

**ANALIZA POUZDANOSTI I ISPLATIVOSTI ULAGANJA ZA RAZLIČITE NIVOE
AUTOMATIZACIJE DISTRIBUTIVNE MREŽE****RELIABILITY AND INVESTMENT ANALYSIS FOR DIFFERENT LEVELS OF
DISTRIBUTION NETWORK AUTOMATION**Smilja Medić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu je teorijski i praktično prikazan problem proračuna pokazatelja pouzdanosti i izvršena je analiza pouzdanosti i isplativosti ulaganja za različite nivoe automatizacije distributivne mreže. Praktičnim primerom na modelu distributivne mreže i korišćenjem softverskih rešenja urađena je analiza pouzdanosti za različite nivoe automatizacije mreže. Analizirani su dobijeni rezultati.

Ključne reči: *Pokazatelji pouzdanosti, Automatizacija, Distributivna mreža, Fideri*

Abstract – *The analysis of reliability and profitability of investment for different levels of automation of the distribution network was performed, as well as calculation of reliability indices. Practical approach was applied using the model of a power distribution network and software solutions, conducting simulations. Results achieved were analysed and discussed.*

Keywords: *Reliability indices, Automation, Distribution network, Feeders*

1. UVOD

Pouzdanost distributivnog sistema predstavlja sposobnost distributivnog sistema da izvršava svoju funkciju pod datim radnim uslovima tokom datog vremena bez kvara. Pod funkcijom se misli na napajanje potrošača, a pouzdanost se meri tokom nekog vremenskog perioda – obično godinu dana. Pouzdanost napajanja se danas postiže primenom različitih vidova distributivne automatike i softverskih alata. Pouzdanost distributivnog sistema zavisi od pouzdanosti njegovih elemenata. Elementi distributivnog sistema se najčešće opisuju sa dva stanja:

- element u radu (ispravnom stanju),
- element ne radi, u stanju otkaza.

Implicitno sledi da se i sam sistem može naći u jednom od ova dva stanja [1]. Za sve potrošače električne energije pouzdanost napajanja je od velike važnosti, s obzirom na to da ona znatno utiče na svakodnevne aktivnosti [2].

Najefektniji način za unapređenje pouzdanosti i efikasnosti u distributivnim sistemima, kroz smanjenje kako trajnih prekida napajanja, tako i broja pogođenih korisnika, je automatizacija distributivnih mreža.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Nenad Katić, vanr. prof.

U automatizovanim distributivnim mrežama najvažniju ulogu imaju daljinski kontrolisani i nadgledani uređaji. Pored automatizacije neophodna su i ulaganja u bolje održavanje ili zamenu opreme sa kvalitetnijim i savremenijim rešenjima, čime se utiče na smanjenje intenziteta kvarova u mrežama [4].

Ovaj rad je usmeren ka upoređivanju pouzdanosti za različite kombinacije različitih tipova prekidačke opreme kako bi se postiglo najveće moguće poboljšanje pouzdanosti distributivne mreže.

**2. MATEMATIČKI MODEL POUZDANOSTI
SISTEMA**

Pouzdanost elektrodistributivnog sistema zavisi od pouzdanosti njegovih elemenata, pa se modelovanje sistema izvodi preko modela elemenata. Bilo koji element se može naći u jednom od dva stanja:

- element u radu (ispravnom stanju),
- element ne radi, u stanju otkaza.

Boravak u bilo kom od ova dva stanja predstavlja stohastičku veličinu, te je zbog toga i stanje sistema u pogledu ispravnosti takođe stohastička veličina. Da bi se modelovalo ponašanje realnog elementa on se transformiše u idealizovan element, tj. niz slučajnih realizacija trajanja ispravnog rada i otkaza realnog elementa svodi se na idealizovani niz u kome su trajanja rada i otkaza nepromenjenog trajanja.

Matematička očekivanja trajanja rada m i otkaza r se računaju relacijama [1]:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} m_i}{N} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} r_i}{N} \quad (2)$$

$$T = m + r \quad (3)$$

gde su:

N – broj boravaka elementa u stanju ispravnog rada,

odnosno u stanju otkaza,

T – period rada elementa.

Osnova za modelovanje pouzdanosti elemenata su matematički opisi uzroka i posledica otkaza. Ispadi elemenata sistema se modeluju odgovarajućim intenzitetom otkaza – λ [1/god]. Ispadi deonice izvoda modeluju se intenzitetom otkaza koji je proporcionalan dužini deonice izvoda l [km] i podužnom (jediničnom) intenzitetu otkaza deonice izvoda – λ_0 [1/god, km]:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot l \quad (4)$$

Posledice ispada modeluju se prosečnim trajanjem iznenadnih prekida napajanja – r [h][1].

3. ELEMENTI DISTRIBUTIVNE AUTOMATIKE

Primena distributivne automatike u srednjenaponskim mrežama ima ključan uticaj na smanjenje trajanja otkaza sistema, a time i na ukupnu pouzdanost sistema. Pod koncepcijom automatizacije distributivne mreže podrazumeva se utvrđivanje vrste i količine opreme distributivne automatike, lokacije te opreme u srednjenaponskoj mreži, kao i utvrđivanje tehnike za njeno korišćenje [3]. Izbor elemenata distributivne automatike zasnovan je na inženjerskom iskustvu i intuiciji i tehničkim uslovima koji postoje u distributivnoj mreži.

U nastavku su dati najčešće korišćeni elementi distributivne automatike.

3.1 Prekidači

Srednjenaponski izvodi su najčešće povezani preko izvodnog prekidača sa srednjenaponskom sabirnicom u napojnoj transformatorskoj stanici. Glavni zadatak tog prekidača jeste da provodi radne struje u svakodnevnom radu i da u kombinaciji sa zaštitnim relejom prekine struju kvara ako se kratak spoj desi negde na izvodu.

U slučaju kvara u distributivnoj mreži, izvodni prekidači imaju zadatak da lokalizuju kvar, tako da što je moguće manje korisnika bude pogođeno prekidom isporuke električne energije [1].

3.2 Rastavljači snage

Rastavljači snage SN sa ili bez daljinske komande, su rasklopna oprema koja može da provodi, uključuje i isključuje nazivne struje SN voda. Ukoliko imaju ugrađen motorni pogon, onda postoji i mogućnost daljinske komande. Obično se proizvode kao:

- RMU – kompaktne jedinice izolovane u SF6 gasu sa motornim pogonom (Ring Main Unit), koje se ugrađuju u TS SN/NN,
- Pole mounted – kompaktne jedinice izolovane u SF6 gasu sa motornim pogonom, koje se ugrađuju na vrhu stuba nadzemne mreže, za odvajanje delova nadzemne mreže pod naponom i teretom, radi ubrzanja restauracije ili rezerviranja napajanja.

3.3 Osigurači

Osigurač predstavlja element EES koji u električnim kolima, najčešće niskog napona, služi kao zaštita pri velikim vrednostima struje izazvanih preopterećenjem ili kratkim spojem. Tom prilikom, osigurač prekida električno kolo i na taj način štiti od kvara ili požara. Osiguračima se obično štite laterali u srednjenaponskim mrežama, odnosno predstavljaju osnovnu zaštitu u niskonaponskoj mreži.

Oni imaju zadatak da povećaju pouzdanost srednjenaponskog voda, tako što lateral u kvaru isključuju odmah po nastanku kvara, pre nego što deluje relejna zaštita na početku voda.

Na taj način se uticaj kvara ne proširuje na ceo vod, već se ograničava samo na potrošače koji se napajaju preko laterala u kvaru.

3.4 Snimači kvara

Snimač kvara ima ulogu da na mestima u mreži na kojima je instaliran izmeri vrednosti napona i struje kvara. Na osnovu vrednosti napona i struja izmerenih pomoću snimača kvara, prvo se identifikuje tip kvara, a potom se upotrebom odgovarajućih algoritama mogu najtačnije i najkvalitetnije izvršiti procene mesta kvara u mreži.

3.5 Detektori ili indikatori kvara

Detektori kvara su jednostavni senzori prolaska struje kratkog spoja koji generiše odgovarajući signal. Primenom nove tehnologije, razvijeni su indikatori koji se mogu uklopiti u rad SCADA sistema što znači da je omogućeno daljinsko praćenje i delovanje naprava putem radio signala, telefonskih linija ili optičkih kablova [1].

3.6 SCADA sistemi

SCADA je termin koji se koristi za opremu i sisteme koji omogućuju daljinsko upravljanje i nadzor uređaja i obavljanja njihovih funkcija na udaljenim lokacijama gde su instalirani. Kompleksnost takvog sistema uslovljena je s jedne strane zahtevima naručioca, a sa druge strane raspoloživim materijalnim sredstvima. Bez obzira na kompleksnost, svaki sistem se sastoji iz sledećih komponenti:

- centralna stanica,
- daljinske jedinice odnosno jedinice udaljenih terminala (RTU),
- komunikacioni sistem.

Svako SCADA rešenje podrazumeva postojanje određenog softvera na centralnom računaru [6].

3.7 DMS sistemi – sistemi za upravljanje distribucijom

DMS je sistem za upravljanje, modelovanje i analizu distributivnih mreža. Sastoji od tri osnovne komponente: baza podataka sa modelom mreže, infrastrukture realnog vremena i energetske aplikacije, koje treba da obezbede platformu za primenu velikog broja različitih funkcionalnosti. Osnova DMS je baza podataka u kojoj je opisana povezanost elemenata srednjenaponske i niskonaponske distributivne mreže, kao i parametri elemenata distributivne mreže. Korisnički interfejs omogućava dispečerima, inženjerima, tehničarima i menadžerima da unose i menjaju podatke o elementima distributivne mreže, primaju informacije sa terena putem sistema realnog vremena, analiziraju, planiraju, optimizuju i šalju komande na uređaje na terenu [7].

4. BENEFITI UVOĐENJA AUTOMATIZACIJE

Ugradnja opreme za automatizaciju distributivne mreže je jedna od najefektnijih mera kojima se utiče na unapređenje pouzdanosti kroz smanjenje trajanja prekida isporuke električne energije kao i broja pogođenih korisnika.

Pored direktnih finansijskih dobiti, indirektno dobiti se mogu prikazati preko mnoštva pokazatelja, kao što je smanjenje broja i vremena angažovanja ljudi, produžavanje životnog veka opreme, unapređenje iskorišćenja opreme, smanjenje gubitka prihoda, unapređenje ostalih pokazatelja kvaliteta isporuke električne energije, unapređivanje upravljanja distributivnom mrežom, dobit vezana za bezbednost i sigurnost i slično.

Ukupni efekti uvođenja automatizacije ogledaju se u [3]:

- smanjenje trajanja prekida napajanja (bržom lokacijom i izolacijom kvara, kao i efikasnom restauracijom napajanja posle kvara),
- smanjenje broja manipulacija, a time i kvarova na rasklopnoj opremi,
- bolji nadzor i vođenje pogona,
- smanjenje (odlaganje) investicionih troškova na vrlo skupu energetske opremu,
- povećanje bezbednosti pri radovima na mreži,
- smanjenje šteta (odšteta, kompenzacija) potrošačima.
- smanjenje gubitaka električne energije,
- smanjenje operativnih troškova,
- povećanje profita elektroenergetskih kompanija.

U slučaju postojanja automatizacije u mreži rešavanje kvarova je znatno unapređeno **Error! Reference source not found.**

- napojne transformatorke stanice su daljinski kontrolisane (SCADA) i sve informacije i daljinska kontrola su dostupni operatoru u kontrolnom centru, tako da nema potrebe da ekipa ide na teren, kontrola i akcije su veoma brze,
- bitne tačke distributivne SN mreže su daljinski kontrolisane i informacije o kvarovima su dostupne zbog čega je mesto kvara bolje poznato, uz manje operacija nad prekidačima i rastavljačima duž SN izvoda,
- ukoliko postoji potreba, jedna ekipa ide duž izvoda kako bi obezbedila prekidačke akcije nad opremom koja nije daljinski kontrolisana i kako bi potpomogla restauraciju napajanja,
- trajanje ispada je 4-5 puta kraće, samo 15 do 20 min ukoliko postoji više RTU u SN mreži ovo vreme može biti čak i kraće zbog čega je i neisporučena energija (ENSI) 4 do 5 puta manja,
- penali plaćeni potrošačima ili na drugi način proračunati su znatno smanjeni zbog kraćeg trajanja ispada,
- operativni troškovi su smanjeni zbog manjeg broja operacija nad prekidačkom opremom i zbog manjeg broja kvarova same opreme.

5. ANALIZA POUZDANOSTI ZA RAZLIČITE NIVEOE AUTOMATIZACIJE MREŽE

U ovom radu je korišćena test distributivna mreža, i predstavljeni su rezultati proračuna neekonomskih pokazatelja pouzdanosti (SAIFI, SAIDI i ENSI) bez ugradnje i sa ugradnjom distributivne automatike na srednje-naponskom delu mreže. Proračun se vrši pomoću jednog komercijalnog softvera za upravljanje distributivnom mrežom. Istorija događaja je simulirana, tako da ne mora da odgovara stvarnim događajima u sličnoj mreži.

Rezultati proračuna pokazatelja pouzdanosti, bez ugradnje opreme za automatizaciju, su dati u Tabela 1.

Tabela 1. Rezultati proračuna pokazatelja pouzdanosti bez automatizacije

Potrošnja [MWh/god]	ENSI [MWh/god]	SAIFI [1/god]	SAIDI [h/god]

167,655	280.41	5.89	14.48
---------	--------	------	-------

Automatizacije mreže će se izvoditi za tri različita slučaja. Koristiće se „Automatizacija mreže“ - analitička funkcija u okviru komercijalnog softvera, koja se koristi za simulaciju automatizacije sa ciljem smanjenja vremena trajanja prekida napajanja i poboljšanja pokazatelja pouzdanosti, uključujući i cost – benefit analizu. Radi se sa budžetom od 500,000 \$ i vrednost SAIDI pokazatelja ne treba da premašuje 10h +/- 3%. Funkcija daje optimalne scenarije automatizacije (vrstu opreme, količinu, cenu) za zadata ograničenja.

4.1 Prvi slučaj automatizacije

Za prvi slučaj automatizacije koristiće se samo daljinski kontrolisani detektori kvara.

Uvažavajući ograničenja budžeta i postavljene kriterijume funkcijom je određen optimalni scenario.

Pregled opreme koja treba da se ugradi, vrednost investicije, vrednost pokazatelja SAIDI i ENSI pre i posle primene automatizacije su prikazani u Tabela 2.

Tabela 2. Optimalni scenario za prvi slučaj automatizacije

Tip opreme	Potreban broj opreme	Ukupni troškovi (C) [\$]	SAIDI*/SAIDI	ENSI*/ENSI
FD	41	96,600	14.48/	280.41/
RTU	24		10.03	210.68

U navedenoj tabeli, kao i u svim sledećim, oznake SAIDI* i ENSI* jesu vrednosti parametara SAIDI i ENSI pre automatizacije.

4.2 Drugi slučaj automatizacije

Za drugi slučaj automatizacije se koriste daljinski kontrolisani detektori kvara i daljinski kontrolisani rastavljači snage. Funkcijom je određen optimalni scenario, uvažavajući sva navedena ograničenja i rezultati su predstavljeni u Tabela 3.

Tabela 3. Optimalni scenario za drugi slučaj automatizacije

Tip opreme	Potreban broj opreme	Ukupni troškovi (C) [\$]	SAIDI*/SAIDI	ENSI*/ENSI
FD	61	185,400	14.48/	280.41/
RMU	2		9.70	203.78
RTU	36			

4.3 Treći slučaj automatizacije

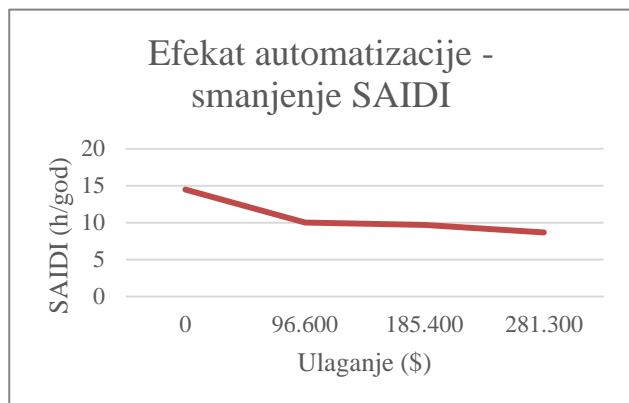
Za treći slučaj automatizacije korišćena je sledeća oprema: daljinski kontrolisani detektori kvara, daljinski kontrolisani rastavljači snage, daljinski kontrolisana rasklopna oprema sa detektorima kvara.

Funkcijom je određen optimalni scenario. Potrebna oprema, vrednost investicije i vrednosti pokazatelja SAIDI i ENSI pre i posle automatizacije su dati u Tabela 4.

Tabela 4. Optimalni scenario za treći slučaj automatizacije

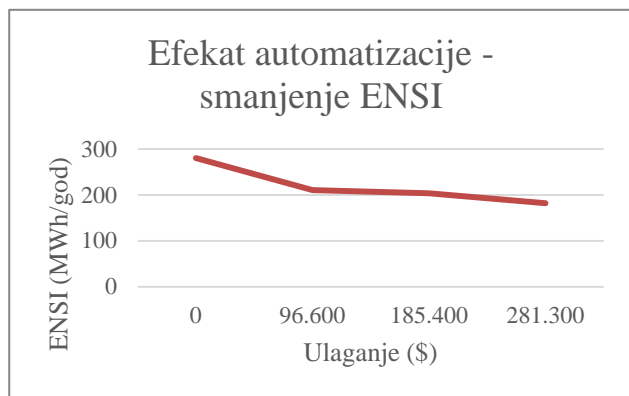
Tip opreme	Potreban broj opreme	Ukupni troškovi (C) [\$]	SAIDI*/SAIDI	ENSI*/ENSI
FD	8	281,300	14.48/ 8.67	280.41/ 181.89
RMU	19			
RTU	28			
SWG	8			

Zavisnost smanjenja SAIDI od visine ulaganja u automatizaciju je prikazana na Slika 1.



Slika 1. Smanjenje SAIDI u zavisnosti od visine ulaganja

Zavisnost smanjenja ENSI od visine ulaganja u automatizaciju je prikazana na Slika 2.



Slika 2. Smanjenje ENSI u zavisnosti od visine ulaganja

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršen proračun pokazatelja pouzdanosti za različite nivoe automatizacije srednjenaponske distributivne mreže.

Izvršeni proračuni su pokazali da je svaki od razmatrana tri slučaja automatizacije distributivne mreže profitabilan i da obezbeđuje poboljšanje SAIDI i ENSI. Od razmatrana tri slučaja se najoptimalnije rešenje bira uzimajući u obzir troškove ulaganja, i postignuto poboljšanje pokazatelja pouzdanosti.

Uvažavajući ograničenje budžeta, i ograničenje vrednosti SAIDI može se odabrati drugi slučaj automatizacije kao najoptimalnije rešenje. Za ulaganje veće nego u prvom slučaju postignute su bolje vrednosti pokazatelja pouzdanosti, a s druge strane, uloženi budžet je dosta manji nego u trećem slučaju.

7. LITERATURA

- [1] Miroslav D. Nimrihter: "Elektrodistributivni sistem"i, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [2] Milan S. Čalović, Andrija T. Sarić, Predrag Č. Stefanov: "Eksploatacija elektroenergetskih sistema u uslovima slobodnog tržišta", Tehnički fakultet u Čačku, Čačak, 2005.
- [3] Studija – "Izbor koncepcije upravljanja elektrodistributivnom 10 kV mrežom EPS JP EDB", DMS Grupa – Novi Sad
- [4] Željko N. Popović: "Određivanje optimalnog broja, tipa i lokacije uređaja za automatizaciju elektrodistributivnih mreža", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.
- [5] Nenad Katić: Skripta iz predmeta "Menadžment sistemi u elektroenergetici – EMS i DMS", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [6] Miloš Vulin: „Višekriterijumsko odlučivanje u planiranju automatizacije elektrodistributivnih mreža“, Master rad, Novi Sad, 2019.
- [7] Branislav Brbaklić: „Određivanje optimalnog broja, tipa i lokacije uređaja za automatizaciju elektrodistributivnih mreža“, Doktorska disertacija, Novi Sad, 2018.

Kratka biografija:



Smilja Medić rođena je u Zrenjaninu 1994. godine. Osnovne studije završila je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. godine iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi. Master rad na istom fakultetu smer Elektroenergetika – Elektroenergetski sistemi odbranila je 2020. godine.
kontakt: smiljamedic@gmail.com