{43}, P_{45}, P_{47},$ $P_{50}, P_{53} - P_{56}, P_{58}, P_{60}, P_{61}$	68	28,51 kW
$P_{27}, P_{30}, P_{35}, P_{38}, P_{42}, P_{44},$ $P_{46}, P_{48}, P_{49}, P_{57}, P_{59}$	42	17,82 kW
P_{51}, P_{52}	21	8,91 kW

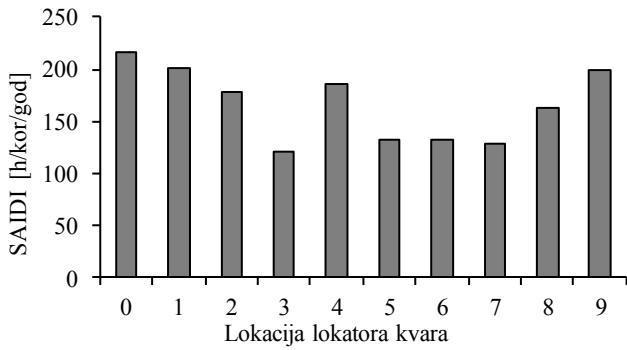
3.1. Proračun A

U ovom proračunu analizira se uticaj jednog lokatora kvara postavljenog na nekoliko lokacija u mreži. Zatim, uticaj više lokatora kvarova postavljenih na prethodno označena mjesta u mreži. Pri tome se ne vrši optimizacija izbora mjesta postavljanja lokatora kvara. Lokacija lokatora kvara označena sa nulom na jednopolnoj šemi ne postoji, ona predstavlja stanje u mreži bez lokatora kvarova.

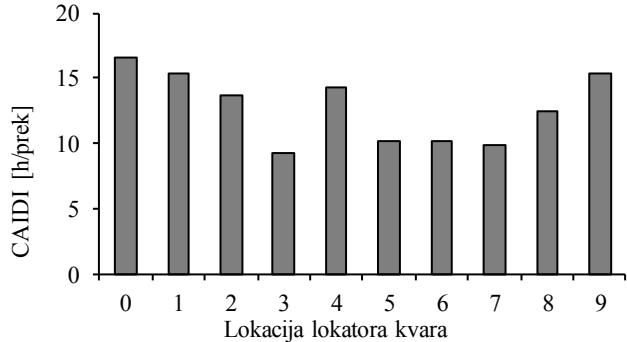
Na slici 4 prikazan je srednji broj prekida napajanja potrošača za analiziranu mrežu. On ne zavisi od broja ni mesta postavljanja lokatora kvara jer u mreži postoji samo jedan prekidač koji isključuje napajanje svim potrošačima u slučaju kvara. Međutim, prosječno kumulativno vrijeme trajanja prekida napajanja jednog potrošača u toku godine zavisi od mjesta ugradnje lokatora kvara. Za mrežu analiziranu u ovom radu, izabrano je devet mogućih lokacija za postavljanje lokatora kvarova na osnovu čega je dobijena slika 5. Ispostavlja se da je lokacija 3 optimalno mjesto za postavljanje jednog lokatora kvara u mrežu, čime se SAIDI smanjuje sa 216 h/god na približno 121 h/god ili za 48,93 %. Prosječno vrijeme trajanja jednog prekida prikazano je na slici 6. Takođe, i ono zavisi od mjesta ugradnje lokatora kvara. Za optimalnu lokaciju ugradnje lokatora kvara ono se smanjuje sa 16,60 h na 9,32 h ili za 43,85 %.



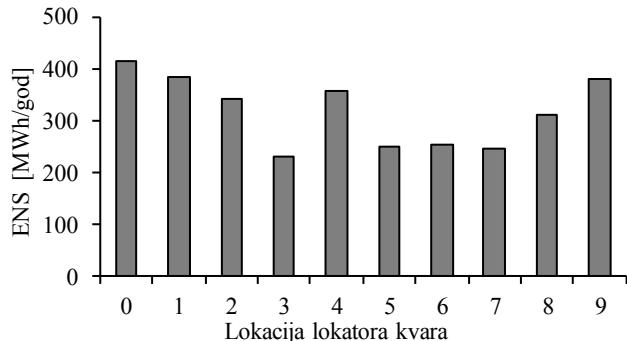
Sl. 4. SAIFI za proračun A sa jednim lokatorom kvara



Sl. 5. SAIDI za proračun A sa jednim lokatorom kvara



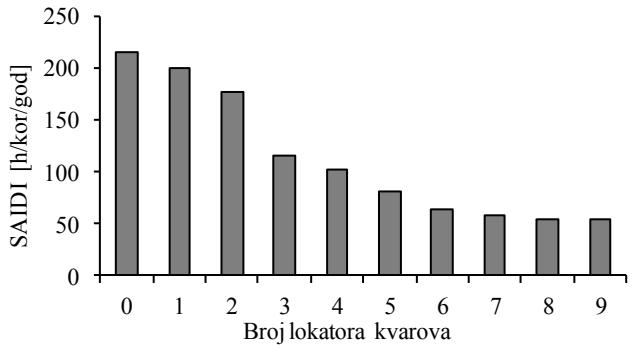
Sl. 6. CAIDI za proračun A sa jednim lokatorom kvara



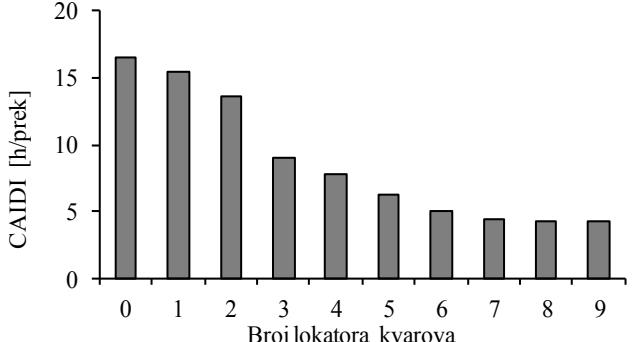
Sl. 7. ENS za proračun A sa jednim lokatorom kvara

Prekid napajanja dovodi do smanjenja isporučene električne energije potrošačima i finansijskih gubitaka distributivnih preduzeća. Neisporučena električna energija je direktno vezana sa prosječnim vremenom trajanja prekida napajanja potrošača te se i ona mijenja zavisno od mesta ugradnje lokatora kvara. Na slici 7 je prikazana promjena neisporučene električne energije pri promjeni mesta ugradnje lokatora kvara. Ugradnjom lokatora kvara na optimalno mjesto, lokacija 3, ENS se smanjuje sa 412 MWh/god na 230 MWh/god ili za 44,17 %.

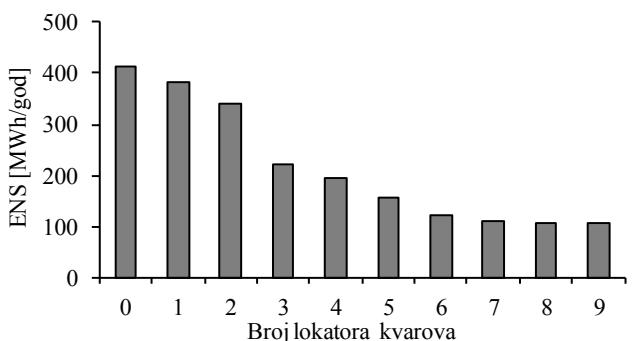
Ugradnjom većeg broja lokatora kvarova postiže se, naravno, bolji efekat u pogledu povećanja pouzdanosti napajanja. Slika 8 prikazuje smanjenje prosječnog vremena trajanja prekida napajanja jednog potrošača. Takođe, smanjenjem ovog vremena smanjuje se i CAIDI i ENS, koji su prikazani na slikama 9 i 10, respektivno. Sa slika 8-10 može se zaključiti da postoji optimalan broj lokatora kvarova koji se mogu ugraditi u neku mrežu da bi se povećala pouzdanost napajanja. Naime, ENS se smanjuje sa povećanjem broja lokatora kvarova, ali to smanjenje nije konstantno, povećanjem broja lokatora kvarova preko određene granice ENS se neznatno smanjuje.



Sl. 8. SAIDI za proračun A sa više lokatora kvarova



Sl. 9. CAIDI za proračun A sa više lokatora kvarova

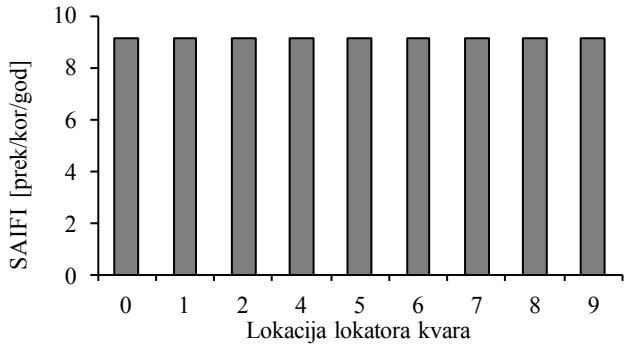


Sl. 10. ENS za proračun A sa više lokatora kvarova

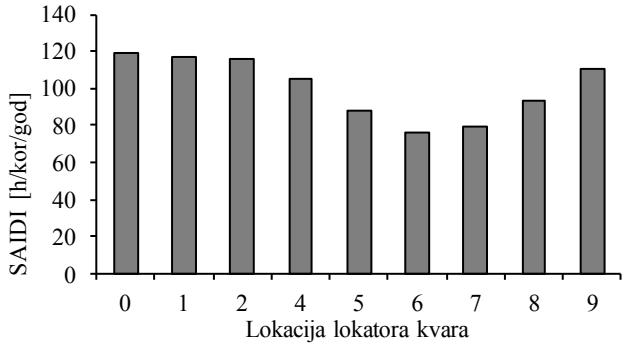
3.2. Proračun B

Proračun B analizira uticaj lokatora kvarova na pouzdanost napajanja potrošača kada se u mreži nalazi riklozer. U prethodnoj analizi je dokazano da je lokacija 3 optimalno mjesto za postavljanje lokatora kvara. Međutim, Elektrodistribucija je na to mjesto ugradila riklozera koji će donijeti još neke prednosti u odnosu na lokator kvara. Zbog postojanja riklozera, tj. još jednog prekidača sa odgovarajućom automatikom smanjuje se SAIFI za posmatranu mrežu, jer potrošači koji su priključeni između transformatorske stanice i riklozera, pri kvarovima koji se dogode iza riklozera, ne gube napajanje. Na slika 11 prikazan je SAIFI za mrežu koja sadrži riklozer i jedan lokator kvara postavljen na različita mjesta u mreži. Dakle, riklozer je smanjio SAIFI sa 13,2 na 9,14 prekida napajanja po potrošaču u toku godine.

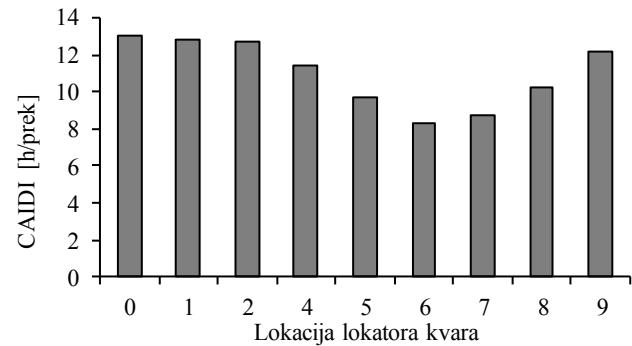
Ugradnjom lokatora kvarova, pored riklozera, postiže se smanjenje kumulativnog vremena trajanja prekida napajanja jednog potrošača u toku godine. Međutim, slika 12 pokazuje da neka mjesta nisu pogodna za postavljanje lokatora jer neznatno utiču na povećanje pouzdanosti.



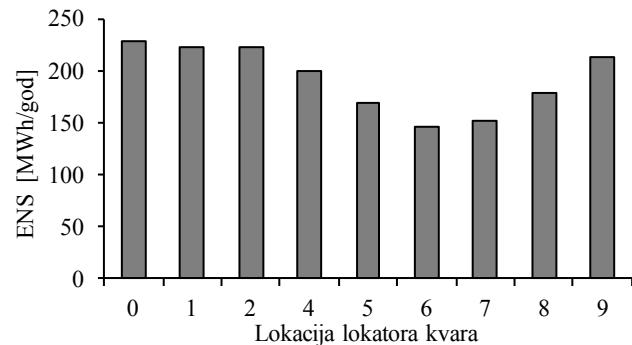
Sl. 11. SAIFI za proračun B sa jednim lokatorom kvara



Sl. 12. SAIDI za proračun B sa jednim lokatorom kvara



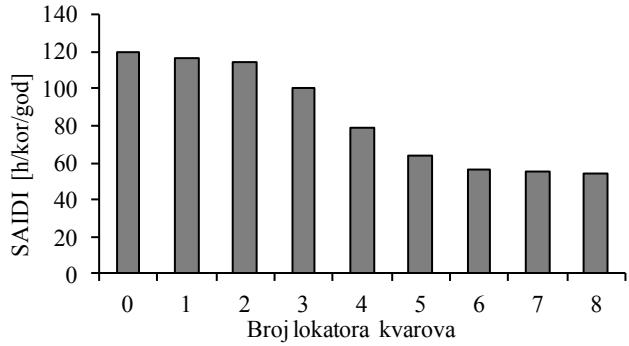
Sl. 13. CAIDI za proračun B sa jednim lokatorom kvara



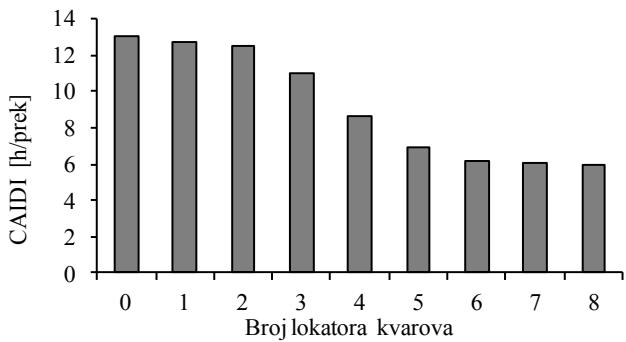
Sl. 14. ENS za proračun B sa jednim lokatorom kvara

Dakle, optimalno mjesto za postavljanje lokatora kvara u ovom slučaju je lokacija 6 i tada se SAIDI smanjuje sa 120 h/god na 76 h/god ili za 36,7 %. Postavljanje lokatora kvara uticalo bi i na CAIDI, slika 13, koji bi se smanjio sa 13 h na 8,4 h ili 35,38 %. Smanjenje neisporučene električne energije ugradnjom lokatora kvarova prikazano je na slici 14. Za optimalno postavljen lokator kvara ostvaruje se smanjenje ENS od 83 MWh/god ili za 36,4 %.

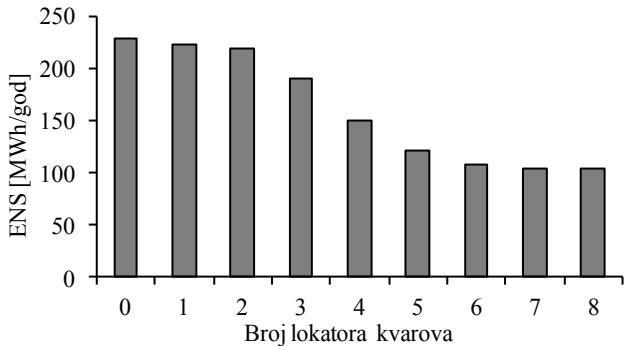
Postavljanjem više lokatora kvarova u mrežu, pored riklozera, postiže se bolja pouzdanost napajanja, ali treba



Sl. 15. SAIDI za proračun B sa više lokatora kvarova



Sl. 16. CAIDI za proračun B sa više lokatora kvarova



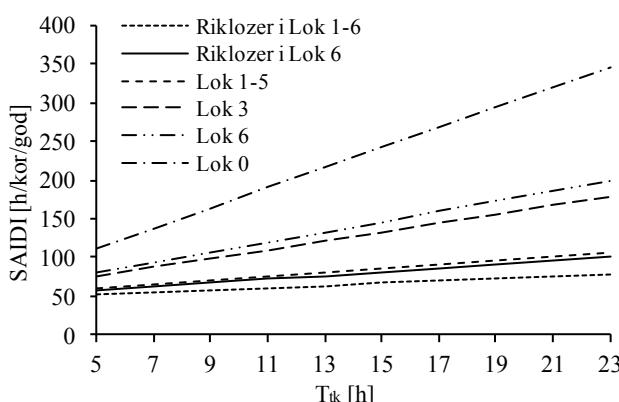
Sl. 17. ENS za proračun B sa više lokatora kvarova

obratiti pažnju na mesta i broj. Sa slike 15 i 16 vidi se da postavljanje lokatora kvarova na određene lokacije dovodi do većeg pada kumulativnog vremena trajanja prekida napajanja i prosječnog vremena trajanja jednog prekida, respektivno. Neisporučena električna energija se takođe, smanjuje sa povećanjem broja lokatora u mreži. Sa slike 17 se može vidjeti da postoji određena granica kada je neznatno smanjenje ENS, što opet dovodi do zaključka da postoji optimalan broj lokatora kvarova koji se mogu ugraditi u mrežu da bi se povećala pouzdanost napajanja.

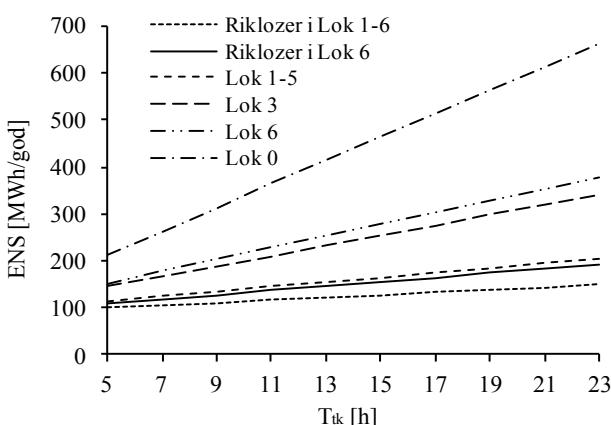
Na osnovu prethodne analize mogu se sumirati rezultati pouzdanosti u posmatranoj distributivnoj mreži. Prije ugradnje riklozera pouzdanost napajanja je iznosila 97,53 %. Ugradnjom riklozera pouzdanost je povećana na 98,637 % i ostvaren je prihod od 19200 KM/god na osnovu smanjenja ENS. Da je umjesto riklozera ugrađen lokator kvara pouzdanost bi se povećala na 98,615 % i ostvario prihod od 18734 KM/god. Smatra se da je vjerovatnoča pojave kvara ista tokom cijele godine, pa je za proračun prihoda korištena prosječna cijena zimske i ljetne tarife za domaćinstva sa jednotarifnim brojilom [10]. Ugradnjom lokatora kvara, pored riklozera, pouzdanost se povećava na 99,13 % i ostvari se dodatni prihod od 8607 KM/god.

3.3. Osjetljivost parametara pouzdanosti na vrijeme traženja kvara

U ovom radu analiziran je uticaj lokatora kvara na pouzdanost napajanja potrošača. Jedini parametar na koji lokatori direktno utiču je vrijeme traženja kvara. Kako to vrijeme nije eksplisitno poznato, postavlja se pitanje šta se dešava sa rezultatima analize ako to vrijeme odstupa od usvojenog. Naravno, odstupanje vremena traženja kvara od usvojenog dovodi do greške u parametrima pouzdanosti. Međutim, sa slike 18 vidi se da je ta veza linearna i da se koeficijent pravca te funkcije smanjuje sa povećanjem broja lokatora kvarova. Dakle, vrijeme traženja kvara više utiče na tačnost pokazatelja pouzdanosti kada u mreži nema lokatora kvarova, nego kada oni postoje. U svakom slučaju, greška pri izboru ovog vremena itekako utiče na neisporučenu električnu energiju, slika 19, i finansijsku dobit od povećanja pouzdanosti napajanja potrošača. Ovo treba imati u vidu pri proračunu isplativosti ugradnje većeg broja lokatora kvarova u mrežu.



Sl. 18. SAIDI u funkciju prosječnog vremena nalaženja kvara za mrežu sa i bez riklozera i lokatora kvara



Sl. 19. ENS u funkciju prosječnog vremena nalaženja kvara za mrežu sa i bez riklozera i lokatora kvara

4. ZAKLJUČAK

U radu je opisana procedura za proračun vremena trajanja prekida za bilo koji potrošač u mreži koja sadrži lokatore kvarova. Demonstrirano je koliko se može povećati pouzdanost napajanja krajnjih potrošača ugradnjom lokatora kvarova. U ovom primjeru, pokazano je da se neisporučena električna energija može smanjiti i preko 40 %, tj. za nekoliko stotina MWh/god ugradnjom samo jednog lokatora kvara. Takođe, pokazano je da postoji optimalan broj

lokatora kvarova za određenu mrežu. U narednim radovima treba obratiti pažnju na algoritam za određivanje optimalnog broja i lokacija za postavljanje lokatora kvarova. Takođe, bilo bi dobro sprovesti detaljniju ekonomsku analizu isplativosti ugradnje riklozera i/ili lokatora kvarova u distributivnu mrežu.

5. ZAHVALNICA

Autori zahvaljuju preduzeću *Elektrokraina a.d. Banja Luka* na pruženoj pomoći pri izradi ovog rada. Rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke i tehnologije Republike Srpske u okviru projekta INGRID.

6. LITERATURA

- [1] R. Billinton, R. Allan, „Reliability Evaluation of Power Systems,” Plenum Press, New York, USA, 2006.
- [2] Ruth Lin, „The Smart Grid: A World of Emerging Technologies,” Wharton School, University of Pennsylvania, July 2011.
- [3] International Energy Agency, „Technology Roadmap, Smart Grids,” Smart Grids, 2011.
- [4] V.C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati and G. P. Hancke, „Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529-539, November 2011.
- [5] V. C. Gungor, B. Lu, and G. P. Hancke, “Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid,” *IEEE Transactions on Industrial Electronic*, vol. 57, no. 10, pp. 3557–3564, October 2010.
- [6] Edison Electric Institute, „Underground vs. Overhead Distribution Wires: Issues to Consider,” May 2000.
- [7] J. Northcote-Green, R. Wilson, „Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems,” Vol. 28. CRC Press, 2006.
- [8] H. Falaghi, M.R. Haghifam, M.R. Osouali Tabrizi, „Fault Indicators Effects on Distribution Reliability Indices,” *Electricity Distribution, 2005. CIRED 2005. 18th International Conference and Exhibition on*. IET, 2005.
- [9] E. Vidyasagar, P.V.N. Prasad, A. Fatima, „Reliability Improvement of a Radial Feeder Using Multiple Fault Passage Indicators,” *Energy Procedia* 14 (2012): 223-228.
- [10] RERS [Regulatorna komisija za energetiku Republike Srpske], „Tarife,” <http://www.reers.ba/taxonomy/term/9>.

Abstract – Most people and companies who purchase electricity require to know how reliable power supply will be and demand a certain level of reliability. Most power outages are caused by faults in the distribution system. This paper analyzes the effects of using fault indicators in distribution network. Reliability assessment will be illustrated for typical 20 kV overhead distribution network.

DEMONSTRATION OF USING FAULT INDICATORS IN DISTRIBUTION NETWORK

Predrag Mršić, Đorđe Lekić, Čedomir Željković

DODATAK
Distributivna 20kV nadzemna mreža

