

Ninoslav Holjevac, mag ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
ninoslav.holjevac@fer.hr

Matija Zidar, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Matija.zidar@fer.hr

Ivan Pavić, mag ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Ivan.pavic@fer.hr

prof. dr. sc. Igor Kuzle
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Igor.kuzle@fer.hr

UTJECAJ POUZDANOSTI POGONA NA ODRŽAVANJE I PLANIRANJE RAZVOJA DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA

SAŽETAK

Ovaj referat koristi sakupljene podatke o pouzdanosti pogona za DP Elektre Virovitica za potrebe izrade Studije razvoja te daje pregled izračuna pokazatelja pogona SAIFI, SAIDI i CAIDI koji se integriraju u detaljan model distribucijske mreže izrađen u programskom alatu za analizu elektroenergetskih mreža NEPLAN.

Nadalje u referatu je opisana metodologija proračuna pouzdanosti u programskom alatu te su prikazani rezultati analiza. Nakon toga ukratko je opisan proces planiranja razvoja i optimiranja pogona distribucijskih mreža čiji je analiza pouzdanosti integralni dio. Finalno, pregled stanja opreme kombinira se sa rezultatima analize pouzdanosti te se pokazuje kako ovakav pristup može smanjiti troškove i povećati pouzdanost napajanja sustava.

Ključne riječi: analiza pouzdanosti, pokazatelji pouzdanosti pogona, planiranje razvoja

OPERATIONAL RELIABILITY IMPACT ON DEVELOPMENT AND MAINTENANCE OF THE DISTRIBUTION SYSTEM

SUMMARY

This paper uses gathered data from Elektra Virovitica for reliability indices calculation such as System Average Interference Frequency Index (SAIFI), System Average Interference Duration Index (SAIDI) and Customer Average Interference Duration Index (CAIDI). The data is integrated into a model using power system analysis software NEPLAN.

Methodology for reliability indices calculation in NEPLAN is described and used on developed network model. Reliability analyses is part of distribution network optimization and planning process. Main goal is to show on a realistic network model how statistics of operational events contribute to distribution network optimization and planning and how proper network planning can increase availability of distribution network.

Key words: reliability analyses, reliability indices, distribution network planning

1. UVOD

Generalna definicija pouzdanosti pogona jest da je to mogućnost cijelog sustava ili nekih njegovih komponenti da obavljaju zahtijevanu funkciju pod definiranim uvjetima i u određenom vremenskom trajanju. U pogonu i planiranju distribucijskog sustava to se odnosi na kontinuitet isporuke električne energije krajnjim kupcima. S obzirom da je isporuka električne energije osnovna zadaća distribucijskih sustava njihovo planiranje i razvoj teži ih izgraditi s mogućnošću nastavka isporuke i za vrijeme trajanja različitih kvarova i neplaniranih događaja kako korisnici ne bi bili onemogućeni u obavljanju njihovih svakodnevnih aktivnosti. Zbog činjenice da investicije u proizvodne kapacitete i prijenosnu mrežu zahtijevaju velik kapital i dugi rok planiranja a njihovim prekidom rada uzrokuje se neisporuka električne energije za velik broj kupaca te su jedinice u prošlosti bile glavni predmeti analiza pouzdanosti. Danas, zahvaljujući značajnom porastu potražnje za električnom energijom i porastu cijena učinkovit pogon postaje imperativ te se sukladno tome fokus analiza učinkovitost pomiče na distribucijske mreže kao kritičnog dijela cijelog elektroenergetskog sustava. Nedovoljna količina investicija u distribucijsku mrežu akumulirala je staranje sustava koje potencijalno može dovesti do značajno narušene pouzdanosti pogona. Preko 90% problema s pouzdanosti napajanja koji korisnici imaju prouzrokovano je problemima u distribucijskom sustavu [1],[2] stoga je vrlo važno u planiranje i razvoj uključiti kriterij pouzdanosti. Operator distribucijskog sustava mora svim potrošačima omogućiti pristup mreži i pouzdanu opskrbu. Prema istraživanjima provedenim u SAD-u [3] najvažniji kriteriji koje potrošači zahtijevaju su prihvatljiva cijena, dobra pouzdanost, dobra kvaliteta električne energije i brzina odgovora na prigovore. Isto istraživanje pokazalo je da smanjenje razine pouzdanosti prouzrokuje mnogo veće troškove nego što ih povećanje pouzdanosti smanjuje. Jednako tako bitno je napomenuti da su moderna trošila sve više osjetljiva na sniženu kvalitetu električne energije.

Ovaj referat daje uvid u analizu pouzdanosti koja je integrirana u proces izrade plana razvoja distribucijske mreže Elektre Virovitica. Za izradu modela i proračuna korišten je alat za analizu i optimizaciju elektroenergetskih mreža NEPLAN [4]. NEPLAN omogućuje opsežnu analizu pouzdanosti napajanja [5], [6]. Usporedba različitih programski alata koji se koriste za analizu pouzdanosti pogona može se pronaći u literaturi [7]. Izrađeni model korišten je za analizu pouzdanosti napajanja u sklopu izrade studije razvoja. Povijesna analiza podataka uspoređena je s rezultatima modela te su rezultati usporedbe inkorporirani u model. U konačnici je prikazan na koji način nove tehnologije i zahvati u mreži (automatizacija mreže po dubini, pojačanja, rekonfiguracija mreže, pojava novih korisnika itd.) utječu na povećanje pokazatelja pouzdanosti.

2. POUZDANOST POGONA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Postoji više različitih definicija, klasifikacija i metrika primijenjenih na pouzdanost distribucijskih mreža koje se mogu pronaći u literaturi [8], [9]. U referatu je korištena definicija da je pouzdanost kao dio kvalitete električne energije, odnosno njezina mjera vremena dostupnosti. Prema definiciji u [10], pouzdanost napajanja je sposobnost mreže da osigura stalnost napajanja električnom energijom u određenom vremenskom razdoblju, iskazana pokazateljima broja i trajanja prekida napajanja. Prekid napajanja definiran je kao stanje pri kojemu na mjestu predaje električne energije nema napona u trajanju duljem od 1,5 sekunde, a može biti kratkotrajni u trajanju do uključiv tri minute ili dugotrajni u trajanju preko tri minute. Kvaliteta napona može biti sagledan iz dva kuta, iz perspektive operatora distribucijskog sustava (pouzdanost, valni oblik, naponske prilike) i iz perspektive krajnjeg kupca električne energije (kvaliteta korisnikovih instalacija i uređaja).

Pokazatelji pouzdanosti pogona računaju se kao generalni pokazatelji na razini cijelog sustava (jedno distribucijsko područje primjerice) i pri tome su najčešće korišteni pokazatelji:

- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) - predstavlja srednji broj prekida napajanja električnom energijom prema jednom obračunskom mjernom mjestu (OMM) uzimajući u obzir sve prekide i sva obračunska mjerna mjesta promatranog dijela sustava:

$$\circ \quad SAIFI = \frac{\text{Ukupan broj prekida}}{\text{Ukupan broj OMM u promatranom sustavu}} = \frac{\sum_{i=1}^N N_{i_prekida}}{N} \quad (1)$$

- SAIDI (*System Average Interruption Frequency Index*) – predstavlja srednje trajanje prekida napajanja prema jednom OMM uzimajući u obzir trajanje svih prekida na svim OMM-a promatranog dijla sustava:

$$\circ \quad SAIDI = \frac{\text{Ukupno trajanje prekida}}{\text{Ukupan broj OMM u promatranom sustavu}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{i_prekida}}{N} \quad (2)$$

- CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Indeks*) – predstavlja srednje trajanje prekida na OMM u prekidu:

$$\circ \quad CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{\text{Ukupno trajanje prekida na OOM}}{\text{Ukupan broj prekida na OOM}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{i_prekida}}{\sum_{i=1}^N N_{i_prekida}} \quad (3)$$

Pokazatelji pouzdanosti pogona računaju se i kao točkasti pokazatelji (eng. *load point indices*) koji se mogu računati za svaki element sustava

- AVF (*Average failure rate*) – predstavlja frekvenciju prekida napajanja - $F [1 / god]$
- AOT (*Average outage time*) – predstavlja trajanje prekida napajanja - $T [sati / god]$
- AaOT (*Average anual outage rate*) – predstavlja godišnju vjerojatnost trajanja prekida - $Q [sati / god]$

Dodatno pokazatelji pouzdanosti koji se odnose na iznose energije i snage su:

- ENS (*Energy not supplied*) – predstavlja ukupan iznos energije koji nije isporučen - $W [kWh / god]$
- PP (*Peak power not supplied*) – predstavlja mjeru vršnog opterećenja pri kojme je nastao prekid - $P [kW]$

U referatu će na primjeru modela DP Virovitica iz NEPLAN-a biti prikazan dio proračuna svih gore navedenih pokazatelja. Jednako tako na istom primjeru tablično će biti prikazani iznosi pokazatelja prema izvodima pogona te njihova usporedba sa analiziranim povijesnim podacima. Finalno će biti prikazan sažetak rezultata i njihov utjecaj na izradu planova investicija.

3. PROCES IZRADE PLANA RAZVOJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Područje DP Virovitica za koje se radio proračun pokazatelja pouzdanosti napaja se iz dvije pojne TS 110/x kV stanice te dalje preko 8 TS 35/10 kV do 500 TS 10/0,4 kV odnosno otprilike 30.000 kupaca. DP Virovitica organizirana je kroz dva pogona – Pogon slatina i Pogon Virovitica. Planiranje elektroenergetske mreže je postupak koji mora zadovoljiti više ili manje različite zahtjeve korisnika i vlasnika, odnosno operatora mreže. Stoga suvremene metode planiranja razvoja elektroenergetskih mreža uključuju nekoliko međusobno povezanih analiza. Proračun pouzdanosti ukllopljen je u proces planiranja razvoja distribucijske mreže koji se sastoji od:

- Proračuna tokova snaga u normalnom pogonskom stanju – opterećenja transformatora i vodova i naponske prilike kao okidači za investicije;
- Analiza pouzdanosti – tokovi snaga u izvanrednom pogonu (n-1 analiza) te proračun pokazatelja pouzdanosti pogona (prvenstveno SAIDI i SAIFI). Okidači za investicije su ostvarivanje zadovoljavajućeg alternativnog smjera napajanja, popravljjanje pouzdanosti napajanja (ulaganje u pouzdanost opskrbe moralo bi biti ekonomski opravdano smanjenjem troškova neisporučene energije i snage ili postizanjem zahtijevanih parametara)
- Ekonomska analiza opravdanosti investicija – proračun gubitaka snage, godišnji proračun ukupne energije i ukupnih godišnjih gubitaka uz uvažavanje dnevne krivulje potrošnje svih kupaca, neisporučena energije;
- Upravljanje imovinom (*asset management*) – uvažavanje starosnih kriterija, stvarnog procijenjenom stanja te rezultata modela;
- Dugoročna tendencija uvođenja jedinstvenog 110-20-0,4 kV naponskog sustava

4. POUZDANOST NAPAJANJA

Analiza pouzdanosti kako je navedeno provodi se u dva koraka. Prvi korak sadrži n-1 analizu svih 35 kV elemenata i svih 10 kV izvoda. Dodatno se za svaki element mreže proračunavaju pokazatelji pouzdanosti. Proračun je provedeni na nekoliko setova ulaznih podataka za sve zastoje u trajanju dužem od 3 minute:

1. Povijesna analiza - set povijesnih podataka o zastojima za 2014. godinu koji je korišten kao referenca te kao temelj za procjenu ulaznih podataka za model
2. Trenutno stanje – analiza temeljena proračunima modela mreže u NEPLAN programskom alatu
3. Buduća mreža – analiza mreže temeljena na modelu mreže se uključenim predloženim investicijama – promjena pokazatelja u odnosu na trenutno stanje

U model mreže osim parametara mreže potrebnih za proračun tokova snaga (karakteristike vodova i transformatora) potrebno je unijeti:

- Broj kupaca po dijelovima distribucijske mreže - TS x/0,4 kV
- Učestalost prekida napajanja elemenata 10(20) kV mreže;
- Trajanje prekida napajanja 10(20) kV mreže;
- Lokacije rastavnih uređaja (prekidača i rastavi sklopki) u mreži ;
- Način i vrijeme potrebno za obavljanje sklopnih operacija (daljinski/ručno);
- Dopuštena opterećenja elemenata i pad napona za vrijeme trajanja neplaniranog poremećaja.

Cilj analize pouzdanosti je dobiti numeričke pokazatelje za neplanirane zastoje na razini distribucijskog područja, pogona te 10 kV izvoda:

- SAIDI: trajanje dugih neplaniranih prekida napajanja uzrokovanih ispadima na mreži srednjeg (10 kV) napona u godini dana (min/god);
- SAIFI: broj dugih neplaniranih prekida napajanja uzrokovanih ispadima na mreži srednjeg napona (10 kV) u godini dana (prekida/god);
- CAIDI: prosječno trajanje dugih neplaniranih prekida napajanja uzrokovanih ispadima na mreži srednjeg napona po kupcu (min/prekidu);

Stvarni broj kupaca električne energije unesen je za svaku TS 10/0,4 kV. Korišteni su tipski podatci u kombinaciji s rezultatom povijesne analize o učestalosti i trajanju prekida napajanja za nadzemne (učestalost prekida od 0,15 prekida po kilometru i godini te vrijeme potrebno za otklanjanje kvara od 300 minuta) i kabela vodove (učestalost prekida od 0,07 prekida po kilometru i godini te vrijeme potrebno za otklanjanje kvara od 960 minuta) prikazani u tablici . Transformatori i rastavni uređaji smatrani su idealnim elementima što se tiče analize pouzdanosti. Prosječno vrijeme potrebno za obavljanje sklopnih operacija u daljinski upravljivim rastavnim uređajima (uključenima u SDV) postavljeno je na 10 min, dok je vrijeme potrebno za obavljanje sklopnih operacija u ručno upravljivim rastavnim uređajima postavljeno na 60 min. Standardi pouzdanosti napajanja [11] za pojedine skupine korisnika mreže u svrhu razvoja distribucijske mreže definirani su tablici (Tablica I) vodeći računa o sljedećim načelima:

- Nije realno tražiti pouzdanost napajanja veću od postignute u europskim zemljama s visokim standardom pouzdanosti napajanja;
- U budućnosti bi prosječna pouzdanost napajanja na razini TS 10(20)/0,4 kV trebala rasti.

Boje u tablici I prikazuju zadovoljenje određenih kriterija. Crvenom bojom je naznačeno ako niti jedan od kriterija nije zadovoljen.

Tablica I. Kriteriji pouzdanosti napajanja u postupku planiranja distribucijske mreže srednjeg napona (prosjeak po TS 10(20)/0,4 kV)

Standardi	Vrsta mreže	SAIDI (min/god)	SAIFI (zastoj/god)
Standard 1	Gradsko područje s pretežno kablskom mrežom	120	2
Standard 2	Prigradska područja i veća naselja	240	4
Standard 3	Nadzemni vodovi u vangradskim područjima	360	8
Dodatni globalni kriterij		Zadržavanje postojećeg stanja ako je bolje od standarda	

4.1. Povijesna analiza

Prikazani su povijesni podatci o zastoja u mreži DP Virovitica za razdoblje od 2010 do 2015. godine. Tablica (Tablica II) prikazuje učestalost svih vrsta zastoja po naponskim razinama, a tablica (Tablica III) daje detaljan prikaz prisilnih dugih (> 3 min) zastoja u 10(20) kV mreži po godinama. Tablica IV prikazuje izračunate pokazatelji pouzdanosti (SAIDI i SAIFI) za 10(20) kV mrežu za proteklih nekoliko godina, po pogonima te ukupno za DP. Jednako tako tablica (Tablica V) pokazuje primjer proračuna pokazatelja po izvodima jedne pojne TS 35/10 kV.

Tablica II. Broj svih dugih zastoja po svim naponskim razinama DP Virovitica za razdoblje 2010-2015

Elektra Virovitica	Napon (kV)		Karakter	Broj zastoja
	0,4		Planirani zastoј	2417
			Prisilni zastoј	2545
			Zastoј po nalogu	0
	10		Planirani zastoј	841
			Prisilni zastoј	296
			Zastoј po nalogu	0
	35, 30		Planirani zastoј	8
			Prisilni zastoј	10
			Zastoј po nalogu	0
	110		Planirani zastoј	0
			Prisilni zastoј	1
			Zastoј po nalogu	0

Tablica III. Detaljan prikaz dugih prisilnih zastoja za DP Virovitica, razdoblje od 2010-2015

Elektra Virovitica	Godina	Broj zastoja	Broj potrošača	Trajanje svih zastoja (min)	Prosječno trajanje zastoja (min)	Neisporučena energija (MWh)
	2010.	58	36548	10407	179,43	27,64
	2011.	51	23269	6265	122,84	18,35
	2012.	62	33975	16301	262,92	34,29
	2013.	51	25710	9937	194,84	38,18
	2014.	58	29151	8766	151,14	28,73
	Prosjeck	56	29730,6	10335,2	184,56	29,44

Tablica IV. Ostvareni(povijesni) pokazatelji pouzdanosti za DP Virovitica

Elektra Virovitica	Godina	SAIDI (min/god)	SAIFI (zastoј/god)	CAIDI (SAIDI/SAIFI)
	2010.	324,64	1,22	267,08
	2011.	89,10	0,77	115,14
	2012.	390,98	1,13	346,02
	2013.	231,33	0,86	270,54
	2014.	188,02	0,97	193,93
	Prosjeck	250,93	0,99	253,78

Tablica V. Ostvareni(povijesni) pokazatelji po izvodima za TS 35/10 kV Virovitica I

	Promatrano područje/ 10 kV izvod	Broj kupaca	SAIDI (min/god)	SAIFI (zastoј/god)	CAIDI (min/kom)	Standard
TS 35/10 kV Virovitica I	Čazmatrans	53	0,00	0,04	0,00	1
	Gornje Bazje	1631	470,90	2,25	112,25	3
	Korija Virovitica	468	202,10	0,53	0,00	3
	Virovitica II Zapad	826	31,49	0,63	64,20	2
	Virovitica-Suhopolje	545	23,62	1,28	20,40	3
	Vlahe Bukovca	1633	135,18	0,15	17,40	1
	Prosjeck TS Virovitica I	5156	252,24	1,05	66,60	2
Elektra Virovitica		29358	325,47	1,25	79,80	2

4.2. Trenutno stanje

Na temelju izrađenog modela u NEPLAN programskom alatu generiranu su rezultati proračuna pouzdanosti napajanja. Usporedbom izračunatih pokazatelja pouzdanosti (Tablica VI) iz matematičkog modela proračuna pouzdanosti u Neplanu s ostvarenima (povijesnim) pokazateljima (Tablica V) za cijelo DP uočava se dobro poklapanje oba relevantna pokazatelja. Iako dolazi do odstupanja među ostvarenim i izračunatim pokazateljima pouzdanosti gledajući po pogonima, računski pokazatelji i dalje daju veoma dobru povratnu informaciju o kritičnim izvodima prema kriteriju pouzdanosti napajanja. Zbog nedostupnosti podataka o točnoj statistici kvara svakoga voda i kabela koji bi se unosio kao parametar u proračun nije moguće, a niti potrebno, korigirati model analize pouzdanosti 10(20) kV mreže te se stoga izrađeni model koristio kao procjena

Tablica VI. Izračunati (iz modela) pokazatelji po izvodima za TS 35/10 kV Virovitica I

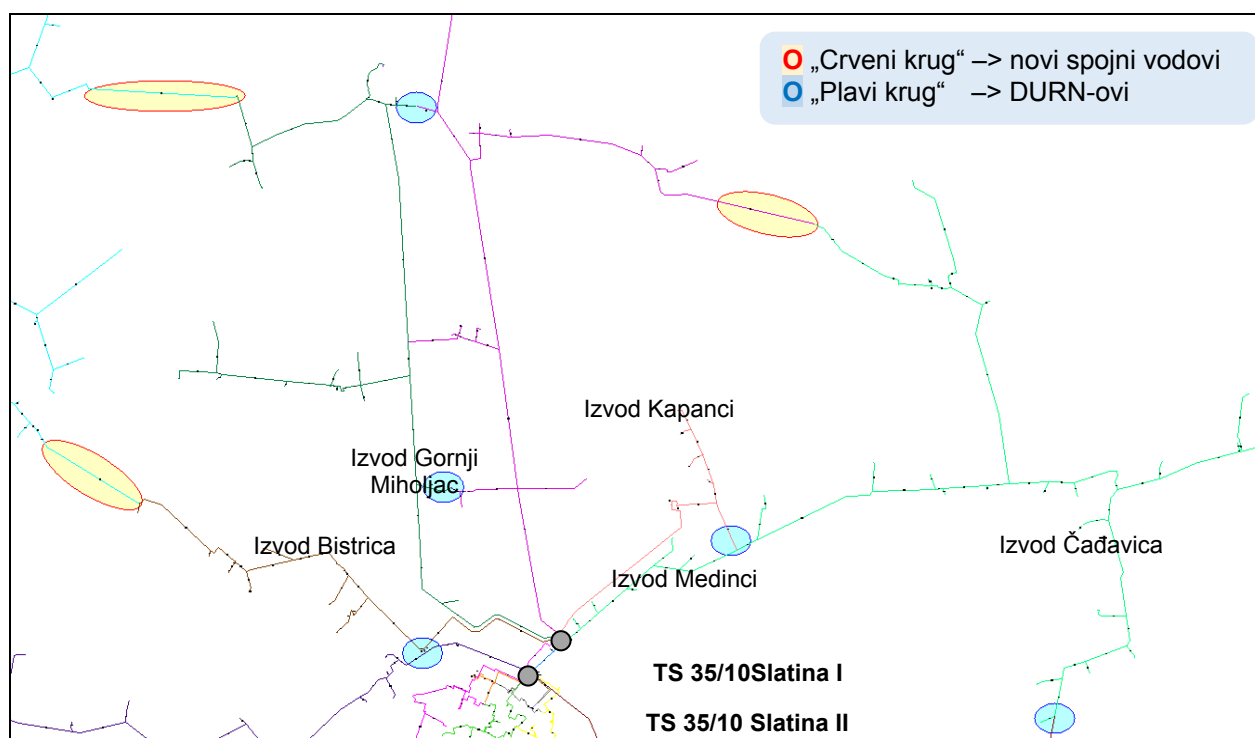
	Promatrano područje/10 kV izvod	Broj kupaca	SAIDI (min/god)	SAIFI (zastoj/god)	CAIDI (min/kom)	Standard
TS 35/10 kV Virovitica I	Čazmatrans	53	37,90	0,04	971,82	1
	Gornje Bazje	1631	350,97	2,25	156,06	3
	Korija Virovitica	468	208,24	0,53	184,77	3
	Virovitica II Zapad	826	199,34	0,63	328,41	2
	Virovitica-Suhopolje	545	315,98	1,62	195,29	3
	Vlahe Bukovca	1633	2,54	0,15	66,74	1
	Virovitica I	5156	294,86	1,05	171,23	2
Elektra Virovitica		29358	271,33	1,41	192,43	2

4.3. Buduća mreža

Buduća mreža podrazumijeva postojeću mrežu s uvaženim svim predloženim investicijama. Moguće strategije za povećanje pouzdanosti pogona prikazane su u tablici ispod (Tablica VII). Slikovitosti radi u referatu će biti prikazani rezultati proračuna za područje TS 35/10 kV Slatina II te pojedinačno za manje segmente mreže (izvod Bistrica iz TS 35(10 kV Slatina) kako bi se prikazalo kako različite aktivnosti različito utječu na promjenu pokazatelja pogona. Finalno kroz primjerice petogodišnje razdoblje planiranja ukupna promjena pokazatelja pogona rezultat je svih aktivnosti u mreži. Slika 1 prikazuje minimalni skup potrebnih investicija za popravljivanje pokazatelja pogona na području Pogona Slatina. Rezultati su prikazani u tablici (Tablica VIII). Pri tome se pokazatelji mogu i pogoršati ako se broj korisnika izvoda ili ukupan teret izvoda povećaju a ne izvrše se dovoljne investicije. Jednako tako širenjem mreže i dodavanjem novih elemenata pokazatelji se u matematičkom (statističkom) modelu mogu pogoršati (primjerice prosječni broj kvarova za veću duljinu voda je naravno veći).

Tablica VII. Izračunati (iz modela) pokazatelji po izvodima za TS 35/10 kV Virovitica I

Strategija	Aktivnosti
1.) Smanjenje broja prekida napajanja	Preventivno održavanje
	Monitoring najvažnijih elemenata mreže
	Pravovremeno upravljanje imovinom (prvenstveno zamjena dotrajale opreme)
	Održavanje trasa vodova
	Zaštita elementa mreže od kvarova uzrokovanih neplaniranim upadom ljudi ili životinja
2.) Smanjenje trajanja prekida napajanja	Automatizacija po dubini distribucijske mreže
	Promjena topologije mreže (alternativni smjerovi napajanja) u n-1 pogonskom stanju
	Brža detekcija i dojava kvarova
	Omogućen brži odziv ekipa za održavanje (popravljanje kvarova ili ručno upravljanje sklopnim napravama)
3.) Smanjenje broja kupaca pogođenih prekidom	Promjena topologije mreže i stvaranje novih pravaca napajanja
	Bolje zaštita i mogućnost odvajanja dijelova mreže pomoću više elemenata sklopne opreme
	Rezonantno uzemljenje transformatora

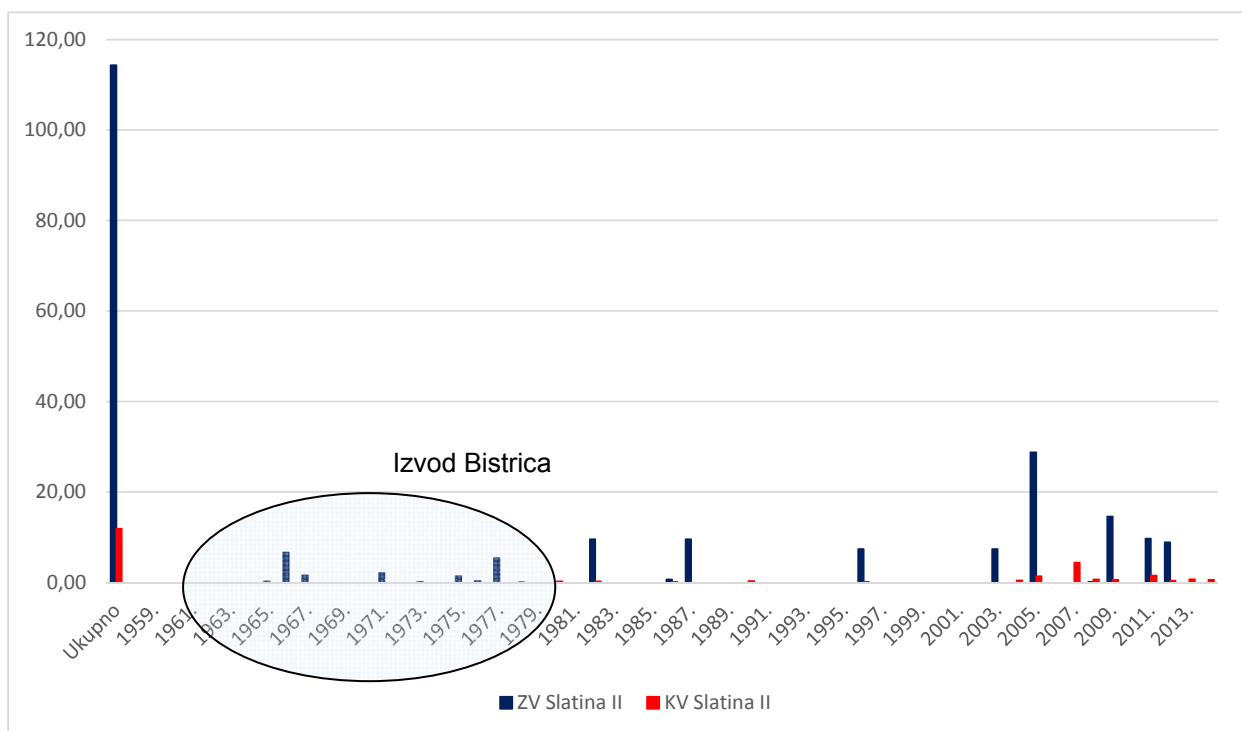


Slika 1. Automatizacija mreže na području Pogona Slatina sa svrhom podizanja pouzdanosti napajanja

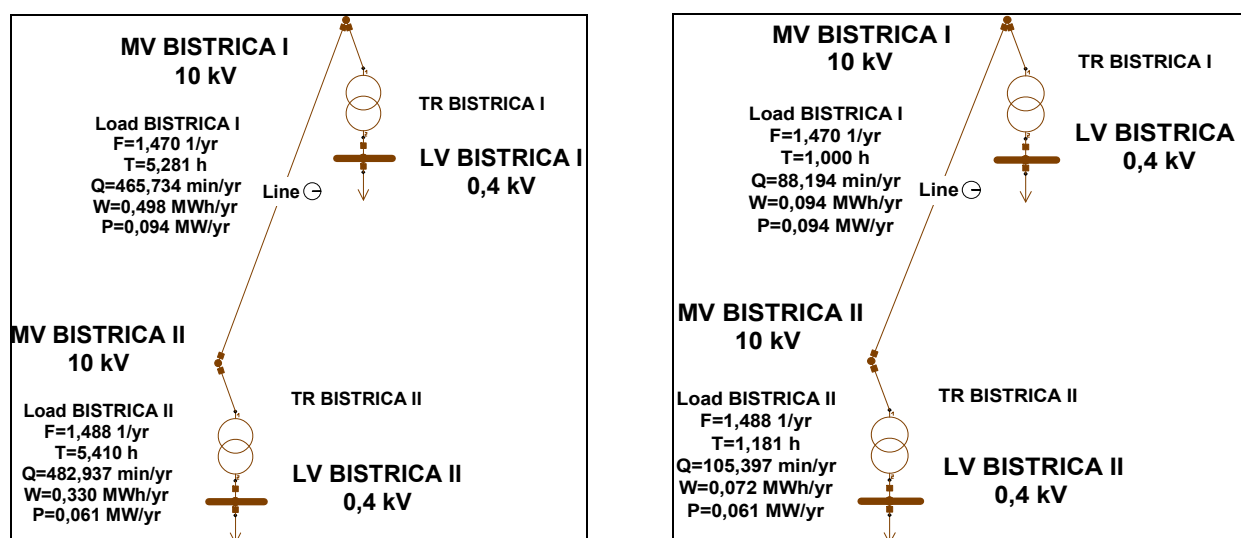
Tablica VIII. Pokazatelji pouzdanosti - 2025. godina i promjena pokazatelja u odnosu na 2015. godinu za pojno područje TS 35/10 kV Slatina II

TS 35/10 kV Slatina II	Promatrani izvod iz TS 35/10 kV Slatina II	Broj kupaca		W (MWh)		SAIDI (min/god)		SAIFI (zastoj/god)	
		2015	2025	2015	2025	2015	2025	2015	2025
	Bistrica	380	380	2,88	1,552	472,86	205,54	1,48	1,74
	Čađavica	1145	713	11,54	5,41	456,52	406,09	2,58	2,15
	Gornji Miholjac	649	649	5,99	6,827	619,19	552,45	2,50	2,57
	Kapinci	983	1209	2,88	2,482	294,98	182,04	2,29	2,55
	Medinci vodovod	127	127	0,73	0,475	209,37	151,82	0,94	0,80
	Spojni vod	65	65	0,05	0,023	44,58	18,50	0,12	0,05
	Prosjeck TS 35/10 Slatina II	3349	3143	21,19	16,769	432,66	321,20	2,27	2,24

Izvod Bistrica iz TS 35/10 kV Slatina ima relativno loše pokazatelje pouzdanosti pogona. Uzrok tome leži u zračnim vodovima lošeg stanja kojima je potrebna rekonstrukcija te nepostojanja automatizacije mreže po dubini i zadovoljavajućeg alternativnog smjera napajanja. Prema podjeli iz tablice gore (tablica VII) za potrebe referata prikazani su rezultati buduće mreže prema tri scenarija: 1) dodavanje novih spojnih vodova; 2) automatizacija mreže po dubini; 3) rekonstrukcija i zamjena postojećih elemenata mreže. Slika 2 pokazuje kako je većina vodova izvoda Bistrica izgrađena pred 40-45 godina i potrebna im je rekonstrukcija. SAIDI indeks i neisporučena energija popravljaju uvođenjem novih spojnih vodova. Automatizacijom mreže popravljaju se vrijeme otklanjanja zastoja. Popravljanje SAIFI pokazatelja moguće je ostvariti samo zamjenom postojećih elemenata mreže te uvođenjem brže zaštite. No prema rezultatima prikazanim u referatu može se zaključiti da na promatranom području puno veći utjecaj ima trajanje kvarova nego sama frekvencija pojavljivanja kvarova.



Slika 2. Raspodjela zračnih vodova i kabela po godištima za TS 35/10 kV Slatina I



Slika 3. Prikaz točkastih pokazatelja (*load point indices*) dijela izvoda Bistrica: a) prije i b) nakon uvođenja novog spojnog voda

(F – prosječan broj zastoja; T – trajanje zastoja; Q – prosječno trajanje zastoja; W – neisporučena energija; P – maksimalna snaga zastoja)

Tablica IX prikazuje rezultate iz kojih se vidi da se kako različite aktivnosti u mreži utječu na promjenu pokazatelja. Pri tome je investicija u automatizaciju (daljinski upravljiva rasklopna naprava – DURN) na ključnim mjestima kapitalno najmanje intenzivna radnja. Također, realizacija alternativnog smjera napajanja uz automatizaciju mreže ima potencijalno najveće koristi na snižavanje trajanja prekida i smanjivanje količine neisporučene energije.

Tablica IX. Pokazatelji pouzdanosti za izvod Bistrica ovisno u

10 kV izvod Bistrica	ENS (MWh)	SAIDI (min/god)	SAIFI (zastoj/god)
0) Postojeće stanje	2,88	472,86	1,48
1) Novi spojni vodovi	1,73	252,39	1,48
2) Automatizacija mreže	1,50	208,95	1,48
3) Zamjena elemenata mreže	1,40	228,89	0,76
4) Kombinacija automatizacije i izgradnje spojnih vodova	1,44	202,53	1,54

5. ZAKLJUČAK

Pouzdanost sustava važan je segment planiranja i optimizacije pogona distribucijskih sustava. Sistematično i ekonomski opravdano investiranje u automatizaciju mreže i nove smjerove napajanja značajno povećava mogućnost distribucijske mreže da nastavi isporuku električne energije do svih korisnika i u izvanrednim pogonskim stanjima. Uz te investicije redovito održavanje i monitoring te zamjena elemenata mreže koji su na kraju životnog vijeka može dodatno unaprijediti pouzdanost pogona. Pri tome je odgovarajući sustav upravljanja imovinom u kombinaciji s analizama pouzdanosti jedan od uvjeta uspješnog planiranja distribucijskih sustava budućnosti.

Analize prikazane u referatu postati će neizostavan segment svakog plana razvoja jer zahtijevani standard od strane kupaca je u porastu, raste osjetljivost samih trošila i nedostupnost električne energije već u vrlo kratkim periodima postati će vrlo skupa i neprihvatljiva što će predstavljati veliki izazov operatoru distribucijskog sustava u vidu održavanja i nadogradnje mreže.

6. LITERATURA

- [1] T. Dorji, "Reliability Assessment of Distribution Systems," MASTER THESIS (Norwegian University of Science and Technology Department of Electrical Power Engineering). [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:348747/FULLTEXT01.pdf>. [Accessed: 28-Jul-2015].
- [2] G. Kjolle, L. Rolfseng, and E. Dahl, "The economic aspect of reliability in distribution system planning," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 5, no. 2, pp. 1153–1157, Apr. 1990.
- [3] R. Billinton, L. Salvaderi, J. D. McCalley, H. Chao, T. Seitz, R. N. Allan, J. Odom, and C. Fallon, "Reliability issues in today's electric power utility environment," IEEE Trans. Power Syst., vol. 12, no. 4, pp. 1708–1714, 1997.
- [4] "NEPLAN - Planning and optimization system for electrical, gas, water and district heating networks." [Online]. Available: <http://www.neplan.ch/>.
- [5] P. BANGALORE, "Development of Test System for Distribution System Reliability Analysis, Integration of Electric Vehicle into the Distribution System," Master's Thesis in the Master's Electric Power Engineering, 2011. [Online]. Available: <http://webfiles.portal.chalmers.se/et/MSc/PramodBangalore.pdf>. [Accessed: 28-Dec-2015].
- [6] R. Uhumwangho and O. Eseosa, "Reliability Prediction of Port Harcourt Electricity Distribution Network Using NEPLAN," The International Journal Of Engineering And Science (IJES), 2014. [Online]. Available: <http://www.neplan.ch/wp-content/uploads/2015/02/ReliabilityPredictionPortHarcourt.pdf>.
- [7] O. K. P. Mokoka and K. O. Awodele, "Reliability Evaluation of distribution networks using NEPLAN & DIgSILENT power factory," in 2013 Africon, 2013, pp. 1–5.
- [8] A. Sumper, A. Sudria, and F. Ferrer, "International Reliability Analysis in Distribution Networks," Report (Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments CITCEA, Universitat Politècnica de Catalunya), 2015. [Online]. Available: <http://www.icrepq.com/PONENCIAS/4.299.SUMPER.pdf>. [Accessed: 17-Dec-2015].
- [9] R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, and K. S. So, "A reliability test system for educational purposes-basic distribution system data and results," IEEE Trans. Power Syst., vol. 6, no. 2, pp. 813–820, May 1991.
- [10] Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06).
- [11] Kriteriji i metodologija planiranja razvoja distribucijske mreže, HEP-ODS, 2014.