

Analiza SN 10 kV mreže i ispitivanje i ugradnja indikatora kvara s mogućnosti dojave putem GPRS komunikacije

Orešković, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:242774>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Osijek

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

**ANALIZA SN 10 kV MREŽE I ISPITIVANJE I UGRADNJA INDIKATORA
KVARA S MOGUĆNOSTI DOJAVE PUTEM GPRS KOMUNIKACIJE**

Diplomski rad

Matija Orešković

Osijek, rujan, 2020. godina

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Osijek

Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

**ANALIZA SN 10 kV MREŽE I ISPITIVANJE I UGRADNJA INDIKATORA
KVARA S MOGUĆNOSTI DOJAVE PUTEM GPRS KOMUNIKACIJE
ANALYSIS OF MV 10 kV NETWORK AND TESTING AND
INSTALLATION OF FAULT INDICATORS WITH THE POSSIBILITY OF
NOTIFICATION VIA GPRS COMMUNICATION**

Diplomski rad

Matija Orešković

Mentor: prof. dr. sc. Marinko Stojkov

Osijek, rujan, 2020. godina

Sadržaj

1. Uvod	5
2. Indikatori kvara LineTroll R400D	7
2.1. Funkcionalni opis	7
2.2. Mjesto ugradnje indikatora	8
2.3. Instaliranje i montaža	10
2.4. LED indikacija.....	11
2.4.1. Tipovi kvara	12
2.5. Resetiranje indikatora.....	13
2.6. Prikaladne mreže za ugradnju	14
2.7. Podešenje razine prorade indikatora kvara	15
3. DISPO aplikacija- aplikacija za praćenje distribucijske pouzdanosti	16
3.1. Uporaba DISPO aplikacije.....	17
3.2. Temeljna načela funkcioniranja programa DISPO	18
3.2.1. Cilj DISPO-a	18
3.2.2. Ulazni podaci.....	18
3.2.3. Uklopno stanje	18
3.2.4. Ručne i automatske operacije u programu.....	19
3.2.5. Opća shema DISPO projekta	19
3.4. Mjesto i uzrok zastoja.....	20
3.4.1. Mjesto zastoja	20
3.4.2. Uzrok zastoja.....	20
3.5. Osnovni pojmovi, definicije i formule.....	21
3.5.1. Pojmovi vezani uz mrežu i događaje u mreži.....	21
3.5.2. Pokazatelji pouzdanosti	22
4. Usporedba i analiza podataka prije i nakon ugradnje indikatora u mrežu - SAIFI, SAIDI, CAIDI	24
5. Primjer TS 35 kV - 10 kV i jednog VP - statistike kvarova na zračnim vodovima	28
6. Analiza mreže i mjerenje i proračun struja zemljospoja i kratkog spoja	33
6.1. Primjer proračuna	35
6.2. Primjer proračuna za izoliranu mrežu	35
7. Konfiguracija i podešenje indikatora kvara za određeno vodno polje 10 Kv	38
8. Postupak ugradnje i primarno ispitivanje prorade indikatora kvara	44
9. Zaključak	49

Literatura:.....	50
Sažetak.....	51
ŽIVOTOPIS.....	52

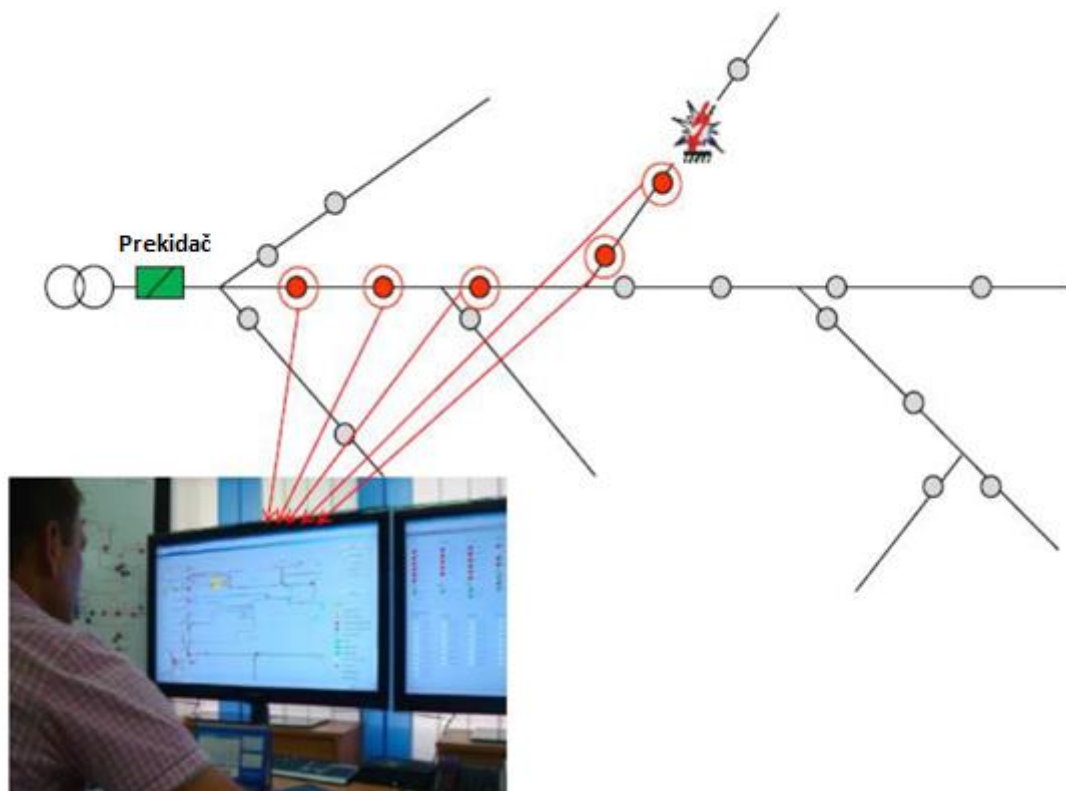
1. Uvod

Za vrijeme odrađivanja stručne prakse od 200 stručnih sati u službi za vođenje pogona HEP ODS - Elektra Slavonski Brod, izrađen je ovaj diplomski rad kojem je osnovni cilj bilo povećanje pouzdanosti opskrbe električnom energijom potrošača. Osnovna djelatnost HEP ODS-a je distribucija električne energije sa srednjeg napona 35 kV na niski napon 10 (20) i 0,4 kV. Kako bi se ostvarila pouzdana isporuka električne energije potrebno je postići što bolje uvjete na srednjenaponskoj mreži. Na uvjete pouzdanosti isporuke i distribucije uvelike utječe: tip mreže, geografski položaj, dužina, presjek, kvaliteta održavanja te atmosferske prilike. Kvarovi u srednjenaponskim mrežama dijele se na dozemne (spoj vodiča prema zemlji) ili tzv. zemljospoj, zatim kratki spojevi koji nastaju dodirivanjem dva ili više vodiča (proboj izolatora, katodnih odvodnika, atmosfersko pražnjenje, pad stabla na zračni vod). Također dijele se na trajne i prolazne kvarove. Trajni kvarovi nastaju kad dođe do oštećenja dijela mreže koji zahtijevaju popravke i zamjene pojedinih dijelova. Mogu potrajati od 30 minuta do čak 1 dan, u nekim ekstremnim situacijama i po nekoliko dana. Prolazni kvarovi su oni kvarovi kod kojih dolazi do ponovnog uključanja mreže nakon tzv. oporavka izolacije, zatim izgaranja grane ili stabla na mreži preko kojeg se zatvara kvar i kroz koji prolazi struja kvara. U ovom radu opisana je analiza određenog dijela mreže te proračun struja kratkog spoja i kapacitivnih struja. Kako bi se postigla veća pouzdanost napajanja kontinuirano se vrše automatizacije po dubini srednjenaponske mreže korištenjem novih tehnologija, u ovom slučaju ugradnja indikatora kvara s daljinskom dojavom u nadležni dispečerski centar putem GPRS komunikacije. U 5. poglavlju obrađen je primjer jedne TS i jedno-dva VP za koje je napravljena statistika i analiza kvarova za 2018. i 2019. godinu. U 8. poglavlju opisana je ugradnja i testiranje indikatora na srednjenaponskoj mreži- VP 10 kV Strmac, koje opskrbljuje električnom energijom ukupno 1122 obračunska mjerna priključna mjesta. U posljednjem poglavlju obrađena je usporedba podataka za pokazatelje pouzdanosti. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) predstavlja odnos ukupnog broja pogođenih korisnika mreže kvarom i ukupnog broja korisnika mreže na tom vodu. SAIDI (System Average Interruption Duration Index) predstavlja prosječno trajanje kvara po pojedinom korisniku u određenom vremenskom razdoblju. CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) predstavlja ukupno trajanje prekida po pojedinom kupcu. Pokazatelji

pouzdanosti praćeni su od 2015. godine do početka 2020. g. Aktivnost ugradnje indikatora kvara započeta je koncem 2018. godine, a završena je početkom 2020. g. S ugradnjom optimalnog broja indikatora kvara za konfiguraciju srednjenaponske mreže elektre veličine Slavenskog Broda, optimalni broj iznosi oko 40-tak indikatora kvara s dojavom putem GPRS komunikacije. Na kraju ovog rada u zaključku su opisane prednosti ugradnje indikatora kvara s daljinskom dojavom.

2. Indikatori kvara LineTroll R400D

Indikatori kvara R400D koriste se za otkrivanje kvarova tipa kratkih spojeva i dozemnih spojeva u zračnim distribucijskim mrežama (10 kV, 20 kV, 35 kV). Njihova ugradnja se izvodi na strateške lokacije duž voda gdje postoje linijski rastavljači i duži otcjepi. Postavljaju se na sve vrste i tipove stupova na udaljenosti 3 do 5 metara ispod vodiča. Montaža se vrši dok su vodovi pod naponom u tzv. zoni slobodnog kretanja.



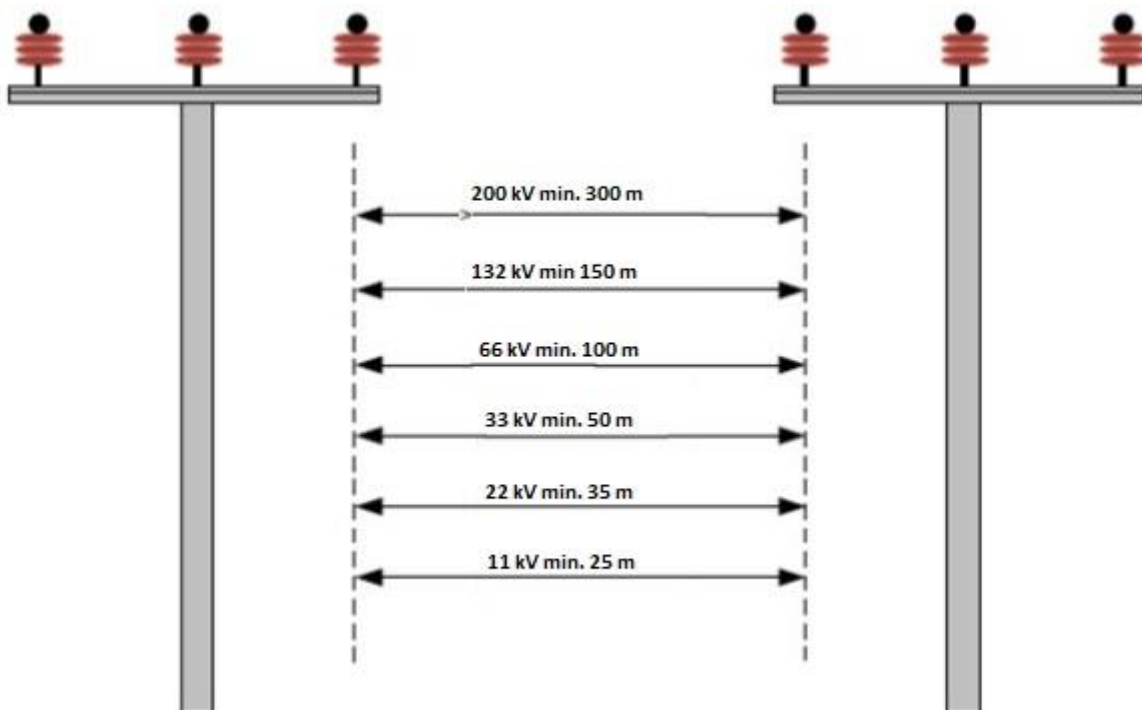
Slika 1. Prikaz indikatora kvara u SN mreži nakon kvara [1]

2.1. Funkcionalni opis

Indikatori kvara rade na principu detektiranja promjene električkog i magnetskog polja ispod vodiča. Na zračnom dalekovodu, na koje ne egzistira kvar i koji uredno vrši distribuciju električne energije, strujno opterećenje je simetrično te je iznos elektro magnetskog polja jednak nuli. U indikatoru postoje prilagođavajući detektori koji prate promjenu funkcije dB/dt . Spore promjene simetričnog opterećenja neće utjecati na aktiviranje tog detektora, dok kod struje kvara dolazi do naglog porasta magnetskog polja te će ovisno o podešenju detektor reagirati.

- radijalni vodovi (jednostruki napajani)
- mreže s izoliranom neutralnom točkom
- mreže s kruto uzemljenom neutralnom točkom (uzemljenje putem prigušnice)
- mreže s neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika

Ograničenja koja mogu nastati prilikom ugradnje su ta da niti jedan drugi stup prikladan za montažu ne smije na sebi imati ugrađen niti jedan drugi element kao što su na primjer podzemni kabel, otcjep, dvostruki vod, linijski rastavljač, distribucijski transformator te bliski vodovi 110 kV, 35 kV, 10 (20) kV, jer mogu znatno utjecati na izobličenje elektro magnetskog polja.



Slika 3. Ograničenja ugradnje indikatora zbog utjecaja obližnjih vodova [2]

Za mreže gdje je neutralna točka transformatora izolirana, struje zemljospoja su manje vrijednosti pa je potrebno izvršiti detaljnu analizu i proračun mreže kako bi se odabrala ispravna razina podešenja vrijednosti struje za kvarove tipa zemljospoj. Za te potrebe su u Elektri Slavonski Brod izvršena primarna mjerenja struja zemljospojeva na načina da se na rezervnim vodnim poljima u transformatorskoj stanici simulira primarni zemljospoj (uzemlji jedna faza) te se zaštita podesi na minimalno vrijeme isključenja prekidača kako bi se odvojilo mjesto kvara. Na ostalim vodnim poljima gdje postoje

ugrađene numerički releji zaštite postavi se u funkciji registratora događaja (Disturbance recorder) aktiviranje funkcije na pojavu napona U_0 . Sve vrijednosti se očitaju po pojedinom vodnom polju i predstavljaju doprinose kapacitivnih struja. U slučaju gdje zaštitni relejni uređaji nemaju mogućnost i funkciju snimanja registratora događaja za snimanje doprinosa kapacitivnih struja može se iskoristiti bilo koji numerički relej iz pogonske rezerve neke druge transformatorske stanice na koji se sekundarno spajaju svi izlazi nulte struje na vodnim poljima na strujne ulaze $I_1, I_2, I_3, I_e, I_{ee}$ što omogućuje snimanje doprinosa kapacitivne struje za ukupno 5 vodnih polja.

Kod struja zemljospoja indikatora kvara prati rezultanto magnetsko polje ispod vodiča a koje je funkcija sljedećih varijabli:

1. Razina prorade podešene struje zemljospoja (2 A, 4 A, 7 A, 15 A, 20 A, 30 A, 40 A i 50 A)
2. Konfiguracije voda (slika 4.)
3. Udaljenosti između faza i indikatora kvara
4. Struje tereta u trenutku ugradnje



Slika 4. Konfiguracija zračnih vodova [3]

2.3. Instaliranje i montaža

Prilikom ugradnje indikatora, on mora biti kalibriran na normalne uvjete na vodu. To daje indikatoru “sliku” magnetskog polja ispod vodiča koja će biti temelj za

otkrivanje promjena u magnetskom polju pri pojavi kvara. To znači da se indikator mora podesiti dok je vod pod naponom. Indikator kontinuirano nadzire struju opterećenja kako bi se u bilo kojem trenutku prilagodio uvjetima na vodu. Indikator ima i algoritam blokade struje uklopa što omogućuje izbjegavanje pogrešne indikacije uzrokovane uklopom voda (vrijeme je moguće podesiti).

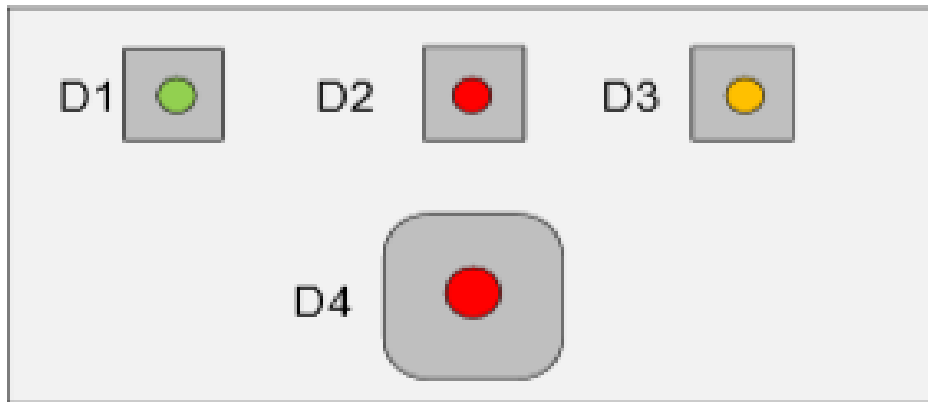


Slika 5. Indikator kvara LineTroll R400D [4]

2.4. LED indikacija

Indikator je opremljen s LED diodama koje lokalno signaliziraju prolazne ili trajne kvarove te slabu bateriju. LED diode koriste se i za provjeru ispravnosti ugradnje tijekom kalibracije. Ugrađeni GSM modem uobičajeno je isključen kako bi se smanjila

potrošnja baterije. Modem će biti aktiviran čim indikator otkrije kvar i odluči je li kvar trajan ili prolazan.



Slika 6. LED indikacija [2]

D1 - Zeleno; pokazuje prolazan kvar

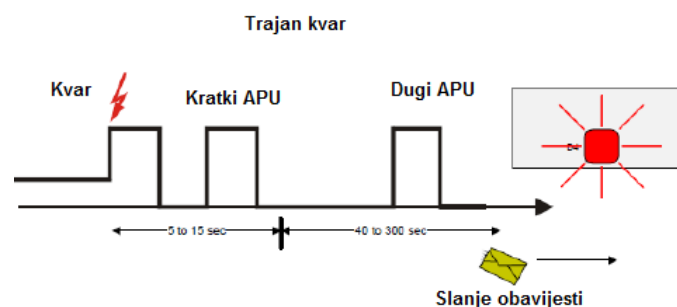
D2 - Crveno; pokazuje trajan kvar ako je odabran način rada s niskom snagom

D3 - Žuto; pokazuje da je baterija prazna

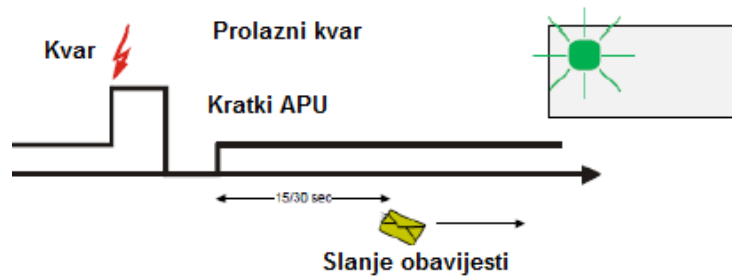
D4 - Crveno; pokazuje trajan kvar ako je isključen način rada s niskom snagom

2.4.1. Tipovi kvara

Trajan kvar definiran je kao kvar gdje vod ostaje bez napajanja nakon prepoznavanja kvara. Vrijeme koje indikator čeka dok ne definira kvar kao trajan se može podesiti u rasponu od 40 sekundi do 300 sekundi. Prolazni kvar je definiran kao kvar kod kojeg se vod ponovno napaja i prije isteka vremena podešenog za prepoznavanje kvara kao trajnog. Vod mora biti pod naponom u vremenu između 15 sekundi i 30 sekundi da bi se kvar smatrao prolaznim.



Slika 7. Trajan kvar [2]

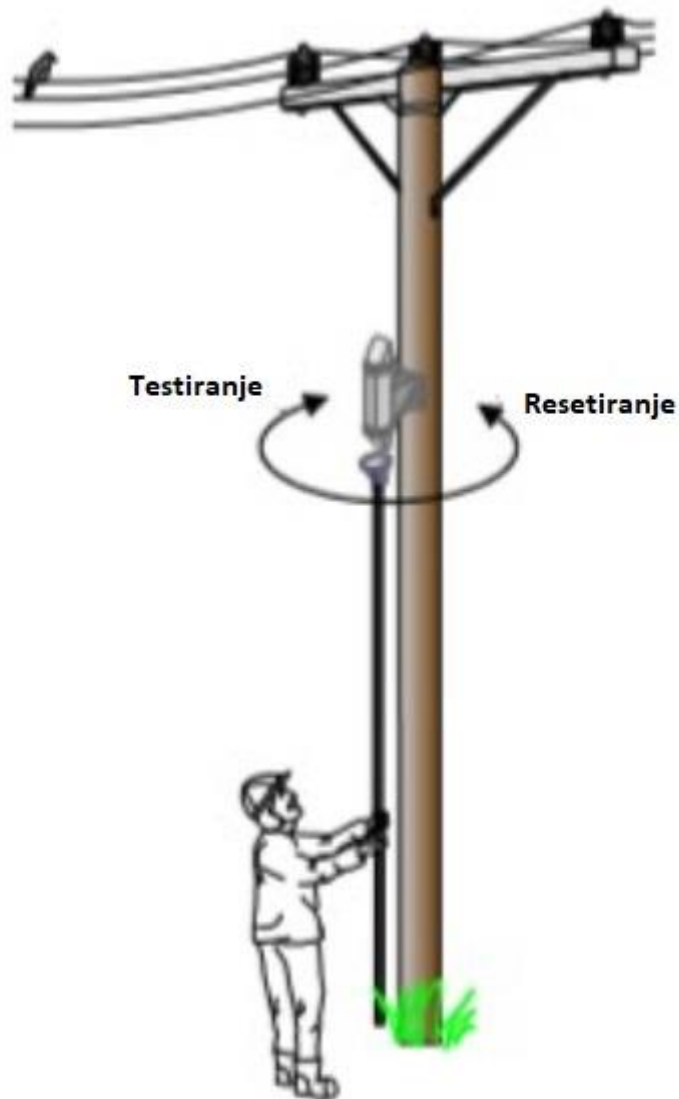


Slika 8. Prolazan kvar [2]

2.5. Resetiranje indikatora

Indikator može biti resetiran na 4 različita načina:

- Resetiranje naponom - resetiranje naponom može biti isključeno, ali kad je uključeno postoji vrijeme koje je podešeno da vod bude bez napona dok se ne resetira indikator, to vrijeme može biti 5 s, 10 s, 15 s, 20 s, 25 s ili 30 s.
- Automatski - brojač za resetiranje može biti postavljen na bilo koju vrijeme između 1,5 h i 12 h.
- Ručno - indikator R400D može biti resetiran ručno, okretanjem konstrukcije u smjeru kazaljke na satu u poziciju 'RESET'. Indikator se može resetirati i sa zemlje uz pomoć motke za resetiranje.
- Daljinsko resetiranje



Slika 9. Primjer ručnog resetiranja [2]

2.6. Prikladne mreže za ugradnju

Indikator kvara LineTroll R400D može se koristiti u distribucijskim mrežama napona 6-132 kV, mrežama s izoliranom neutralnom točkom, mrežama s kruto uzemljenom neutralnom točkom, mrežama s neutralnom točkom uzemljenom preko otpornika, u jednofaznim i trofaznim mrežama. Stup prikladan za montažu indikatora ne smije na sebi imati ugrađen niti jedan drugi element kao npr. podzemni kabel, odcjep, dvostruki vod, linijski rastavljač, distribucijski transformator ili niskonaponski

vod, zbog moguće deformacije magnetskog i električnog polja pa može doći do krive prorade.

2.7. Podešenje razine prorade indikatora kvara

U mrežama u kojima je neutralna točka transformatora izolirana struje zemljospoja su uobičajeno manje vrijednosti (posebice ako na promatranoj mreži nema većeg udjela kablskih dionica). Za takve mreže potrebno je izvršiti iscrpnu analizu mreže kako bi se pronašao ispravan način ugradnje i podešenja razine prorade s posebnim naglaskom na struje kapacitivnih izbijanja (dozemni spojevi - zemljospojevi). Kod dvopolnih i trolnih kvarova struje su relativno visoke pa podešenje za ovu vrstu kvarova ne treba biti precizno. Uobičajeno se za kvarove kod opterećenja i kratki spojeva proradna struja postavlja na dvostruku vrijednost nadstrujne zaštite. Osnovno pravilo za podešavanje razine prorade struje je da podešena kapacitivna proradna struja bude veća od doprinosa kapacitivne struje voda iza mjesta ugradnje indikatora.

Mora biti ispunjen sljedeći uvjet:

$$I_p > I_c ;$$

Gdje je:

I_p – podešena razina kapacitivne struje

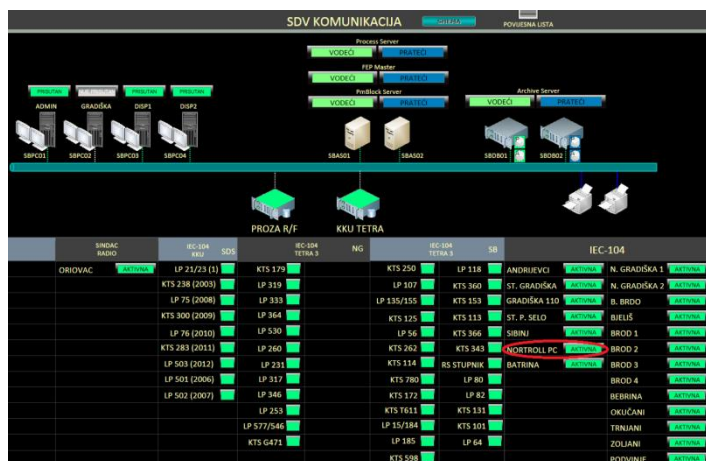
I_c - kapacitivna struja kao doprinos dijela voda iza mjesta ugradnje indikatora

Prema tome :

$$I_p < I_{cuk} - I_c$$

Gdje je:

I_{cuk} – ukupna kapacitivna struja svih ostalih vodnih polja



Slika 10. SDV komunikacija Nortroll prema SCAD-i sa IEC 104 [1]

NORTROLL PC					NORTROLL PC				
AKTIVNA					AKTIVNA				
	TRAJNI KVAR	PROLAZNI KVAR	NIZAK NAPON BATERIJE	NESTANAK NAPAJANJA		TRAJNI KVAR	PROLAZNI KVAR	NIZAK NAPON BATERIJE	NESTANAK NAPAJANJA
VP LOVČIĆ - STUP PRIJE LR 131	■	■	■	■	VP LUŽANI - STUP IZA LR 45	■	■	■	■
VP KOBAŠ - STUP PRIJE LR 40/35	■	■	■	■	VP LUŽANI - STUP IZA LR 153	■	■	■	■
VP DUBOČAC - STUP IZA 33/34	■	■	■	■	VP KOBAŠ - ODCJEP PREMA FARMI	■	■	■	■
VP LJUFINA - 3. STUP ZA ORUBICU	■	■	■	■	VP ORIOLIK - STUP IZA LR 28	■	■	■	■
VP G. SLATINIK - STUP IZA LR 165	■	■	■	■	VP PETNJA - STUP IZA LR 12	■	■	■	■
VP KLOKOČEVIK - STUP IZA LR 70	■	■	■	■	VP POSAVINA - STUP IZA LR 77	■	■	■	■
VP GARCIN - STUP IZA LR 109	■	■	■	■	VP G. SLATINIK - STUP IZA LR 164	■	■	■	■
VP KOPANICA - STUP IZA LR 122	■	■	■	■	VP MEDARI - ČRS U MEDARIMA	■	■	■	■
VP KOPANICA - STUP IZA LR 150	■	■	■	■	VP DRAG.LIPOVCI - STUP IZA LR 585	■	■	■	■
VP VRPOLJE - STUP IZA LR 100	■	■	■	■	VP ADŽAMOVC I - STUP IZA PTTS 279	■	■	■	■
VP VRPOLJE - STUP PRIJE 102	■	■	■	■	VP MEDARI - 2. STUP PRIJE LR 215	■	■	■	■
VP ROGOLJI - 2. STUP IZA LR 418	■	■	■	■	VP STRMAC - IZA LR 227	■	■	■	■
VP STRMAC - STUP ISPRED LR 238	■	■	■	■	VP S.GRAD - 2. STUP PRIJE AUTOPUTA	■	■	■	■
VP BOGIČEVCI - STUP IZA LR 318	■	■	■	■	VP ROGOLJI - STUP IZA LR 404	■	■	■	■
VP LJUFINA - STUP IZA LR 351	■	■	■	■	VP STRUŽANI - STUP IZA LR 183	■	■	■	■
VP ADŽAMOVC I - 2. STUP IZA LR 520	■	■	■	■	VP STRUŽANI - STUP IZA LR 86	■	■	■	■
VP BODOVALICI - 3. STUP IZA PTTS 343	■	■	■	■	VP KOPANICA - STUP IZA LR 94	■	■	■	■
VP CRNAC POLJE - STUP PRIJE LR 561	■	■	■	■	VP ORIOLIK - OCJEP ZA ST. RIBNJAK	■	■	■	■
VP REŠETARI - STUP IZA LR 262	■	■	■	■	VP DRAGOVCI - STUP IZA LR 583	■	■	■	■
VP DRAGOVCI - STUP IZA LR 579	■	■	■	■	VP IND. ZONA - STUP IZA LR 371	■	■	■	■
VP BILI BRIG - STUP IZA LR 510	■	■	■	■	REZERVA	■	■	■	■

2020-02-10 15:15:47	ST_P_SELO	J02	VP - ADŽAMOVC I	ZAS13	ST_P_SELO.10KV.J02:ZAS13.26.ZASTITA	ISKLOP	I>>>
2020-02-10 15:15:50	ST_P_SELO	J02	VP - ADŽAMOVC I	ZASGR12	ST_P_SELO.10KV.J02:ZASGR12.32.ZASTITA	ISKLOP	KRATKOSPAINA GRUPNI SIGNAL
2020-02-10 15:15:47	ST_P_SELO	J01	TRAFO POLJE 1		ST_P_SELO.10KV.J01:275	HIHI (170)	STRUJA
2020-02-10 15:15:47	ST_P_SELO	J01	TRAFO POLJE 1		ST_P_SELO.10KV.J01:270	LOLO (9.45)	NAPON
2020-02-10 15:15:47	ST_P_SELO	H01	TRAFO POLJE 1		ST_P_SELO.35KV.H01:275	HIHI (67)	STRUJA

2020-02-10 15:16:24	IK - VP ADZAMOVC I2	ISPRGR4	IK - VP ADZAMOVC I2.OPCH:ISPRGR4.172.SERVISNI	KVAR	ISPRAVLJAČKI SU:
2020-02-10 15:16:31	IK - VP ADZAMOVC I2	ISPRGR4	IK - VP ADZAMOVC I2.OPCH:ISPRGR4.172.SERVISNI	Acknowledged: KVAR (2148754)	ISPRAVLJAČKI SU:
2020-02-10 15:16:31	IK - VP ADZAMOVC I2	ISPRGR4	IK - VP ADZAMOVC I2.OPCH:ISPRGR4.172.SERVISNI	Acknowledged: KVAR (2148754)	ISPRAVLJAČKI SU:
2020-02-10 15:17:03	IK - VP ADZAMOVC I	INDIKVAR01	IK - VP ADZAMOVC I.J01:INDIKVAR01.438.ZASTITA	UPOZORENJE	TRAJNI KVAR
2020-02-10 15:17:03	IK - VP ADZAMOVC I	ISPRGR4	IK - VP ADZAMOVC I.OPCH:ISPRGR4.172.SERVISNI	KVAR	ISPRAVLJAČKI SU:

Slika 11. Prikaz signalizacije indikatora u SCADA sustavu i listi događaja

3. DISPO aplikacija- aplikacija za praćenje distribucijske pouzdanosti

DISPO (Distribucijska Pouzdanost) je aplikacija koja je razvijena s Oracle razvojnim alatima na Oracle 8i bazi. HEP ovaj program koristi kao Web aplikaciju preko odgovarajućih servera (3-slojna arhitektura: DB server – IA server – client PC). Projekt DISPO specijalistički je računalni program namijenjen analiziranju pouzdanosti rada

distribucijskog sustava, odnosno kvalitete električne energije prema pouzdanosti opskrbe. Projektom se sastavno pregledavaju pogonski događaji u distributivnom sustavu naponske razine od 110 kV do 0,4 kV. Pogonski događaji podrazumjevaju zastoje koji traju dulje od 3 minute, a nastali su na temelju NDC-a ili Opskrbe, te planirani i prisilni zastoji. DISPO aplikacijom se može analizirati sve vrste zastoja i iz toga izvedeni pokazatelji pouzdanosti u distributivnoj mreži od 110 kV do 0,4 kV. Druga stavka analize pokazatelja pouzdanosti se može izvesti prema organizacijskoj razini od PU do Pogona i DP-a i sve do HEP distribucije. Treća stavka pokazatelja pouzdanosti su izračunavanja na temelju toga da li distributer može ili ne može utjecati na njih. Četvrta stavka analize pokazatelja pouzdanosti je prema karakteru prekida. Svi rezultati po svakoj stavci analize pokazatelja pouzdanosti se mogu dobiti za svaki vremenski period. Ciljevi DISPO:

- otkrivanje metoda kojima se umanjuje trajanje i broj zastoja
- uspoređivanje konačnih rezultata
- nadziranje stalnosti opskrbe potrošača električnom energijom
- analiziranje pogonskih događaja

3.1. Uporaba DISPO aplikacije

Pridjeljivanjem korisničkog imena, lozinke i izborom servera korisniku su dana neka od ovlaštenja za gledanje, unos, mijenjanje i/ili brisanje podataka (GUMB security model). Korisnik koji ima ovlaštenja unošenja podataka u mini TIS popunjava formu mini TIS-a za svako postrojenje. Mini TIS je sustav minimalnog broja podataka potrebitih za ostvarenje automatiziranih, poluautomatiziranih i rubnih funkcija u programu. Mini TIS je sastavljen od tri vrste objekata: 1. transformatorske stanice VN/SN i SN/SN, 2. transformatorske stanice SN/NN i 3. polja VN, SN i NN. U formi Duljine mreže prikazuju se ukupne duljine kabela, zračne i SKS (zračna kabelska mreža) mreže po organizacijskim jedinicama i naponskim razinama. Korisnici formi zastoja su dispečeri ili osobe koje će biti zadužene za unošenje podataka o zastoju i kvaru. Forme su podijeljene po naponskim razinama i dostupne su također prema dispečerskim službama po naponskim razinama. U sklopu formi zastoja nalazi se i blok gdje se opisuje kvar. Opis kvara obično je nakon upisivanja podataka o zastoju, jer spoznaja o atributima kvara može biti i s vremenskom zadržkom. Šifarnici se koriste

kao liste vrijednosti u formama zastoja. Namjena šifrarnika je jedinstveno opisivanje i pretraživanje pogonskih događaja.

3.2. Temeljna načela funkcioniranja programa DISPO

3.2.1. Cilj DISPO-a

Program DISPO je informacijski sustav namijenjen analizi kvalitete električne energije po kriteriju stalnosti opskrbe kupaca električne energije u distribucijskom sustavu. Analiza je omogućena na svim naponskim razinama od 0.4 kV do 110 kV i za četiri organizacijske razine (HEP Distribucija, DP, Pogon i Pogonski ured). Time se mogu vršiti usporedbe pokazatelja unutar pojedinih razina i između HEP-a i drugih elektrodistribucijskih tvrtki.

3.2.2. Ulazni podaci

Pretpostavke za funkcioniranje aplikacije su točni, ispravni i potpuno uneseni ulazni podaci. Opseg osnovnih ulaznih podataka o mreži i postrojenjima definiran je u mini TIS-u. Podaci o zastojima i kvarovima interaktivno se unose u za to namijenjenu formu na propisan način. Pristup aplikaciji definiran je nadležnostima i ovlaštenjima korisnika podijeljenih u kategorije. Ovlaštenja nad formama su: gledanje, unos, mijenjanje i brisanje.

3.2.3. Uklopno stanje

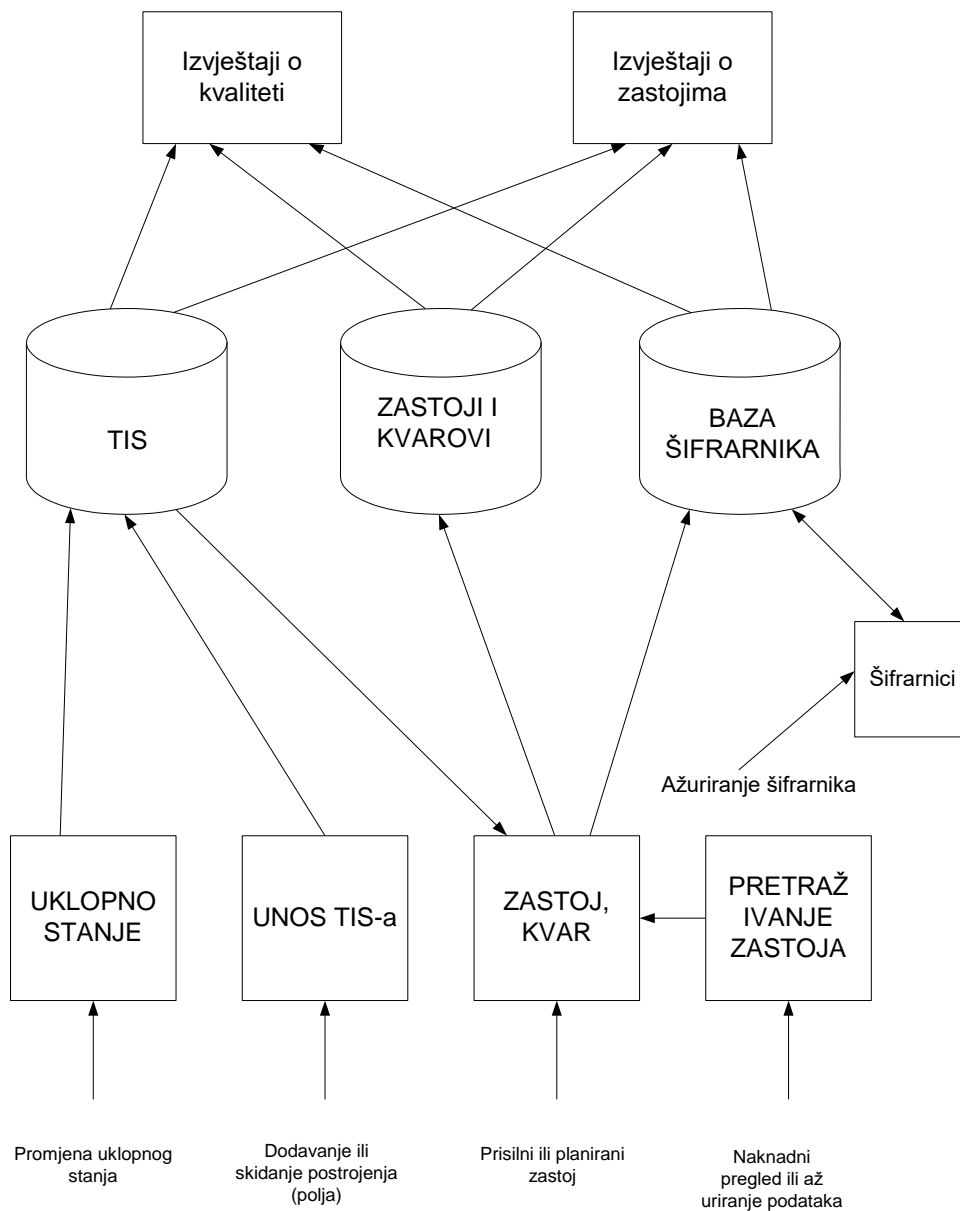
Uklopno stanje u okviru DISPO-a opisano je tako da se za svaku transformatorsku stanicu 10(20)/0,4 kV definira njena napojna točka (VP 10(20) kV) unutar TS X/10(20) kV, odnosno unutar rasklopišta. U formi "Pregled i ažuriranje uklopnog stanja", opisuje se uklopno stanje srednjenaponske mreže. Svrha opisivanja uklopnog stanja je određivanje TS 10(20)/0,4 kV koje su pogođene zastojem, kada je mjesto zastoja u TS 110/X kV, TS 35/10(20) kV ili rasklopištu.

3.2.4. Ručne i automatske operacije u programu

Unos podataka u formi, koji funkcionalno ovise o prethodno unesenim podacima u istoj formi, riješen je automatski. Na primjer, popis TS 10(20)/0.4 kV generira se automatski na temelju prethodno unesenih pogođenih vodnih polja 10(20) kV iz TS x/10(20) kV.

3.2.5. Opća shema DISPO projekta

Opća shema DISPO projekta prikazuje veze između procesa unosa podataka, baze podataka i izvještaja.



Slika 12. Opća shema DISPO projekta [5]

3.4. Mjesto i uzrok zastoja

3.4.1. Mjesto zastoja

Mjesto zastoja je rastavno mjesto gdje je došlo do promjene stanja "uklopljeno" u "isklopljeno", a uvijek ima za posljedicu prekid opskrbe kupaca.

Mjesta zastoja su:

1. postrojenje
2. polje

3.4.2 Uzrok zastoja

Tablica 1. Uzroci zastoja [2]

Oznaka	Karakter	Opis_1
A1	Planirani zastoj	otklanjanje posljedica kvara (dotrajnost opreme, oštećenja nastala prilikom vremenskih neprilika)
A2	Planirani zastoj	redovito održavanje
A3	Planirani zastoj	izgradnja objekata i mreže
A4	Planirani zastoj	izgradnja objekata i priključaka
A5	Planirani zastoj	otklanjanje posljedica kvara viša sila
A6	Planirani zastoj	otklanjanje posljedica kvara trećih lica
A7	Planirani zastoj	održavanje trećih lica
A8	Planirani zastoj	izgradnja objekata i mreže trećih lica
A9	Planirani zastoj	izgradnja objekata i priključaka trećih lica
A10	Planirani zastoj	napojna mreža
B11	Prisilni zastoj	distribucijski generator
B10	Prisilni zastoj	napojna mreža
B14	Prisilni zastoj	kvar
C13	Zastoj po nalogu	po nalogu NDC OPS)
C12	Zastoj po nalogu	po nalogu Opskrbe (isključenja zbog neplaćanja, hitna isključenja po nalogu centra 112 zbog požara, poplava ili saobraćajnih nesreća)

3.5. Osnovni pojmovi, definicije i formule

3.5.1. Pojmovi vezani uz mrežu i događaje u mreži

Događaj je pojava kojom jedinica ili komponenta u mreži dolazi u neko stanje. Događaj je obilježen vremenom nastupa, a stanje trajanjem. Trajanje je razlika između nastupa završnog i početnog događaja. Povod događaju može biti prisilan (neplaniran) ili planiran (smišljen). Stanje promatrane jedinice vremenski je određeno trajanjem između početnog i završnog događaja. Kvar je događaj kojim jedinica, komponenta ili element prelazi iz ispravnog u neispravno stanje te zahtjeva popravak ili zamjenu. Posljedica kvara u pravilu je prisilni zastoj. Zastoj je pojam što opisuje stanje jedinice (ili komponente) koje nastaje kao posljedica događaja kojim promatrana jedinica (ili komponenta) prestaje biti raspoloživa - postaje neraspoločiva - za ispunjenje funkcije koja joj je namijenjena. Zastoj može biti planiran (smišljen, očekivan) ili prisilan (spontan, neočekivan). Zastoj ima svoje trajanje koje je određeno početnim i krajnjim trenutkom nastanka događaja. Planirani zastoj (planned outage) je događaj kad se jedinica planirano ili smišljeno stavlja izvan pogona u predviđenom i unaprijed izabranom vremenu radi održavanja, zamjene ili rekonstrukcije. Ova vrsta zastoja odgodiva je za onaj trenutak kad je to u mreži najpovoljnije obzirom na kriterij stalne opskrbe kupaca te je najavljen kupcu. Prisilni zastoj (forced outage) je posljedica kvara, ili preopterećenja, a manifestira se kada neka jedinica ili komponenta prisilno prelazi iz pogonskog u izvanpogonsko stanje. To je neočekivani događaj kojim se jedinica ili komponenta trenutno dovodi u stanje izvan pogona radi djelovanja zaštite ili radi ljudske pogreške. Zastoj po nalogu je događaj kad se jedinica planirano ili smišljeno stavlja izvan pogona po nalogu Opskrbe, NDC-a (nacionalni dispečerski centar) ili žurne službe Centar 112. Mjesto zastoja može biti transformatorsko ili vodno polje u kojem je rastavni uređaj prešao iz uklopljenog u isklopljeno stanje zbog čega su kupci ostali bez opskrbe električnom energijom. Neraspoločivost tvore svi planirani i prisilni zastoji i zastoji po nalogu promatranih jedinica u jednogodišnjem razdoblju. U neraspoločivost se ne ubrajaju uspješni APU. Neisporučena električna energija je neisporučena električna energija kupcima radi planiranog, prisilnog ili zastoja po nalogu. Izračunava se tijekom nastanka zastoja iz pokazatelja zastoja, opterećenja i instalirane snage transformatora, ili iz poznatog broja kupaca pogođenih zastojem,

trajanja zastoja i prosječne godišnje potrošnje, ili se izračunava pomoću formula za matematičko očekivanje. Promatrano razdoblje je jedna kalendarska godina.

3.5.2. Pokazatelji pouzdanosti

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) predstavlja odnos ukupnog broja pogođenih korisnika mreže kvarom i ukupnog broja korisnika mreže na tom vodu. SAIDI (System Average Interruption Duration Index) predstavlja prosječno trajanje kvara po pojedinom korisniku u određenom vremenskom razdoblju. CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) predstavlja ukupno trajanje prekida po pojedinom kupcu. Pokazatelji izračunati po formulama odnose se na ukupne veličine, što znači da su rezultati sastavljeni od utjecaja svih pogonskih događaja koji se promatraju. Ukupni pogonski događaji označeni skupom U mogu se promatrati po kriteriju utjecaja distributera i po kriteriju karaktera zastoja. Svi uzroci zastoja i kvarova nazvani su skupom i označeni U . Skup U , prema kriteriju utjecaja distributera, sastoji se od podskupa na čiji uzroke distributer utječe i označen je UT i podskupa na čije uzroke distributer ne utječe i označen UNT .

Formule:

a) Prosječna učestalost zastoja

Ukupni pokazatelj sadrži ukupne zastoje ($U=UT+UNT$)

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n_U} u_i \cdot N_i}{N_{uk}} \quad (\text{zastoj/kupcu}), \quad u_i=1, \quad \text{ukupni pokazatelj}$$

gdje su:

i - index $i \in$ skupa cijelih brojeva od 1- n

u_i - oznaka za i -ti zastoj iz skupa U

N_i - broj kupaca pogođenih i -tim zastojem

N_{uk} - ukupan broj kupaca DP-a

n_U - ukupan broj zastoja

b) Prosječno trajanje zastoja napajanja kupaca

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n_U} t_i \cdot N_i}{N_{uk}} \quad (\text{minuta/kupcu}), \quad \text{ukupni pokazatelj}$$

gdje su:

i - index $i \in N$

t_i - trajanje i -tog zastoja iz podskupa U

N_i - broj kupaca pogođenih i -tim zastojem

N_{uk} - ukupan broj kupaca DP-a

c) Prosječno trajanje zastoja

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{\sum_{i=1}^{n_U} t_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^{n_U} u_i \cdot N_i} \quad (\text{minuta/zastoju), ukupni pokazatelj}$$

4. Usporedba i analiza podataka prije i nakon ugradnje indikatora u mrežu - SAIFI, SAIDI, CAIDI

Na temelju analize podataka o tipovima kvarova i dužini vremena otklanjanja istih, te količini neisporučene energije odredilo se nekoliko 'kritičnih' VP. U aplikaciji DISPO prikupljeni su podaci za analizu pouzdanosti napajanja VP u odnosu na broj zastupljenih kvarova te količini pogođenih korisnika mreže koji se napajaju sa istih. Jedno od značajnih VP na kojima nastaju često kvarovi je VP 10 kV Strmac, koje se napaja iz distributivne TS 35/10 kV Nova Gradiška 1 te osigurava opskrbu električnom energijom za ukupno 1122 korisnika mreže. Dužina zračnog dalekovoda sa otcjepima je ukupno 38 kilometara i napaja električnom energijom 21 TS naponskog nivoa 10/0,4 kV. U analizi su korišteni podaci za 2016., 2017. te 2018. godinu, nakon čega je izvršena ugradnja indikatora kvara početkom 2019. godine.

Tablica 2. 2016. godina

Redni broj kvara	Broj pogođenih kupaca	Ukupno trajanje kvara [min]	Minuta*kupac	Uzrok kvara	Neisporučena el. energija [kWh]
1936/16	266	39	10 374	pad stabla na vod	107
1935/16	1 119	11	12 309	ispad, zemljospojna	103
1714/16	1 119	228	255 132	prorada zemljospojne zaštite, pukle dvije vezne	2 187
1134/16	166	598	99 268	pukla vezna žica na otcjepu	819
1133/16	1 119	54	60 426	grmljavinsko nevrijeme	444
948/16	2	789	1 578	kvar na vodu, dozemni spoj	2 162
943/16	1 119	16	17 904	prorada zemljospojne zaštite	96
Σ	4 910	-	456 991	-	5 918

Pokazatelji pouzdanosti napajanja za 2016. godinu:

$$SAIFI = \frac{\sum_{n=1}^i N_i}{N_T} = \frac{4910}{1122} = 4,376$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{N_T} = \frac{456991}{1122} = 407,3 \text{ min/kupac}$$

$$CAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{\sum_{n=1}^i N_i} = \frac{456991}{4910} = 93,07 \text{ min/kupac}$$

gdje je:

$$\sum_{n=1}^i N_i - \text{ukupan broj pogođenih kupaca}$$

N_T – ukupan broj kupaca

$$\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i - \text{suma umnožaka vremena trajanja pojedinog kvara i broja pogođenih kupaca}$$

$$\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i = 10374 + 12309 + 255132 + 99268 + 60426 + 1578 + 17904$$

$$= 456991 \text{ minuta} * \text{kupac}$$

$$\sum_{n=1}^i N_i = 266 + 1119 + 1119 + 166 + 2 + 1119 = 4910 \text{ kupac}$$

U 2017. godini zabilježeno je ukupno 13 neplaniranih prekida opskrbe električne energije korisnika mreže koji se napajaju iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1. Uzrok su Uzrok su nepristupačnost mreže te otežano održavanje trase zračnih vodova (drveće) pad drveća na vodove, oštećenja koja nastaju atmosferskim pražnjenjima (oštećenja na katodnim provodnicima prenapona, izolatorima, stupovima ...)

Tablica 3. 2017. godina

Redni broj kvara	Broj pogođenih kupaca	Ukupno trajanje kvara [min]	Minuta*kupac	Uzrok kvara	Neisporučena el. energija [kWh]
2153/17	1 119	5	5595	zbog težine snijega-kratkotrajna zaštita	48
2152/17	1 119	5	5595	zbog težine snijega-kratkotrajna zaštita	51
1874/17	953	86	81 958	kvar na postrojenju	778
1696/17	266	33	8 778	grmljavinsko nevirijeme	109
1695/17	107	85	9 095	palo stablo na vod	23
1694/17	266	275	73 150	olujno nevirijeme	829
1693/17	1 119	4	4 476	olujno nevirijeme	23
1437/17	1 119	207	231 633	oštećenje izolatora	567
1435/17	1 119	126	140 994	kvar na vodu	1 036
1377/17	266	49	13 034	grmljavinsko nevirijeme	201
1376/17	1 119	4	4 476	grmljavinsko nevirijeme	26

1166/17	1 119	34	38 046	ptica na vodu- zemljospojna zaštita	326
985/17	56	75	4 200	izgorio VN osigurač na TS 10/0,4 kV	21
Σ	9 747	-	621 030	-	4 038

Pokazatelji pouzdanosti napajanja za 2017. godinu:

$$SAIFI = \frac{\sum_{n=1}^i N_i}{N_T} = \frac{9747}{1122} = 8,68$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{N_T} = \frac{621030}{1122} = 553,50 \text{ min/kupac}$$

$$CAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{\sum_{n=1}^i N_i} = \frac{621030}{9747} = 63,71 \text{ min/kupac}$$

$$\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i = 5595 + 5595 + 81958 + 8778 + 9095 + 73150 + 4476 + 231633 + 140994$$

$$+ 13034 + 4476 + 38046 + 4200 = 621030 \text{ minuta} \cdot \text{kupac}$$

$$\sum_{n=1}^i N_i = 1119 + 1119 + 953 + 266 + 107 + 266 + 1119 + 1119 + 1119 + 266 + 1119 + 1119$$

$$+ 56 = 9747 \text{ kupaca}$$

U 2018. godini zabilježeno je ukupno pet neplaniranih prekida opskrbe električne energije korisnika mreže koji se napajaju iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1.

Tablica 4. 2018. godina

Redni broj kvara	Broj pogođenih kupaca	Ukupno trajanje kvara [min]	Minuta*kupac	Uzrok kvara	Neisporučena el. energija [kWh]
1668/18	1 122	146	163 812	oštećenje kabela 10 kV prilikom kopanja bagera	920
875/18	1 122	127	142 494	oštećenje spoja vodiča na ZDV	1 427
	267	18	4 806		109
674/18	1122	816	915 552	Pukao vodič na ZDV uslijed vjetrova i oluje	7 828
122/18	1 119	260	179 040	Uslijed tereta snijega i leda na ZDV popucali vodiči- kratkotrajna zaštita	1 754
	708	15	10 620		103
	443	139	61 577		610
	166	155	25 730		425
121/18	1 119	18	20 142	prolazan kvar zbog težine snijega-	173

				kratkospojna zaštita I>>	
Σ	5604	-	1 523 773	-	13 349

Pokazatelji pouzdanosti napajanja za 2018. godinu:

$$SAIFI = \frac{\sum_{n=1}^i N_i}{N_T} = \frac{5604}{1122} = 4,99$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{N_T} = \frac{1523773}{1122} = 1358 \text{ min/kupac}$$

$$CAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{\sum_{n=1}^i N_i} = \frac{1523773}{5604} = 271,91 \text{ min/kupac}$$

$$\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i = 163812 + 142494 + 4806 + 915552 + 179040 + 10620 + 61577 + 25730 \\ + 20142 = 1523773 \text{ minuta} \cdot \text{kupac}$$

$$\sum_{n=1}^i N_i = 1122 + 1122 + 1119 + 1119 + 1122 = 5604 \text{ kupaca}$$

U 2019. godini zabilježeno je ukupno pet neplaniranih prekida opskrbe električne energije korisnika mreže koji se napajaju iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1.

Tablica 5. 2019. godina

Redni broj kvara	Broj pogođenih kupaca	Ukupno trajanje kvara [min]	Minuta*kupac	Uzrok kvara	Neisporučena el. energija [kWh]
1331/19	272	24	6 528	palo stablo na vod	33
1101/19	168	20	3 360	izgorio VN osigurač	16
1023/19	1 189	113	134 357	palo drvo na ZDV (jak vjetar)	1 022
909/19	272	113	30 736	Nagnut ČRS, voda isprala zemlju oko temelja	465
	41	276	11 316		605
814/19	272	5	1 360	prolazni kvar-nadstrujna zaštita	11
Σ	2 173	-	187 657	-	2 152

Pokazatelji pouzdanosti napajanja za 2019. godinu:

$$SAIFI = \frac{\sum_{n=1}^i N_i}{N_T} = \frac{2173}{1122} = 1,94$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{N_T} = \frac{187657}{1122} = 167,25 \text{ min/kupac}$$

$$CAIDI = \frac{\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i}{\sum_{n=1}^i N_i} = \frac{187657}{2173} = 86,35 \text{ min/kupac}$$

$$\sum_{n=1}^i r_i \cdot N_i = 6528 + 3360 + 134357 + 30736 + 11316 + 1360 = 187657 \text{ minuta} \cdot \text{kupac}$$

$$\sum_{n=1}^i N_i = 272 + 168 + 1189 + 272 + 41 + 272 = 2173 \text{ kupaca}$$

Tablica 6. SAIFI, SAIDI I CAIDI pokazatelji za 4 godine

Godina	minuta*kupac	Ukupan broj pogođenih kupaca	SAIFI	SAIDI	CAIDI
2016.	456 991	4 910	4,38	407,3	93,073
2017.	621 030	9 747	8,68	553,5	63,71
2018.	1 523 773	5 604	4,99	1358	271,91
2019.	187 657	2 173	1,94	167,25	86,35

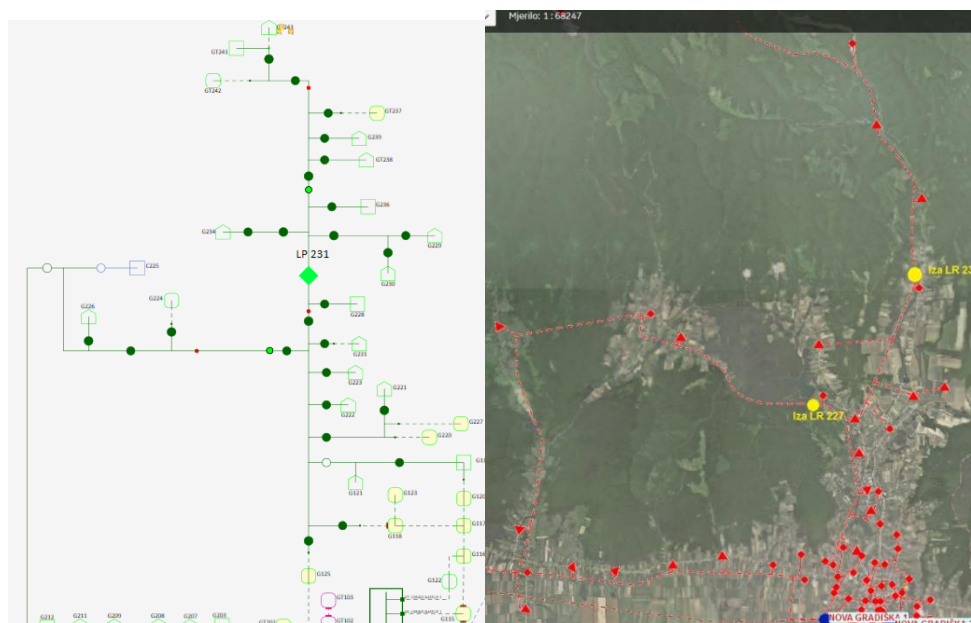
5. Primjer TS 35 kV - 10 kV i jednog VP - statistike kvarova na zračnim vodovima

Na temelju pokazatelja pouzdanosti (SAIFI, SAID i CAIDI) koji se prate putem aplikacije distribucijska pouzdanost (HEP - DISPO) izradila se procjena pouzdanosti pojedinih zračnih vodova 10 kV i 20 kV naponskog nivoa. Analiza se izradila na zračnim vodovima koja statistički imaju najviše neplaniranih prekida, nepovoljan geografski položaj a prilikom prekida opskrbe električnom energijom bude pogođen veći broj korisnika mreže te je ekipama održavanja potrebno duže vremena za detekciju otklanjanje mjesta kvara. Na distribucijskom području Elektre Slavonski Brod koncem 2018., 2019. i 2020. godine kontinuirano se ugrađuju indikatori kvara sa GPRS komunikacijom prema nadležnom dispečerskom centru. Ugrađeni indikatori kvara su tipa R400D Linetroll i ugrađeno ih je ukupno 41 što ujedno i predstavlja optimalan broj za distribucijsko područje veličine Elektre Slavonski Brod. Postavljaju se na strateška

mjesta duž zračnih vodova prije/poslije linijskih / odcjernih rastavljača gdje su duži odcjepi na vodu. Montaža se vrši dok je vod pod naponom na siguran i brz način na udaljenost od 3 do 5 metara od najnižeg vodiča. Svrha ugradnje indikatora kvara je da se izbjegnu nepotrebni obilasci nepristupačnih dijelova dionice zračnog dalekovoda te skratilo vrijeme lociranja mjesta kvara te otklanjanje samog kvara, izbjegavaju se također i uklopi voda na kvar u svrhu izolacije mjesta kvara čime se direktno smanjuju česti prekidi opskrbe električnom energijom onih korisnika mreže koji se nalaze na tzv. zdravoj dionici voda.

Lokacije mjesta ugradnje odabrana su tako da su se indikatori postavljali na linije zračnih vodova iza linijskih rastavljača što na temelju detekcije kvara omogućuje slanje ekipa na točno određeni linijski rastavljač te odvajanje kvarne dionice od „zdravog“ dijela voda. Ugrađeni Indikatori kvara Nortroll R400D imaju mogućnost podešenja praga struje prorade za zemljospojne kvarove od 2 A do 50 A, te dvopolne i tropolne kvarove od 50 A do 1000 A.

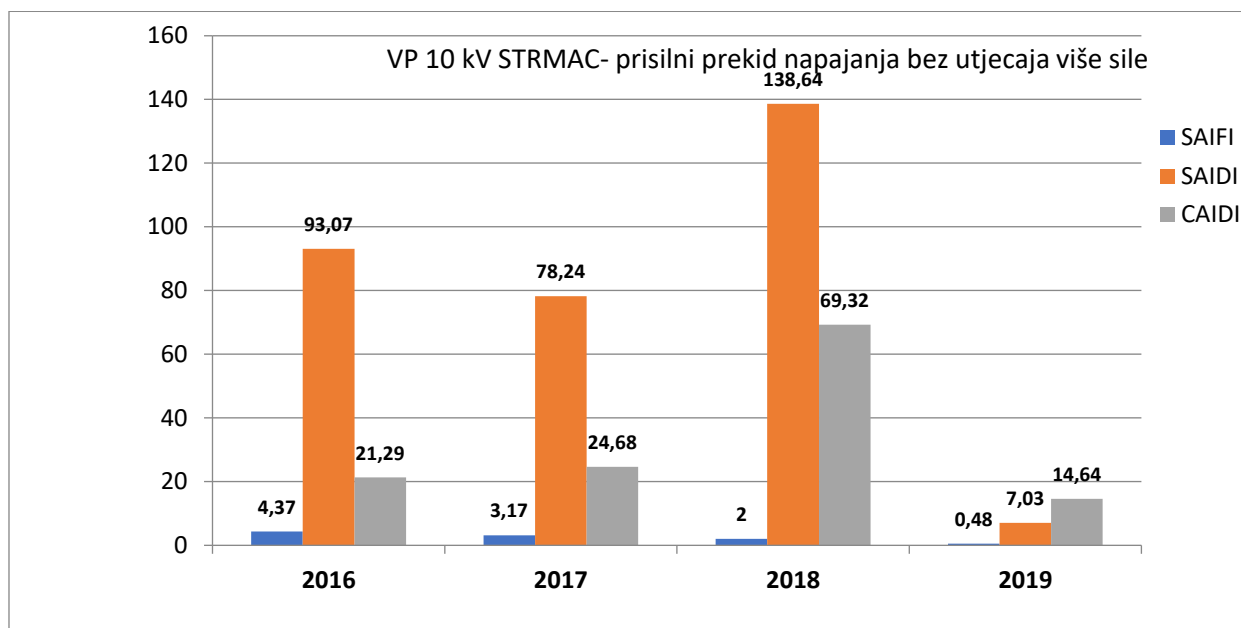
Za primjer je navedeno VP 10 kV Strmac koje se napaja iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1. Zračni dalekovod ukupno sa odcjepima je dužine 38 km te osigurava opskrbu ukupno 1122 korisnika mreže, 80 % dužine voda je relativno nepristupačan teren okružen brdima i šumom te slabom cestovnom povezanošću (slika 1). Podaci koji su se koristili u analizi pokazatelja pouzdanosti uzeti su za četiri godine od 2016. do 2019. godine, kako bi se smanjio značaj ekstremnih slučajeva zastoja na mreži.



Slika 13. Prikaz lokacije ugradnje IK u SN 10 kV mreži

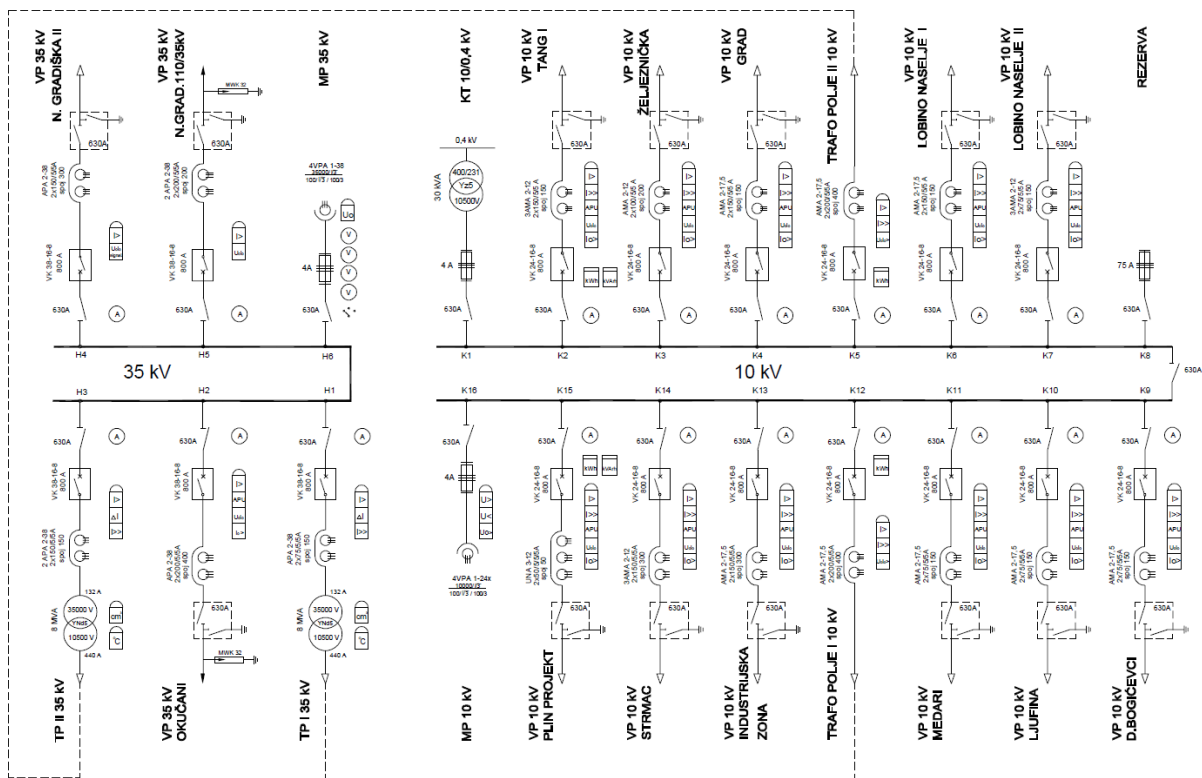
Tablica 7. Prikaz pokazatelja pouzdanosti –VP 10 kV Strmac –bez utjecaja više sile

Godina	VP 10 kV Strmac		
	SAIFI	SAIDI	CAIDI
2016	4,37	93,07	21,29
2017	3,17	78,24	24,68
2018	2	138,64	69,32
2019	0,48	7,03	14,64



Slika 14. Prikaz pokazatelja pouzdanosti za VP 10 kV Strmac razdoblje 2015. do 2019. godine

Iz dijagrama i tablice se vidi evidentno skraćenje vremena trajanja ukupnih prekida u 2019. godini gdje su indikatori kvara ugrađeni krajem 2018. g., i početkom 2019. godine što ujedno utječe i na bržu detekciju kvara i kraće vrijeme otklanjanja samog kvara.



Slika 15. Jednopolna shema distribucijske transformatorske stanice 35/10 kV Nova Gradiška 1

Tablica 8. Doprinosi kapacitivnih struja pojedinog voda primjer TS 35/10 kV Nova Gradiška 1

TS 35/10 kV Nova Gradiška 1	
Naziv VP 10 kV	Doprinos struje zemljospoja I ₀ (A)
Tang 1 (G1-VP10-2)	1,32
Grad (G1-VP10-4)	5,35
L.Naselje 1 (G1-VP10-6)	1,43
L.Naselje (G1-VP10-7)	4,88
Bogičevci (G1-VP10-9)	3,6
Ljufina (G1-VP10-10)	3,41
Medari (G1-VP10-11)	1,61
Ind.Zona (G1-VP10-13)	4,12
Strmac (G1-VP10-14)	5,54
Plin Projekt (G1-VP10-2)	1,12
Ukupna struja I₀	32,38

Postupak primarnog ispitivanja indikatora kvara na zračnom vodu:

1. U TS 35/10 kV izvršiti pregled relejne zaštite
2. Na vodu na kojem se ispituje primarni zemljospoj isključiti funkciju APU-a
3. Nakon što se izvrši ugradnja indikatora kvara, odrediti povoljnu točku na kojoj će se postaviti jednopolni uzemljivač
4. Povoljna točka na kojoj se vrši uzemljavanje vodiča na vodu predstavlja odcjepnu TS 10/0,4 kV koja se nalazi iza mjesta ugradnje IK sa manjim brojem potrošača
5. Odabrano mjesto se rastavi na odcjepnom rastavljaču, rastavi se NN sklopka te se postavi jednopolni uzemljivač
6. U dogovoru sa dežurnim dispečerskim centrom sastavlja se rastavljač na kvar te nastaje zemljospoj
7. Analizira se prorada indikatora kvara prema dispečerskom centru

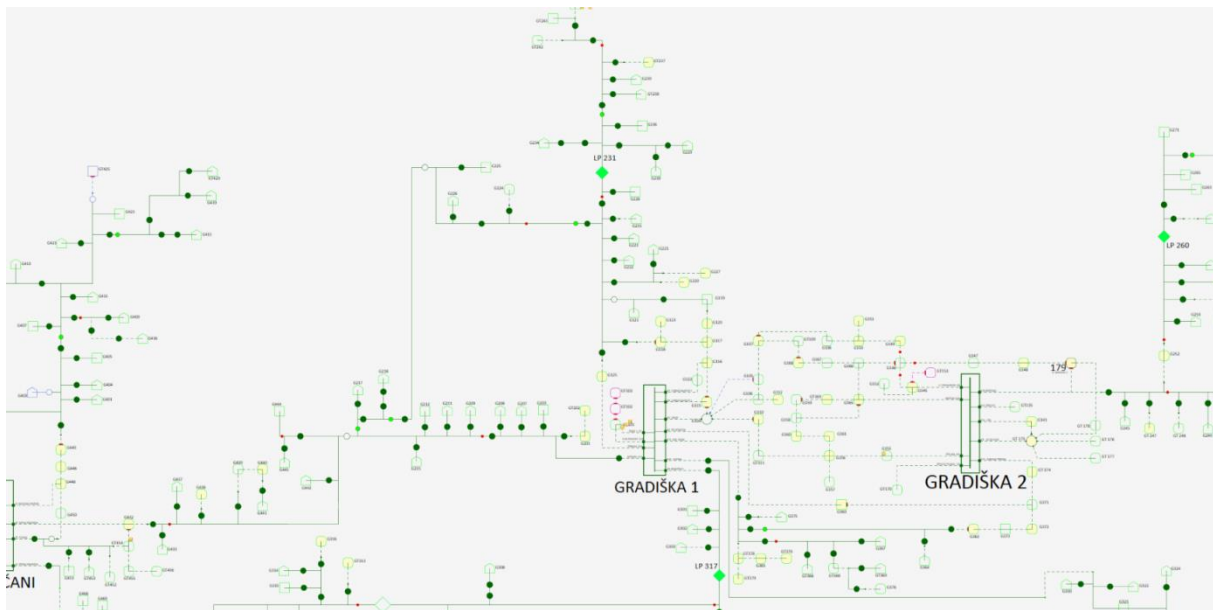
Na temelju izmjerenih kapacitivnih struja zemljospoja (Tablica 7.) koje su doprinos svih vodova dobiveni su podaci za udešenje proradnih struja za zemljospojne kvarove. Prema tome I_{cuk} iznosi:

$$I_{cuk} = 32,38 A$$

$I_c < 5 A$ jer cijeli vod Strmac ima doprinos od 5 A , tako da je doprinos iza mjesta ugradnje indikatora kvara puno manji. Slijedi da podešena proradna struja za zemljospojne kvarove mora iznositi :

$$I_c < I_p < I_{cuk} - I_c$$

Što znači da proradna struja treba biti u granici od 5 A do 20 A kako bi indikator kvara ispravno radio, za naš slučaj odabrano je podešenje od 7 A kako visina ugradnje indikatora kvara na stup ne bi imala značajnijeg utjecaja. Za kvarove nastale preopterećenjem i kratkim spojem podešena struja je postavljena na razinu nadstrujne zaštite na početku samog voda.



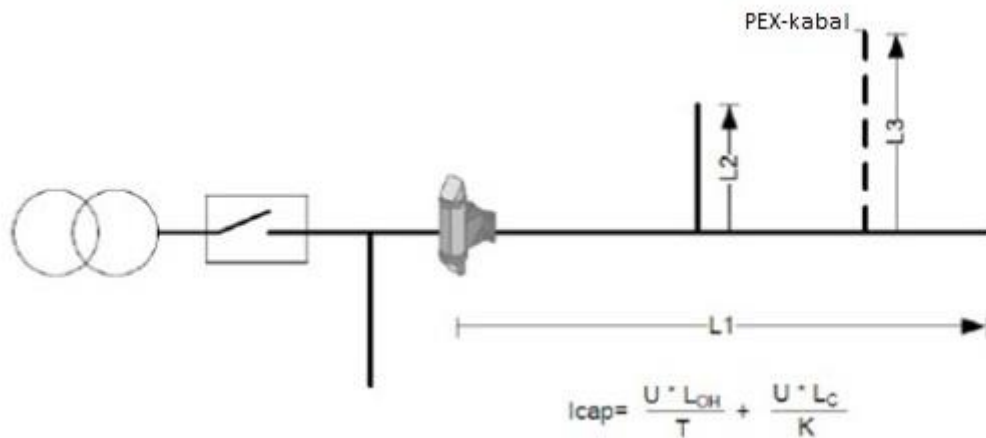
Slika 16. Jednopolna shema SN mreže koja se napaja iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1

6. Analiza mreže i mjerenje i proračun struja zemljospoja i kratkog spoja

Indikator LineTroll R400D nije usmjeren i otkriva struje kvara bez određivanja njenog smjera. U slučaju zemljospoja, kapacitivna energija mreže se izbija na mjestu kvara. Potrebno je potvrditi da su struje kapacitivnih izbijanja dublje u mreži od mjesta ugradnje indikatora ispod unaprijed podešene razine jednopolnih kvarova kako bi se izbjeglo neispravno pokazivanje indikatora koji se nalazi iza mjesta kvara.

Općenito, struje kapacitivnih izbijanja se mogu zanemariti u kruto uzemljenim mrežama ukoliko ukupna duljina vodova nije jako velika (< 50 km) i ukoliko se vod ne sastoji od kablskih dionica.

Ako ukupna kapacitivna struja prelazi razinu prorade, potrebno je promijeniti razinu prorade ili ugraditi indikatore na otcijepe, a ne na magistralni vod. Kapacitivni izboj otcijepa je ograničen vlastitim kapacitetom, dok se kapacitivna struja magistralnog voda sastoji od doprinosa svih otcijepa koji se nalaze dublje u mreži od mjesta ugradnje indikatora. Podzemni kabeli imaju veći kapacitet od nadzemnih vodova. To se mora uzeti u obzir kada zračni vod napaja kabel.



Slika 17. Proračun struja kvara za zračni i kabelski vod

gdje je:

I_{cap} - kapacitivna struja (A)

$L_{OH} = L_{01} + L_{02}$ (ukupna duljina nadzemnog voda u km)

$L_C = L_3$ (ukupna duljina podzemnog kabela u km)

U - nominalni napon (kV)

$T = 300$ za uzemljene otpornike (NCR)

$T = 900$ za čvrsto uzemljenu nulu

$K = 10$ za kablove impregnirane uljem

$K = 5$ za PEX kabele

$K = 3$ za PVC kabele

6.1. Primjer proračuna

$$L_{NV} = L_1 + L_2 = 20 \text{ km}$$

$$L_K = 1 \text{ km PEX kabela}$$

$$U = 10 \text{ kV}$$

$$I_{CAP} = \frac{U \cdot L_{NV}}{T} + \frac{U \cdot L_K}{K} = \frac{10 \cdot 20}{300} + \frac{10 \cdot 1}{5} = 2,67 \text{ A}$$

L_{NV} - duljina nadzemnog voda

L_K - duljina kabelskog voda

Kako bi se izbjegla prorada LineTrolla R400D ugrađenog dublje u mreži od lokacije iz gornjeg primjera, razina prorade za jednofazne kvarove mora biti podešena na razinu veću od 2,67 A.

Sljedeći kriterij se mora ispuniti:

$$I_{cap} < I_t$$

I_{cap} - kapacitivna struja dublje u mreži od indikatora

I_t - osjetljivost na zemljospojeve (razina prorade)

6.2. Primjer proračuna za izoliranu mrežu

Na temelju podataka iz GIS-a VP 10 kV Strmac ukupne dužine je 32073 m od čega je 4328 m kabelski vod tipa XHP 1x95/25 mm², a 27745 m je nadzemi vod tipa AL-Fe 3X95 mm².

Na VP 10 kV Strmac ugrađena su 2 indikatora kvara (IK13 i IK33).

IK pod nazivom IK 33 smješten je na račvanju VP 10 kV Strmac prema Cerničkoj Šagovini iza linijskog rastavljača broj LR 227. Dio nadzemne i kabelske mreže iza njega prema mjestu potrošnje iznosi ukupno 8058 m, dok kabelske mreže na tom dijelu voda nema.

Prema tome proračun kapacitivne struje koja će prilikom dozemnih kvarova aktivirati IK 33 iznosi:

$L_{NV} = 8,058 \text{ km}$ - dužina nadzemnog dijela voda iza IK 33

$L_{KV} = 0 \text{ km}$ - dužina kabelskog dijela voda iza IK 33

$T = 300$ konstanta za proračun kapacitivnog udjela zračnih mreža za uzemljene mreže preko otpornika i izolirane mreže

$K = 5$ za kabele tipa PEX i XHP

$U_n = 10 \text{ kV}$ - nazivni napon promatrane mreže

Doprinos kapacitivne struje iza mjesta ugradnje IK iznosi:

$$I_C = \frac{U \cdot L_{NV}}{T} + \frac{U \cdot L_{KV}}{K} = \frac{10 \cdot 8,058}{300} + \frac{10 \cdot 0}{5} = 0,268 \text{ A}$$

Pa je ispunjen sljedeći uvjet:

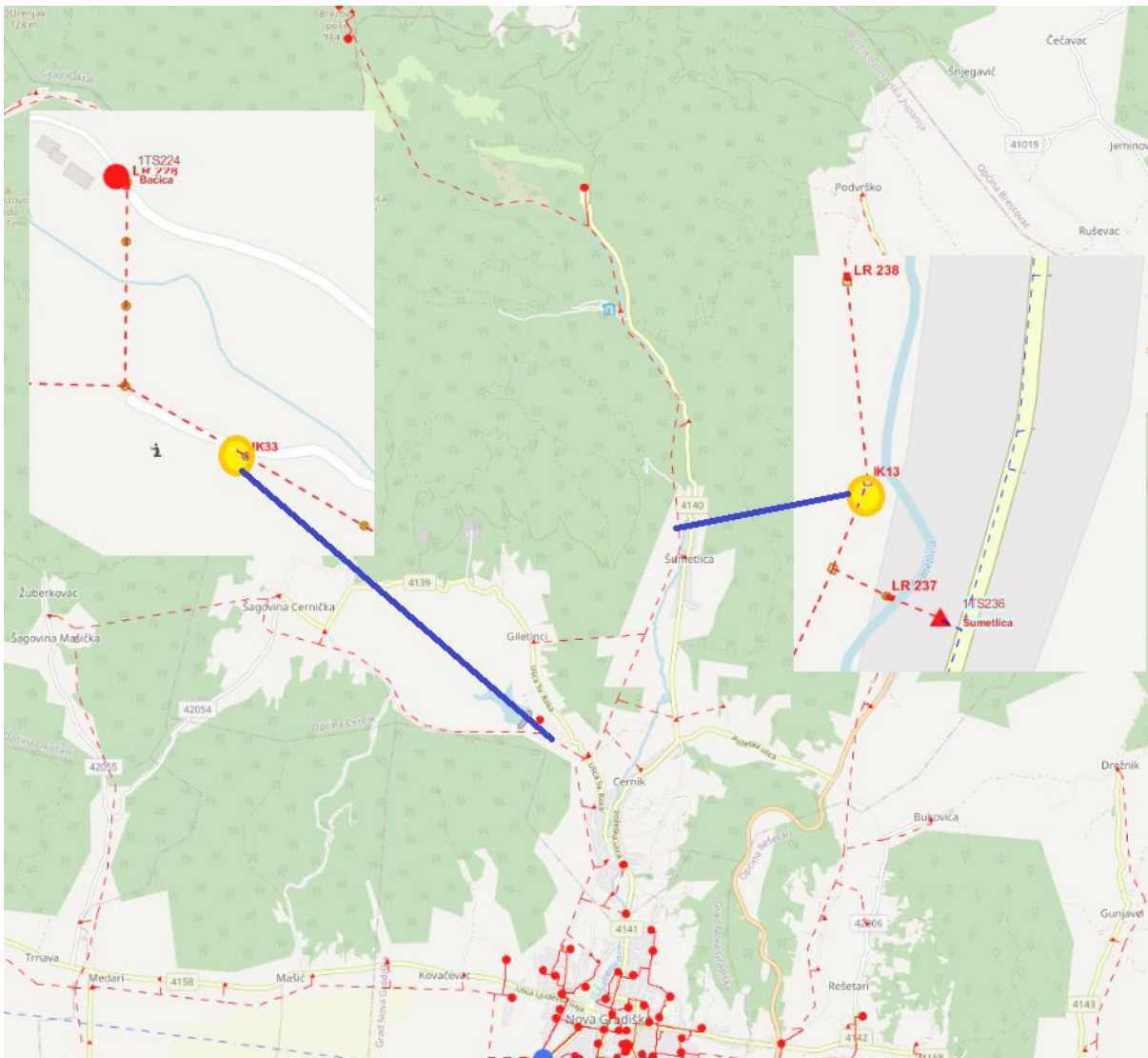
$$I_C < I_P > I_{CUK} - I_P$$

Gdje je

I_C – ukupna kapacitivna struja doprinosa dijela voda iza IK 33

I_P – podešena prorađna struja na IK 33

I_{CUK} - ukupna kapacitivna struja svih ostalih vodova napajanih iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1. Doprinosi kapacitivnih struja pojedinog voda primjer TS 35/10 kV Nova Gradiška 1.



Slika 18. Lokacija ugradnje IK 13 i IK 33 na VP 10 kV Strmac

IK pod nazivom IK 13 smješten je VP 10 kV prije linijskog rastavljača broj LR 238 prema Strmcu. Dio nadzemne i kabelske mreže iza njega prema mjestu potrošnje iznosi ukupno 10448 m, od čega je 552 m kabelski dio voda a 9896 m dio zračnog dijela voda.

Prema tome proračun kapacitivne struje koja će prilikom dozemnih kvarova aktivirati IK 13 iznosi:

$L_{NV} = 9,896 \text{ km}$ - dužina nadzemnog dijela voda iza IK 13

$L_{KV} = 0,552 \text{ km}$ - dužina kabelskog djela voda iza IK 13

$T = 300$ konstanta za proračun kapacitivnog udjela zračnih mreža za uzemljene mreže preko otpornika i izolirane mreže

$K = 5$ za kabele tipa PEX i XHP

$U_n = 10 \text{ kV}$ - nazivni napon promatrane mreže

Doprinos kapacitiven struje iza mjesta ugradnje IK iznosi:

$$I_C = \frac{U \cdot L_{NV}}{T} + \frac{U \cdot L_{KV}}{K} = \frac{10 \cdot 9,896}{300} + \frac{10 \cdot 0,552}{5} = 1,43 \text{ A}$$

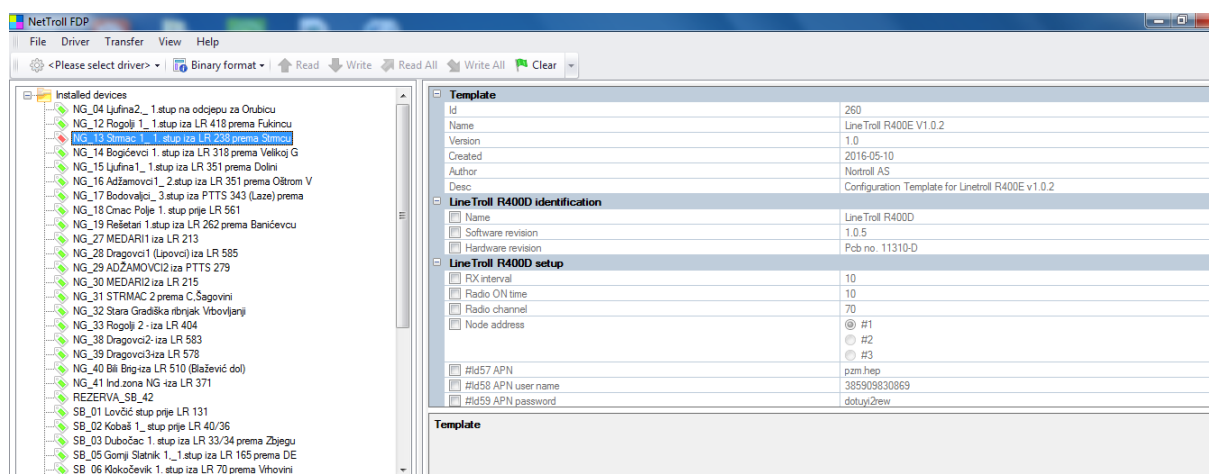
Prema tome podešena proradna struja I_p za IK 33 je 4 -7 A

Pa je ispunjen sljedeći uvjet:

$$I_C < I_p > I_{CUK} - I_p$$

7. Konfiguracija i podešenje indikatora kvara za određeno vodno polje 10 Kv

Programski alat za konfiguriranje i parametriranje postavki indikatora kvara (RD400) s GPRS komunikacijom prema nadležnom centru i SCADA sustavu je NetTrollIFDP.



Slika 19. Sučelje alata za konfiguraciju parametara IK

Svaki pojedinačni indikator koji je dodan u NetTroll ima svoj naziv pod ID, te dodatni dodijeljeni naziv koji opisuje bitne informacije o samom Ik.

U primjeru na slici 19. NG_13 Strmac 1_1.stup iza LR 238 prema Strmcu sadrži sljedeće informacije:

NG – predstavlja područje Nove Gradiške jer DP Elektra Slavonski Brod je nadležna za područje cijele BPŽ.

13 – predstavlja broj ugrađenog IK (od ukupno ugrađenih 43)

Strmac 1 – predstavlja broj Ik na VP – kada postoji više IK na pojedinom vodu tada im se dodjeljuje redni broj, ovaj Ik je postavljen pod brojem 1 na VP Strmac.

1.stup iza LR 238 – predstavlja njegovu lokaciju ugradnje na samome vodu. (Slika 8)

The screenshot shows a configuration window titled "Threshold settings earth fault" and "Threshold settings short circuit fault".

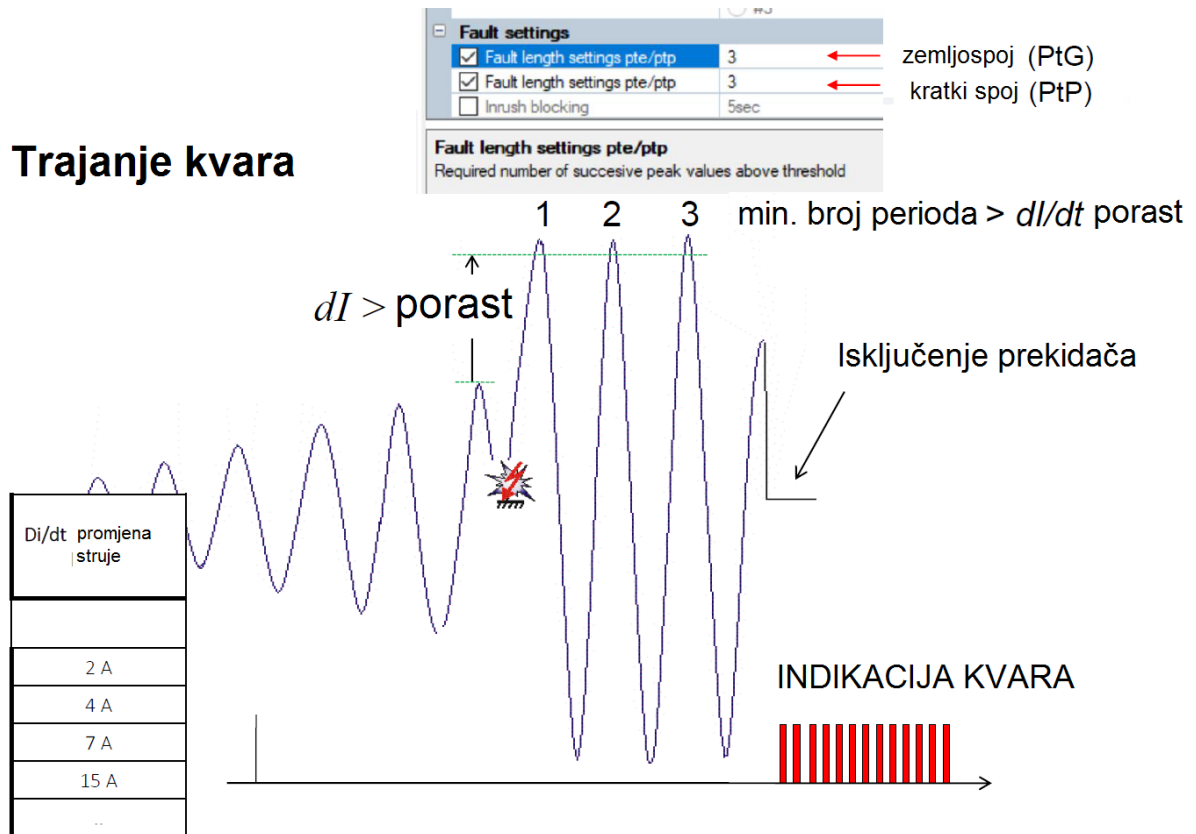
Parameter	Value
Earth fault threshold	4A
Threshold PTE	3214
Threshold current on	2400
Short circuit threshold	100A

Slika 20. Parametrisiranje prorađnih vrijednosti struja za kvarove kod zemnog spoja i opterećenja

Na temelju analize mreže (proračuna i mjerenja) određuju se pragovi prorade razina struja kvara za pojedini vod Slika 20. Proračuni i mjerenja prikazani su u poglavlju 6. U ovom slučaju prag proradne struje za tipove kvarova koji nastaju prilikom dozemnih spojeva faznog vodiča prema zemlji (u većini slučajeva dodirivanje granja drveća sa faznim vodičima prolazni kvarovi / pad drveća na vod / puknuće jednog vodiča/ ptice) je podešen na 4 A . Predstavlja struju koja nastaje kod kapacitivnih izbijanja (dozemnih spojeva- jednopolnih kvarova) a koja utječe na promjenu magnetskog polja jer uzrokuje nesimetriju tereta po pojedinoh fazi. Razina podešenja praga proradne struje za ove tipove kvarova kreće se u razini do 2 A do 50 A.

Za parametre kod kvarova koji nastaju zbog preopterećenja ili kratkih spojeva bitan podatak je sam teret opterećenja voda u normalnom pogonu. U praksi opterećenje se uvijek podešava na vrijednost struje pri normalnom opterećenju (kod uključanja vodova poslije kvarova ili planiranih radova dolazi do tzv. potezne struje potrošača). Za kvarove kod kratkih spojeva koje nastaju prilikom spajanja dva ili više vodiča, atmosferskog izbijanja ili pada drveća na sva tri vodiča struje su znatno veće. Od nekoliko stotina do nekoliko kilo A. Prag prorađnih struja kod kvarova nastalih zbog preopterećenja i kratkih spojeva kreće se u rasponu do 50 A do 1000 A.

Trajanje kvara

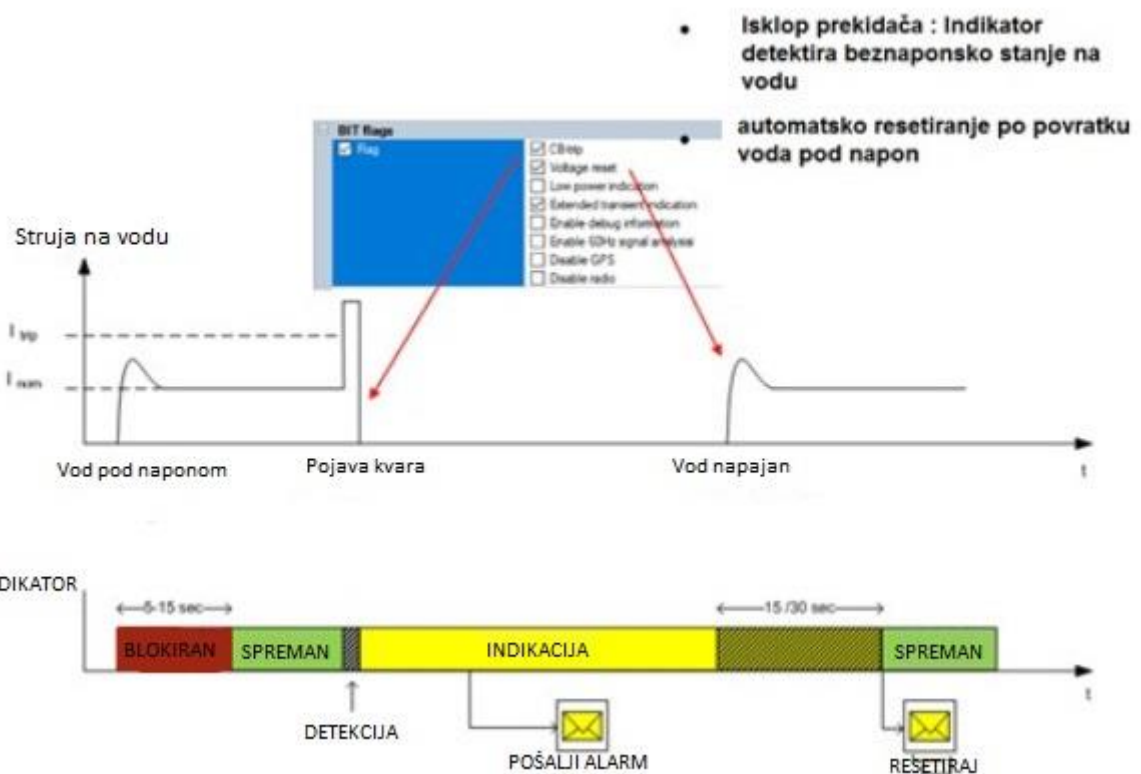
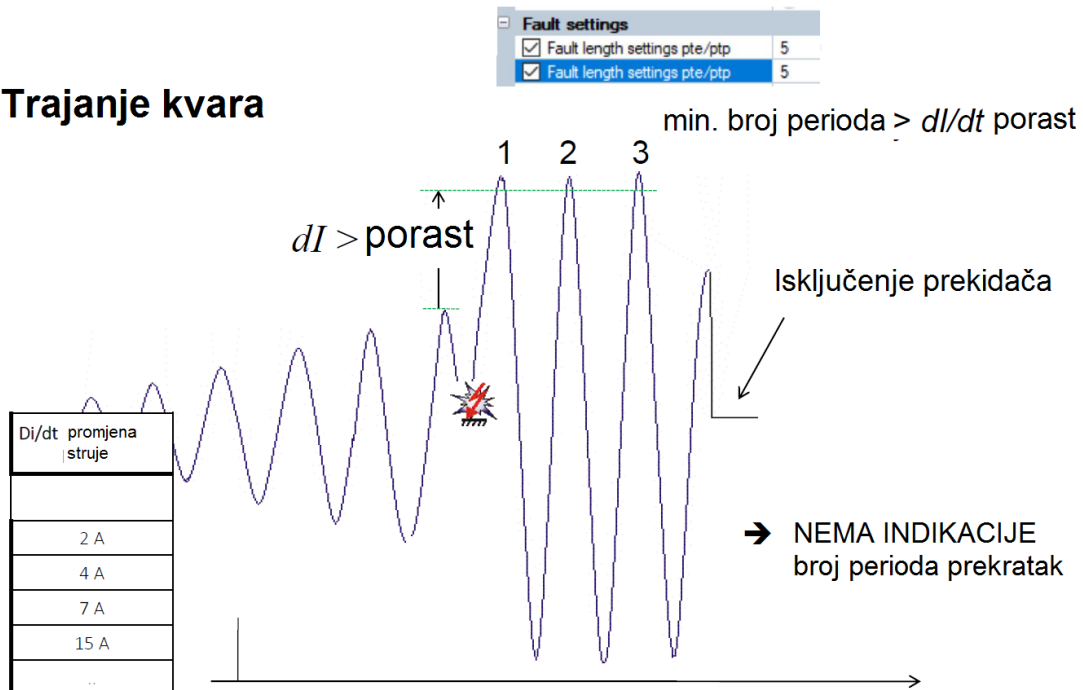


Slika 21. Uvjeti podešenja vremena trajanja kvara

Za tipove kvara zemni spoj (PtG – Phase to Ground) i kratke spojeve (Phase to Phase) uvjet prorade indikacije je funkcija brzina promjene struje u vremenu koja se određuje sa parametrom „Fault length settings“ gdje se može odabrati trajanje kvara u periodama u granicama od 3 – 5 poluperioda. S obzirom da je vremensko zatezanje zaštite od zemljospojeva ide od 0.5 – 2.5 s ovaj parametar za ovu zaštitnu funkciju nije toliko bitan. Kod zaštita od kvarova kratkih spojeva, struje su znatno veće te je vrijeme zatezanja zaštite od 0 – 0,05 s, pa ovaj parametar ima značaja. Obično se podešava na 3 poluperiode.

U slučaju da je kvar karaktera gdje vrijeme isklopa prekidača kraće od podešenog broja poluperioda u ovom primjeru 5 , prekidač će isključiti vodno polje u kvaru ali neće doći do indikacije kvara slika 21.

Trajanje kvara

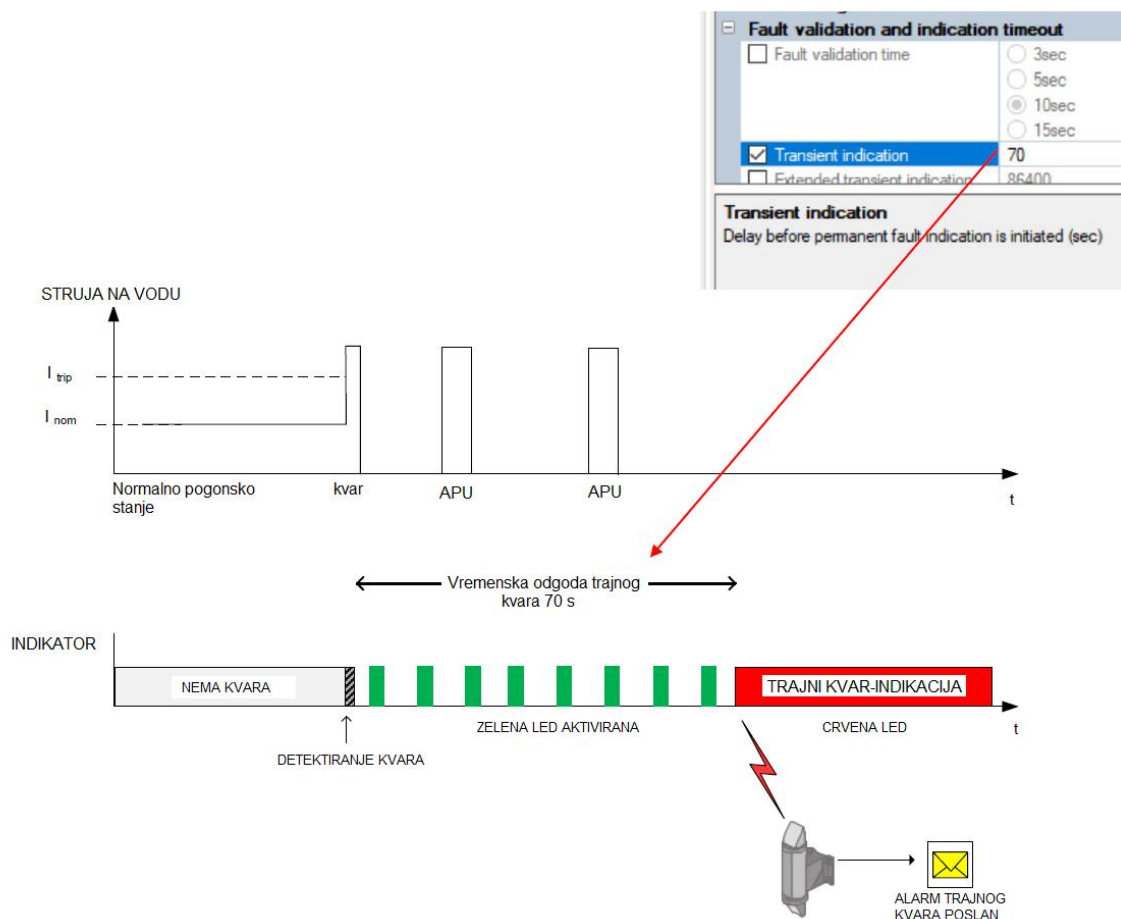


Slika 22. Prolazni kvarovi – detekcija [2]

Kod uključanja voda funkcija Inrush Blocking – blokirati će rad indikatora na nagle promjene magnetskog i električnog polja zbog prijelaznih pojava kod uključanja, da bi

indikator pravilno detektirao vod mora biti pod naponom 5 s – 15 s (ovisno o vremenskom podešenju funkcije)

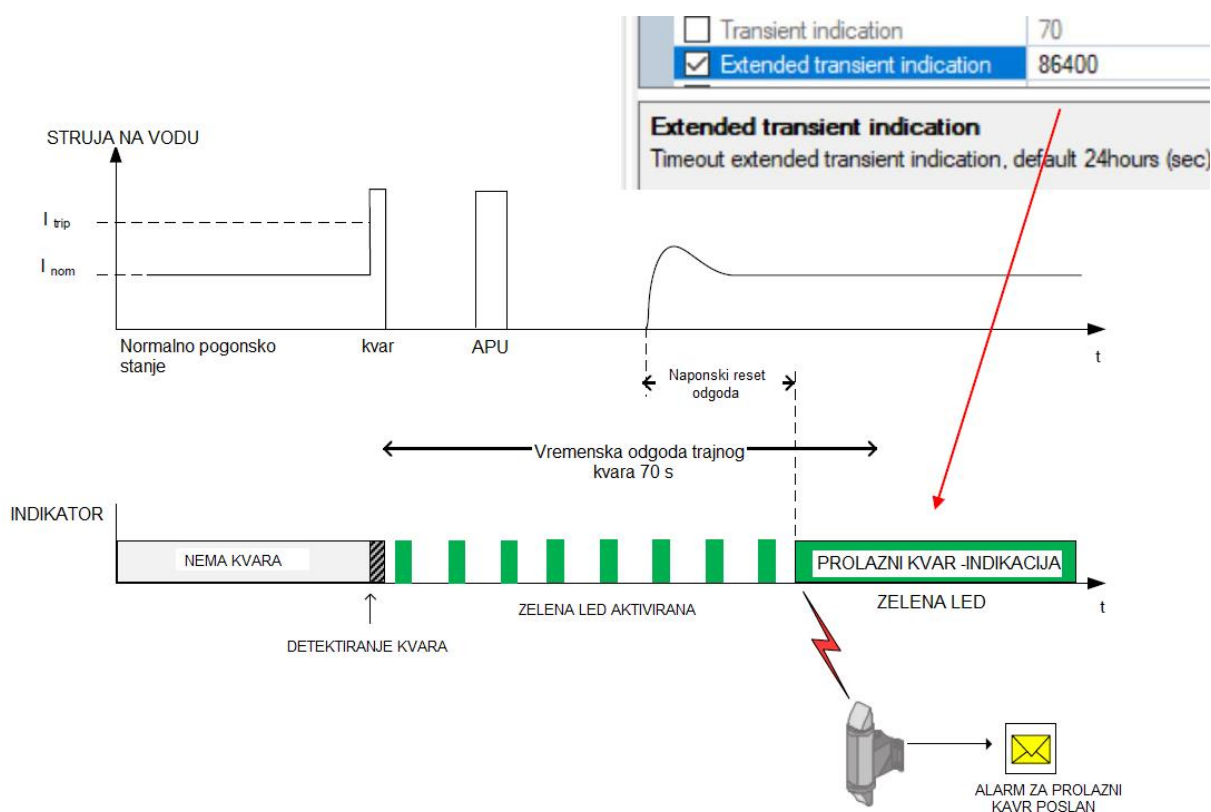
Kod prolaznih kvarova gdje dolazi do ponovnog uključenja voda – funkcija zaštite APU (automatski ponovni uklop) indikator detektira struju kvara odnosno promjenu magnetskog polja, dolazi do isključenja prekidača te vod ostaje u beznaponskom stanju, nakon aktiviranja funkcije APU-a dolazi do ponovnog uključenja voda i vod je pod naponom. Indikator se nakon pojave napona resetira ako je funkcija Voltage reset aktivna i šalje informaciju u nadležni centar o detekciji prolaznog kvara. Ova informacija predstavlja podatak o mogućem potencijalnom budućem kvaru ili slabom mjestu na vodu.



Slika 23. Trajni kvar – detekcija [2]

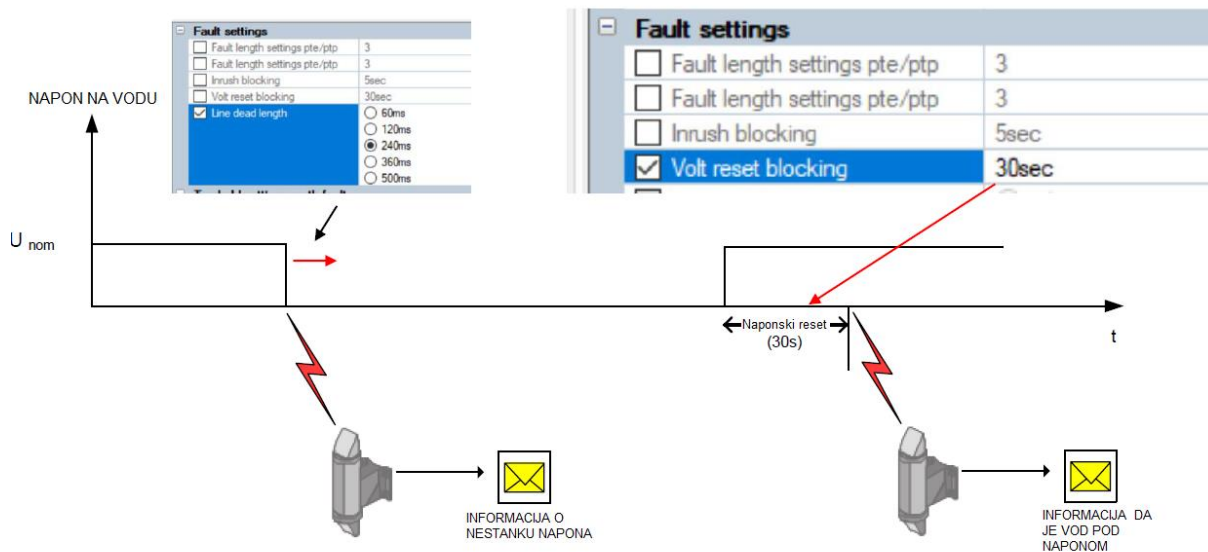
Kod trajnih kvarova indikator najprije detektira promjenu magnetskog i električnog polja te

sa vremenskom odgodom koja se definira u rasponu od 5 do 300 s. U ovom slučaju vrijeme odgode da bi indikator odredio da li je trajni ili prolazni kvar podešeno je na 40 s, iz razloga što se ciklus APU-a podešava na 0,3 s i 30 s. Nakon vremena prolazne indikacije odnosno nakon 40 s beznaponske pauze na vodu indikator detektira trajan kvar te uključuje lokalnu bljeskalicu (crvena boja) i prosljeđuje daljinski putem GPRS komunikacije u nadležni centar.



Slika 24. Detekcija prolaznog kvara [2]

Kod prolaznih kvarova gdje dolazi do uspješnog uključanja APU-a dolazi do detekcije kvara i budući da je vod uključen nakon vremenske odgode dolazi do naponskog reseta indikatora nakon čega indikator šalje informaciju o prolaznom kvaru.

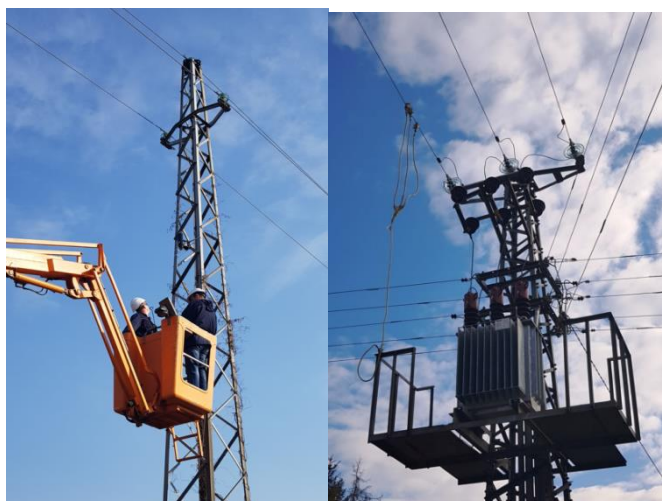


Slika 25. Informacija o naponu na vodu [2]

Indikator ima i funkciju neovisno da li je vod isključen zbog uzroka kvara ili planiranih radova o dojadi stanja napona na vodu. Prilikom isključenja napona na vodu Ik dojavljuje informaciju o nestanku napajanja ili po povratku napona stanje normal.

8. Postupak ugradnje i primarno ispitivanje prorade indikatora kvara

Ugradnja IK vrši se na vodove koji su pod naponom jer IK mora prilagoditi svoje detektore za električno i magnetsko polje, ukoliko se ugradnja izvrši na vodove koji su u beznaponskom stanju postoji mogućnost pogreške prilagodbe detektora što u konačnici može uzrokovati da IK ne proradi kod pojave kvara.



Slika 26. Postupak ugradnje IK na vod

Postupak primarnog ispitivanja IK13 na zračnom vodu:

1. U TS 35/10 kV Nova Gradiška 1 izvršiti pregled relejne zaštite

18.	VP	10 kV STRMAC	PRIL2000 I>	(APU)	2x150/300	270	0,1k
		(G1-VP10-14)	I>>			700	0,05
			Io>			30	4,50
			Uolo>	(APU)		3	3,00

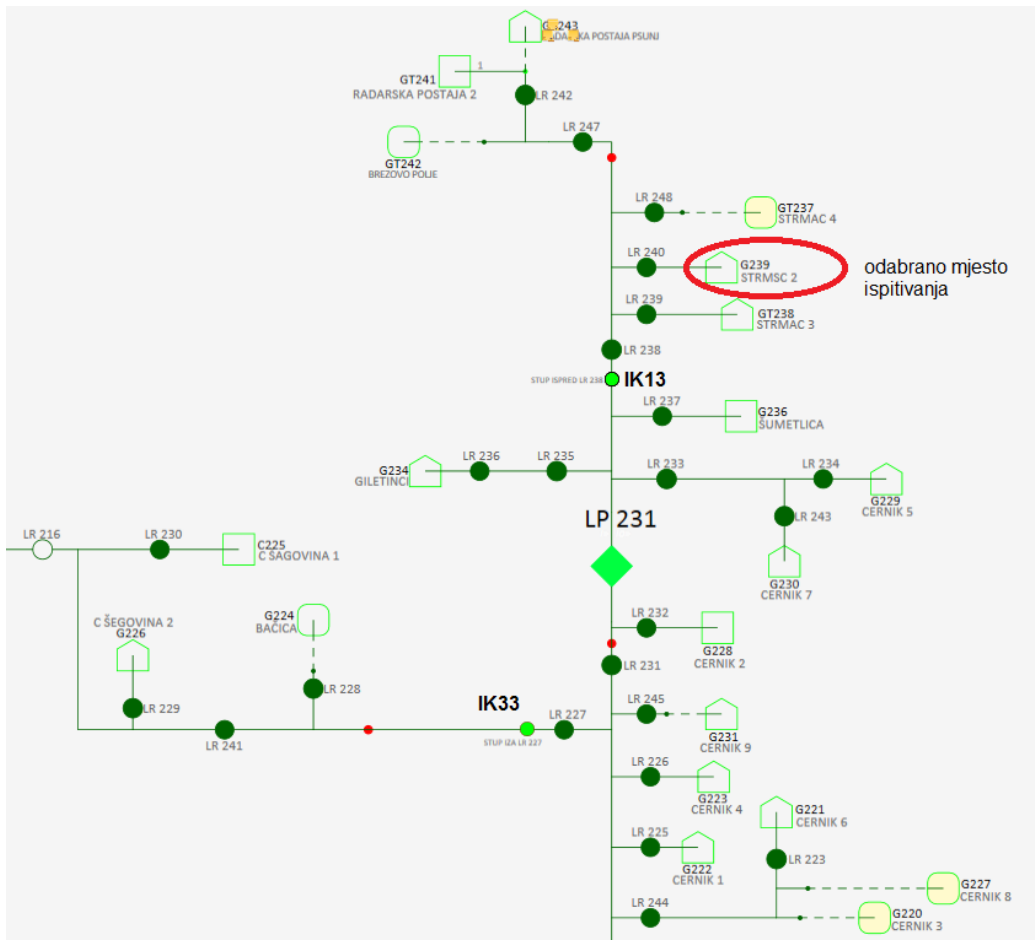
Slika 27. Podešenje zaštite na VP 10 kV =K14 Strmac u TS 35/10 kV Nova Gradiška
1

Za potrebe ispitivanja primarno je simuliran jednopolni kvar (zemljospoj) iz razloga protjecanja manjih struja kvara (prema proračunu u poglavlju 6. maksimalna struja koja protječe prilikom 1-polnih kvarova je oko 30 A što ne predstavlja problem nastanka mogućih oštećenja na opremi prilikom mehaničkih naprezanja koja nastaju prilikom prolaska struje kvara)

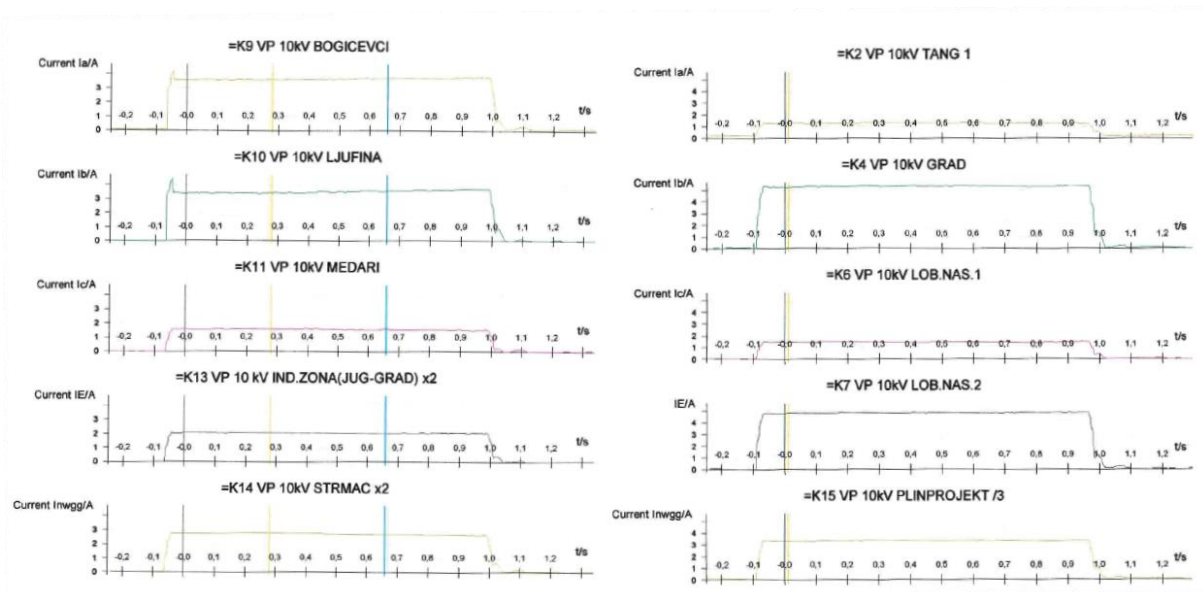
2. Na vodu =K14 Strmac na kojem se ispituje primarni zemljospoj isključiti funkciju APU-a (automatski ponovni uklop) jer se radi primarno simulirani kvar te da se izbjegne ponovno uključenje na kvar a i izbjegne višestruki prekid opskrbe

električnom energijom svih potrošača na VP 10 kV Strmac (1122 priključna mjerna mjesta)

3. Nakon što se izvrši ugradnja IK (prema slici 26.), odrediti povoljnu točku na kojoj će se postaviti jednopolni uzemljivač
4. Povoljna točka na kojoj se vrši uzemljavanje vodiča na vodu predstavlja odcjepnu TS 10/0,4 kV G239 Strmac 2 koja se nalazi iza mjesta ugradnje IK sa najmanjim brojem potrošača – iz razloga da za vrijeme ispitivanja bude što manje potrošača bez napajanja
5. Odabrano mjesto se rastavi na odcjepnom rastavljaču OLR 240, rastavi se NN sklopka u TS G239 te se postavi jednopolno uzemljivač (slika 26.)
6. Prema planu i programu primarnog ispitivanja signalizacije i dojave IK sa daljinskom dojavom sa dežurnim dispečerskim centrom sastavlja se OLR br 240 rastavljač na simulirani kvar te nastaje zemljospoj prilikom kojeg prorađuje zaštita Uolo> te prekidač isključuje VP 10 kV =K14 Strmac u TS 35/10 kV Nova Gradiška 1
7. Nakon detektiranja mjesta kvara te prosljeđivanja informacija prema nadležnom dispečerskom centru rastavlja se OLR 240 te dežurni dispečer daljinski uključuje VP 10 kV Strmac te se osigurava opskrba električnom energijom za sve potrošače. Ovaj proces simuliranja kvara u kojem ostaje 1122 potrošača bez opskrbe električnom energijom traje kraće od 1 minute te prema Mrežnim pravilima nije potrebno za kraj.



Slika 28. Prikaz povoljne lokacije za simuliranje jednopolnog kvara – TS G239 Strmac 2



Slika 29. Izmjereni doprinosi struja zemljospoja u registru poremećaja

Na slici 29. prikazani su doprinosi kapacitivnih struja pojedinih VP 10 kV koja se napajaju iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1.

Mjerenja su dobivena putem numerički terminala zaštite gdje se funkcija registratora poremećaja aktivira da snimi prijelaznu pojavu prilikom pojave nultog napona na mjernom polju. Nulti napon na mjernom polju MP 10 kV pojavi se prilikom nastanka dozemnog spoja (jednopolnog kvara) na bilo kojem polju. Tako da je slika 29. dobivena očitavanjem snimke iz registratora događja po pojedinom VP u TS 35/10 kV Nova Gradiška 1.

9. Zaključak

Na temelju promatranog perioda od 2017-2019 mjeseca te pogonskih iskustava na području HEP ODS d.o.o. Elektre Slavonski Brod, značajno je smanjeno vrijeme trajanja detektiranja te otklanjanja kvara što direktno utječe na poboljšanje pokazatelja pouzdanosti napajanja. Područje Elektre Slavonski Brod sa ukupno 41 ugrađenim IK ispunilo je svoje potrebe za istim. Daljnjim ulaganjem u automatizaciju po dubini SN mreže i ulaganjem novih tehnologija značajno se utječe na poboljšanje pokazatelja pouzdanosti napajanja, indirektno se smanjuju i troškovi transporta vozila, smanjuje se količina neisporučene električne energije.

Literatura:

[1]-http://www.elexim.net/public/pdf/Nortroll_LINETROLL_ENG.pdf, 14.7.2020.

[2]-Nortroll (2013.), Linetroll R400D, Korisničke upute, Norway

[3]-<https://romind.ro/en/category-products/fault-indicators/> 11.9.2020.

[4]-<http://www.mr-bh.com/wp-content/uploads/2019/08/DS-LineTroll-R400D.pdf>, 14.7.2020.

[5]-https://bib.irb.hr/datoteka/242161.2005_C6-01.pdf, 14.7.2020.

[6]-P. Mršić, Č.Zeljковиć, „Pozicioniranje indikatora kvarova u nadzemnim distributivnim mrežama metodom pretraživanja“ , Infoteh-Jahorina, ožujak 2017.

[7]-Hrvatska energetska regulatorna agencija, „Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom“ , NN 85/15, 2015.

Sažetak

Distribucijsko područje Elektre Slavonski Brod u svrhu povećanja pouzdanosti napajanja i smanjenja trajanja kvarova, koncem 2018., u 2019. i 2020. godine izvršila je ugradnju 41 indikatora kvara na srednje naponske nadzemne mreže 10 i 20 kV (kritične nepristupačne lokacije, vodovi sa statistički najviše kvarova te značajnijim brojem korisnika mreže koji se opskrbljuju električnom energijom sa istih). Na temelju iskustva u proteklih 24 mjeseci došlo se do zaključka da se vrijeme trajanje otklanjanja kvarova znatno smanjilo, također izoliranje mjesta kvara na nadzemnim mrežama (neplanirani prekidi sa i bez više sile) te omogućavanje uspostave ponovne opskrbe korisnika mreže. Informacije o prolaznim kvarovima (povratna informacija o proradi indikatora u SCADA sustav) vrši se putem GPRS komunikacije. Indikacija o proradama indikatora na prolazne kvarove u SCADA sustava omogućava potrebne preventivne mjere obilaska ZDV-a te otklanjanje potencijalno „slabih” mjesta na dionicama ZDV-a. U ovom radu opisan je postupak ugradnje te primarno ispitivanje prorade indikatora kvara na srednjo naponskim nadzemnim mrežama 10 i 20 kV vodovima, te je navedeno nekoliko primjera stvarnih kvarova zabilježenih u vremenskom periodu unazad 24 mjeseca.

ŽIVOTOPIS

Matija Orešković rođen je 5.ožujka.1997. u Slavonskom Brodu. Nakon završetka osnovne škole upisuje 2011. Tehničku školu Slavonski Brod za zanimanje elektrotehničar. 2015. završava srednju školu i polaže državnu mature. 2015. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, za vrijeme upisa Elektrotehnički fakultet Osijek. Na drugoj godini studija odabire izborni blok elektroenergetika. Nakon završenog preddiplomskog studija elektrotehnike upisuje diplomski studij elektroenergetike smjera Elektroenergetski sustavi. Praksu nakon prve godine diplomskog studija odrađuje u tvrtki HEP Elektra Slavonski Brod.