

Krešimir Vlahov
HEP-ODS d.o.o.
kresimir.vlahov@hep.hr

Renato Ćučić
HEP-ODS d.o.o.
renato.cucic@hep.hr

Dario Polančec
HEP-ODS d.o.o., Elektroslavonija Osijek
dario.polancec@hep.hr

Mato Kovačević
HEP-ODS d.o.o., Elektra Slavonski Brod
mato.kovacevic@hep.hr

Marijo Brkić
HEP-ODS d.o.o.
marijo.brkic@hep.hr

Mario Zadro
HEP-ODS d.o.o., Elektroslavonija Osijek
mario.zadro@hep.hr

Tomislav Alinjak
HEP-ODS d.o.o., Elektra Slavonski Brod
tomislav.alinjak@hep.hr

IMPLEMENTACIJA TEHNOLOGIJE INDIKATORA KVAROVA KAO VAŽNE MREŽNE KOMPONENTE NA NADZEMNIM SREDNJENAPONSKIM VODOVIMA

SAŽETAK

Općim uvjetima za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (NN 85/15) definirano je da je jedna od zadaća Operatora distribucijskog sustava održavanje i poboljšavanje kvalitete opskrbe električnom energijom, što obuhvaća osiguravanje kvalitete napona i pouzdanosti napajanja. Jedna od tehnologija koja se primjenjuje za tu svrhu su indikatori kvarova. Riječ je o jednostavnim uređajima koji mjere magnetsko polje koje stvara struja koja prolazi kroz vod. U slučaju da ta struja prijeđe podešenu vrijednost uređaj proradi te pritom počne emitirati signal, čime je omogućeno brže lociranje mjesta kvara te je skraćen postupak ponovne uspostave napajanja. U ovom referatu su opisani primjeri implementacije ove tehnologije u distribucijskim područjima Elektroslavonija Osijek i Elektra Slavonski Brod, pri čemu je dan pregled iskustava u radu i ostvarenih unaprjeđenja. Također su razmotrene mogućnosti za razvoj i širu primjenu.

Ključne riječi: pouzdanost napajanja, indikatori kvarova, srednjenaponske nadzemne mreže

IMPLEMENTATION OF FAULT INDICATOR TECHNOLOGY AS AN IMPORTANT GRID COMPONENT ON MEDIUM VOLTAGE OVERHEAD LINES

SUMMARY

The General Conditions for Use of the Network and Electricity Supply (NN 85/15) define that one of the tasks of the Distribution System Operator is to maintain and improve the electrical power quality, which includes ensuring the quality of the voltage and the reliability of the power supply. One of the technologies used for this purpose is fault indicators. These are simple devices that measure the magnetic field generated by current flowing through a conductor. If this current exceeds the set value, the device starts working and emits a signal, which enables a quicker determination of the fault location and shortens the process of re-establishing the power supply. This paper describes examples of implementation of this technology in the distribution areas of Elektroslavonija Osijek and Elektra Slavonski Brod, giving an overview of work experience and improvements achieved. Opportunities for development and wider application were also considered.

Keywords: reliability of supply, fault indicators, medium voltage overhead networks

1. UVOD

Detekcija i lociranje kvara na nekom dijelu ili komponenti elektroenergetskog sustava predstavlja jedan od najvećih izazova u elektrodistribuciji, budući da je to izravno povezano s temeljnim ciljem distributera električne energije – dopremiti svojim korisnicima mreže električnu energiju određene pouzdanosti i kvalitete.

Prema definiciji, *kvar* označava neraspoloživost neke komponente sustava da izvršava svoju funkciju, a radi uzroka koji je izravno uz nju vezan, dok je *pouzdanost* definirana kao matematička vjerojatnost zadovoljavajućeg rada nekog uređaja ili sustava kroz određeno vrijeme. *Prekid napajanja (zastoja)* je prestanak opskrbe jednog ili više korisnika mreže i rezultat je kvara jedne ili više komponenti. S obzirom na posljedice kvarovi mogu biti *djelomični* ili *potpuni*. Djelomični kvar označava stanje komponente kada je njena funkcija reducirana ali ne u potpunosti eliminirana. Potpuni kvar se odnosi na stanje kada je komponenta u cijelosti izvan funkcije. Prema trajanju kvarove dijelimo na *prolazne* i *trajne*. Prolazni kvar komponente je kvar čiji se uzrok sam dokida tako da se pogođena komponenta vraća u funkciju automatski ili odmah nakon zatvaranja rasklopnog uređaja, a trajni kvar je onaj koji zahtijeva popravak ili zamjenu pogođene komponente prije nego se vrati u funkciju. Prekidi napajanja (zastoji) mogu biti *kratki* i *dugi*, te su, s obzirom na vrijeme trajanja istih, opisani odgovarajućom normom (HRN EN 50160). Sukladno navedenoj normi, kratki prekidi napajanja traju do uključivo 3 minute, inače su dugi.

Po statističkim pokazateljima i pogonskim iskustvima u HEP-ODS-u najveći broj prekida napajanja (zastoja) događa se uslijed kvarova u srednjenaponskim (SN) mrežama 10, 20 i 35(30) kV naponske razine (preko 80%). Kako bi se opisala ozbiljnost ili značaj prekida napajanja (zastoja) u SN mreži, uz temeljne pokazatelje pouzdanosti mreže opisuju su i dodatni pokazatelji pouzdanosti, te je, za bolje razumijevanje konteksta ovog referata, potrebno istaknuti one koji su orijentirani korisnicima mreže (tj. potrošačima), u smislu prekida napajanja, a to su osobito četiri pokazatelja:

- SAIFI (engl. *System Average Interruption Frequency Index*) – indeks prosječne učestalosti prekida sustava
- CAIFI (engl. *Customer Average Interruption Frequency Indeks*) – indeks prosječne učestalosti prekida potrošača
- SAIDI (engl. *System Average Interruption Duration Index*) – indeks prosječnog trajanja prekida sustava
- CAIDI (engl. *Customer Average Interruption Duration Indeks*) – indeks prosječnog trajanja prekida potrošača.

Ovi pokazatelj su u kvantitativnom smislu bolji što su manjih brojčanih vrijednosti i cilj je svesti ih u granice prihvatljivosti prema odgovarajućim propisima i normama, a kontinuirano se prate u svim distribucijskim područjima preko HEP-ODS-ove aplikacije DISPO (distribucijska pouzdanost).

Najučinkovitija mjera za povećanje pouzdanosti i učinkovitosti u distribucijskim mrežama jest *automatizacija* distribucijske mreže. *Automatizacija* distribucijske mreže predstavlja skup tehnologija koje omogućavaju distributeru električne energije daljinski nadzor, koordinaciju i upravljanje komponentama distribucijskog sustava u stvarnom vremenu s upravljačke lokacije. Temeljne funkcije automatizacije distribucijske mreže su:

- daljinsko mjerenje i nadzor mreže
- detekcija kvarova
- daljinsko upravljanje mrežom
- lociranje kvarova
- vođenje pogonskih statistika
- optimizacija pogona mreže.

Strateško opredjeljenje HEP-ODS-a je već duže vrijeme uvođenje i realizacija automatizacije po dubini SN mreže, uz velika investicijska ulaganja, a s primarnom svrhom smanjenja vremena trajanja kvarova. U kompleksnom sustavu automatizacije SN mreža, s različitim podsustavima i uređajima, kao jedno od relativno jednostavnih i pristupačnih rješenja za detekciju i lokaciju kvara koriste se uređaji poznati kao *indikator kvara*, koji spadaju u najjednostavniji stupanj automatizacije mreža.

U postojećim uvjetima SN mreža HEP-ODS-a podrazumijeva vodove 10,20 i 35(30) kV naponske razine. Dionice 35(30) kV mreže su kraće i može se smatrati da je ovaj napon u procesu ukidanja prelaskom na izravne transformacije 110/20(10) kV. Iako je u slučaju kvara na 35(30) kV mreži pogođen velik broj potrošača, odnosno korisnika mreže, prekidi napajanja na takvim vodovima traju relativno kratko zbog visokog stupnja redundancije. Naime, ako se pojavi kvar na nekoj komponenti 35 (30) kV mreže moguće ga je vrlo brzo lokalizirati, navedenu komponentu pomoću sustava daljinskog vođenja isključiti, a pogođene korisnike mreže napojiti pričuvnim putem. S druge strane, u razdjelnim mrežama 10(20) kV uslijed pojave kvara lociranje istog je znatno teže a posljedice u smislu neisporučene električne energije su veće, prvenstveno zbog činjenice što je veliki broj nadzemnih vodova 10(20) kV radijalnog tipa i određeni dijelovi konzuma nemaju mogućnost pričuvnog napajanja. Trase postojećih 10(20) kV vodova često prolaze nepristupačnim terenom i nadzemna mreža je izložena atmosferskim utjecajima (vjetar, snijeg, led i atmosferska pražnjenja) a, također, često su i izloženi velikom broju kvarova uzrokovanih infrastrukturnim uvjetima voda kao što su stari drveni stupovi, grane drveća koje padaju na vodiče, moguća klizanja terena koja pomiču stupove s trase itd. Kao posljedica svega ovoga događaju se različiti kvarovi koji mogu biti kratki spojevi, pokidani vodiči, zemljospojevi ili njihova kombinacija. Prilikom pojave kvara na nekoj komponenti ili dijelu mreže, vrijeme do ponovnog uspostavljanja napajanja sastoji se od vremena potrebnog za pronalaženje (lociranje) mjesta kvara i vremena potrebnog za otklanjanje kvara. Kada se dogodi kvar na distribucijskom 10(20) kV izlazu pripadajuća relejna zaštita isključuje prekidač u TS VN/SN. Ako nemamo nikakvih dodatnih informacija, u takvim slučajevima poznato je jedino da se kvar nalazi negdje na 10(20) kV mreži izlaza koji je ostao bez napajanja. Slijedi angažiranje terenskih ekipa, obilazak trase voda u cilju pronalaska i popravka kvara. Moguće dojave korisnika mreže mogu skratiti vrijeme potrebno za lociranje i otklanjanje kvara. Međutim, ako imamo dodatne informacije na temelju zabilježenih vrijednosti električnih veličina prije isključenja izlaza u kvaru, može se u velikoj mjeri skratiti vrijeme potrebno za obnovu napajanja. U tom slučaju, prilikom isključenja prekidača izlaza (u slučaju kvara) može odmah biti poznata dionica u kvaru ili mjesto kvara, bez dodatnih pogonskih manipulacija s ugrađenim magistralnim ili otcjepnim rastavljačima na vodu. Posljedično se postiže i evidentan ekonomski učinak, obzirom na manje angažiranje ljudi i vozila na terenu, kao i manje količine neisporučene električne energije. Također, na taj način se reducira i broj nepotrebnih uključenja izlaza u slučaju kvara i mogućnost proširenja kvarova (npr. prerastanje jednofaznih kvarova u međufazne kvarove). Dakle, primjenom neke vrste on-line (automatizirane) lokacije kvara, uporabom uređaja za tu namjenu – praćenjem vrijednosti električnih veličina (struja i napon) i dojavom o odstupanju tih vrijednosti od uobičajenih pogonskih, koje se pojavljuju prilikom kvara – znatno se skraćuje vrijeme potrebno za obnovu napajanja nakon kvara. Na temelju navedene ideje, a u gore navedenu svrhu, na tržištu su se pojavili uređaji poznati kao *indikator kvara*. Takvi uređaji patentirani su i pojavili su se relativno davno, ali u svojim jednostavnim izvedbama i isključivo s lokalnom signalizacijom. Međutim, tek s razvojem novih tehnologija i sve manjim tehničkim ograničenjima (prvenstveno bolje komunikacije, odnosno mogućnosti dobivanja informacija o stanju mreže), te daleko strožom zakonskom regulativom u smislu neisporučene električne energije, oni dobivaju na značaju i ostvaruju svoj puni smisao.

Indikator kvara su senzori koji reagiraju na promjene magnetskog i električnog polja i detektiraju kada razina struje ili napona na vodu prijeđe dopuštene granice. U svom normalnom radu konstantno mjere struju (ili napon po potrebi) na vodu na kojem su postavljeni, a u slučaju kvara, kada dolazi do naglog povećanja struje, indikator proradi te, ovisno o konstrukciji, to rezultira nekim svjetlosnim i/ili elektroničkim signalom. Uz korištenje odgovarajućeg sustava za daljinski prijenos signala ta signalizacija može biti i daljinska, ako se signal na taj način proslijedi u centar daljinskog upravljanja na SCADA sustav, ili se kvar može dojavljivati preko GSM/GPRS opreme.

Indikator kvara za SN nadzemne vodove, ovisno o izvedbi, postavljaju se (i prepoznaju kvar) ili preko strujnih transformatora ili izravno na fazne vodiče ili se montiraju na stupovima, 3-5 metara ispod voda, bez izravne električne veze s vodičima. Razlikuju se izvedbe s jednim senzorom ili s tri senzora (posebno za svaku fazu), gdje nam je potrebna velika točnost. Kako se koriste za detekciju dvije najčešće vrste kvara u distribucijskoj mreži, postoje izvedbe za detekciju zemljospoja, detekciju kratkog spoja ili univerzalni indikator koji detektiraju i višepolne kratke spojeve i zemljospojeve (dozemne kratke spojeve) u SN mreži, ovisno o vrsti uzemljenja sustava (mreže s izoliranim i uzemljenim zvjezdištem). Mjesto ugradnje indikatora kvara je najčešće na pristupačnim stupovima (u blizini ili jasno vidljivim s prometnicom) na duljim magistralnim i otcjepnim nadzemnim vodovima, uz klasične linijske ili otcjepne rastavljače, kako bi se pri dojavi kvara isti brže locirao. Indikacija se aktivira samo u slučaju kada se uređaj nalazi između napojne TS VN/SN i dionice voda u kvaru. Ostali indikatori, preko kojih struja kvara ne prolazi, ne pobuđuju se, što znači da se kvar nalazi iza posljednjeg indikatora u statusu „pobuđen“, ili na prvoj dionici ako se niti jedan uređaj nije pobudio. Bilo koja izmjena u topologiji mreže ne smije utjecati na ovaj opisani, osnovni algoritam rada indikatora kvara. Suvremeni indikatori, koji su bazirani na

mikroprocesorskim platformama, imaju ugrađenu zaštitu od krivog signaliziranja i mogu se programirati da se izbjegnu neželjene prorade uslijed prolaznih kvarova, uključivanja voda pod punim opterećenjem, naglog porasta opterećenja, nakon dužeg prekida ili nakon djelovanja odgovarajuće zaštitne naprave. Resetiranje indikatora nakon prorade i vraćanje u normalan režim rada moguće je na tri načina: automatski nakon uspostavljanja napona, automatski pomoću internog timera ili ručno pomoću magneta. Biranje načina resetiranja vrši se postavljanjem određenih preklopki unutar indikatora na odabrani način rada. Za svoje napajanje koriste ili autonomnu bateriju ili lokalnu sekundarnu mrežu. Ukoliko se koriste u radijalnim mrežama onda rade kao neusmjereni indikatori kvara, a ako se koriste u zamkastim (petljastim) mrežama i u mrežama s integriranim distribuiranim izvorima moraju posjedovati funkciju usmjeravanja. Treba spomenuti da postoje i posebne izvedbe indikatora kvarova za SN kabela mreže, ali oni nisu u fokusu ovog referata.

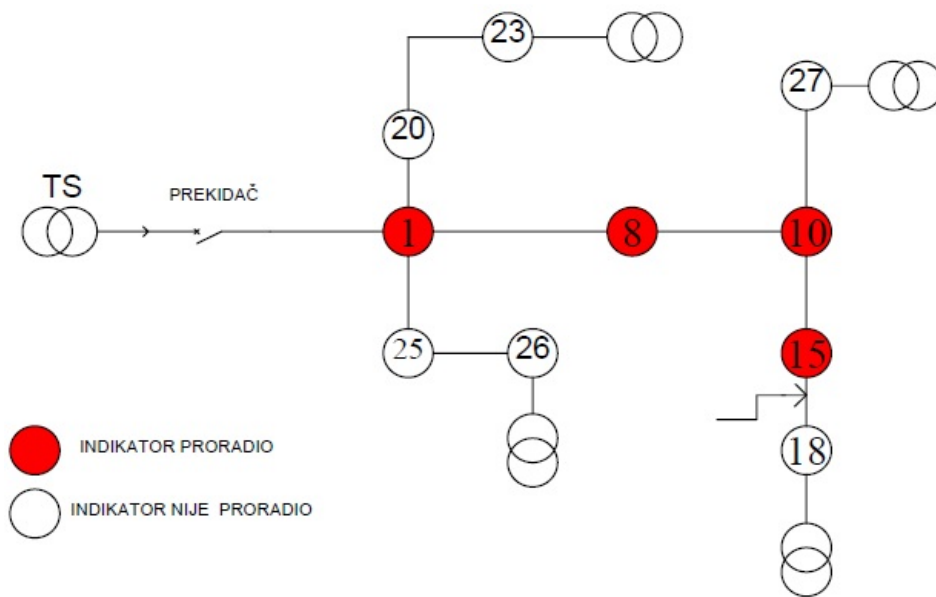
U prethodnom izlaganju navedene su samo osnovne izvedbe, osnovne karakteristike, algoritam rada i mogućnosti podešenja indikatora kvara potrebne za njihovo razumijevanje. Danas je na tržištu prisutan širok asortiman indikatora kvarova različitih proizvođača, ali kako ne postoji univerzalna metoda identifikacije kvara koja se može primijeniti za sve tipove mreža i sve tipove kvarova u srednjenaponskoj mreži, tako ne postoji ni jedno jedinstveno i unificirano rješenje u smislu izbora i mjesta ugradnje ovakvih uređaja u distribucijskim područjima HEP-ODS-a, uvažavajući specifičnosti svakog tog područja. Izbor i podešavanje načina rada indikatora kvara ovise o mjestu ugradnje i karakteristikama mreže, a moguće ih je jednostavno obaviti slijedeći upute proizvođača, uz prethodne proračune kvarova za SN nadzemnu mrežu na kojoj se ugrađuju. Mjesta ugradnje i broj indikatora kvarova na određenom SN nadzemnom vodu određuju se na temelju pogonskih iskustava i statistike kvarova za predmetni vod. U daljnjem tekstu bit će detaljnije opisan jedan indikator kvara za srednjenaponsku nadzemnu mrežu s mogućnošću daljinske signalizacije i praktična iskustva u primjeni istog u dva distribucijska područja HEP-ODS-a: DP Elektroslavonija i DP Elektra Slavonski Brod.

2. INDIKATORI KVARA ZA NADZEMNE SN MREŽE

Indikator kvara, o kojem je ovdje riječ, je uređaj koji se primjenjuje u srednjenaponskim radijalnim nadzemnim mrežama za detekciju kratkih spojeva i zemljospojeva, pri čemu su obuhvaćeni svi mogući tipovi kvarova do kojih može doći u sve tri faze mreže. Strateški se smještaju na lokacije na kojima svojom proradom mogu olakšati određivanje mjesta kvara, skratiti vrijeme njegovog otklanjanja i smanjiti broj nepotrebnih izlazaka na teren, kao što su grananja, teško dostupna područja i blizu rastavljača. Montiraju se vijcima ili spojnim trakama ispod vodiča na stupove na kojima nema druge opreme poput transformatora i rastavljača, pri čemu je nužno poštivati ograničenja o minimalnim razmacima među susjednim indikatorima koja ovise o naponskoj razini voda.

Indikator mjeri vrijednost elektromagnetskog polja pomoću ugrađenih senzora, na način da se magnetski senzor u njemu prilagođava struji tereta i reagira ili kada struja prijeđe apsolutno podesivi prag ili na nagle promjene struje u određenom vremenu (di/dt) do kojih dolazi uslijed kvara, dok senzor električnog polja nadzire prisutnost napona mreže. Nisu mu potrebne nikakve dodatne veze ni transformatori.

Prije nego što može doći do prorade indikatora također mora proći podešeno vrijeme blokiranja uklopne struje, budući da indikator ima ugrađeni filter udarnih struja kako bi se izbjegle lažne indikacije prilikom puštanja dalekovoda u pogon. Prilikom podešavanja indikatora valja uzeti u obzir raspored vodiča na stupu kako bi točnost uređaja bila što veća. Uređaj mora biti postavljen i podešen pri normalnim uvjetima rada voda, odnosno dok je vod pod naponom. Na temelju podataka koje izmjeri u tom stanju on detektira kvarove koji uzrokuju promjene u elektromagnetskom polju oko vodiča. Također, indikator kontinuirano prati stanje vodiča i prilagođava se manjim promjenama. Zbog ugrađenog kompenzatora struje opterećenja koji omogućava otkrivanje vrlo malih kvarova između faze i zemlje, uređaj je primjenjiv za detekciju malih vrijednosti struja zemljospoja (2 A i više) u mrežama s izoliranom neutralnom točkom. Na Slici 1. prikazan je primjer djelovanja indikatora kvara. Prema, u uvodu naznačenom, osnovnom algoritmu rada indikatora, prilikom detekcije kvara aktivirat će se svi indikatori između odgovarajuće transformatorske stanice i točke u kojoj je došlo do kvara, u ovom slučaju to su indikatori označeni brojevima 1, 8, 10 i 15. Indikatori postavljeni ispod vodova kroz koje nije prošla struja kvara neće se aktivirati, čime je osigurana selektivnost djelovanja ugrađenih indikatora.



Slika 1. Djelovanje indikatora ugrađenih na stupove nadzemne mreže [3]

Nakon detekcije kvara na indikatoru se pali LED žaruljica u formi bljeskajućeg svijetla visokog intenziteta, koje je i lokalno dovoljno dobro vizualno vidljivo (noću s udaljenosti do 2000 m, a danju do 250 m, u relativno dobrim vremenskim uvjetima), te tako signalizira da je vodom prošla struja kvara, pri čemu se na različit način signalizira je li riječ o prolaznom ili trajnom kvaru. Trajni kvar je definiran kao onaj u kojem vod ostane u beznaponskom stanju dulje od podešenog vremenskog intervala unutar kojeg se vrše pokušaji ponovnog uklapanja. Dodatni kriterij je prorada prekidača. U slučaju da je ova opcija omogućena, indikator se aktivira samo ako se vod nakon podesivog vremenskog intervala nakon pojave kvara dovede u beznaponsko stanje. Za nisku razinu napunjenosti baterije postoji posebna signalizacija.

Indikator ima ugrađen GSM modul koji će se uključiti nakon što je došlo do kvara i SMS porukom koja sadrži informacije o tipu kvara obavijestiti upravljački centar, čime je omogućena brza detekcija dijela mreže zahvaćenog kvarom. Također postoji opcija slanja obavijesti na više brojeva. Omogućena je dvosmjerna komunikacija. Pri normalnom pogonu vodova ugrađeni GSM modul je ugašen radi štednje baterije, koja inače ima dugi radni vijek (oko 15 godina) i izrađena je od litija. Modul šalje različite poruke za:

- prolazni kvar
- trajni kvar
- gubitak napona
- nisku razinu napunjenosti baterije
- obavijest o pokretanju
- puls – periodička obavijest da je indikator funkcionalan
- obavijest o primitku naredbe.

Nakon prorade indikator se može vratiti u početno stanje na četiri različita načina:

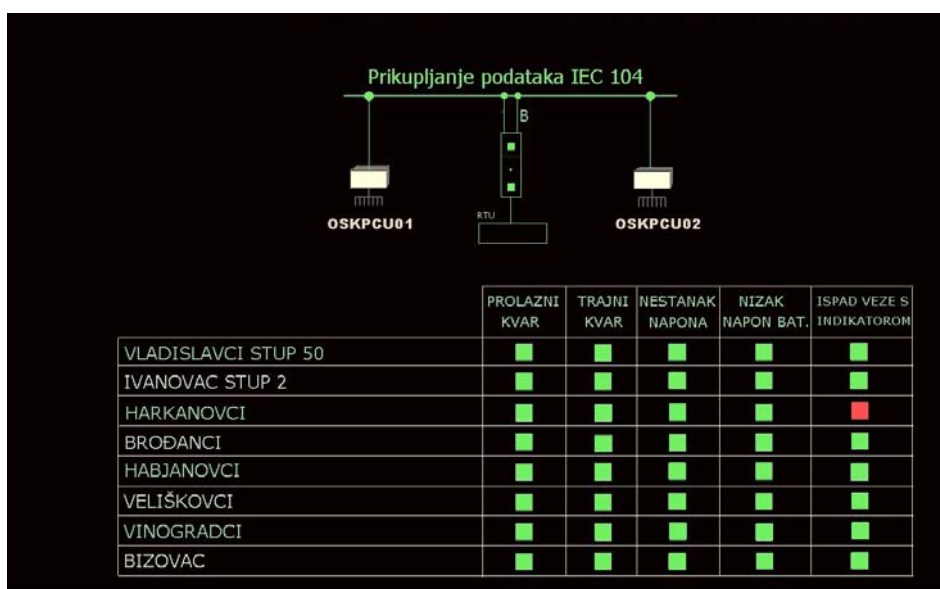
- naponsko resetiranje – indikator se resetira nakon što prođe podešeni vremenski interval nakon uspostave stabilnog i kontinuiranog napona, moguće ga je isključiti
- automatsko resetiranje pomoću brojača – podesivo, indikator se nakon podešenog vremenskog intervala vraća u normalno stanje
- ručno resetiranje – uređaj se može resetirati pomoću odgovarajućeg alata
- daljinsko resetiranje – nije moguće ako GSM modul nije uključen, ograničena primjena.

Najvažnije podesive postavke indikatora kvara su:

- minimalna vrijednost struje kvara za kratke spojeve i zemljospojeve
- relativna stopa porasta struje
- trajanje kvara
- vrijeme blokiranja uklopne struje
- vremenski interval za naponsko resetiranje
- vremenski interval za automatsko resetiranje
- vrijeme za detekciju kvara nakon prorade prekidača.

3. ISKUSTVA S PRIMJENOM INDIKATORA KVARA U ELEKTROSLAVONIJI OSIJEK

Distribucijsko područje Elektroslavonije Osijek je tijekom 2019. godine u 10 kV mrežu ugradilo dvadeset i četiri indikatora kvara s daljinskom dojavom kvara. Navedeni indikatori imaju mogućnost dojava prolaznog i trajnog kvara, nestanka napona, niskog napona baterije i ispada veze s indikatorom. Napajanje indikatora se vrši putem baterija čiji je predviđeni vijek trajanja do 10 godina. Jedna od bitnih postavki koja utječe na vrijeme trajanja baterije je interval prozivanja indikatora koji smo postavili na sedam dana. Što je duži interval prozivanja indikatora to baterija duže traje jer se manje energije troši na napajanje GSM modula.



Slika 2. Tablica alarma indikatora u SCADA sustavu DP Elektroslavonija

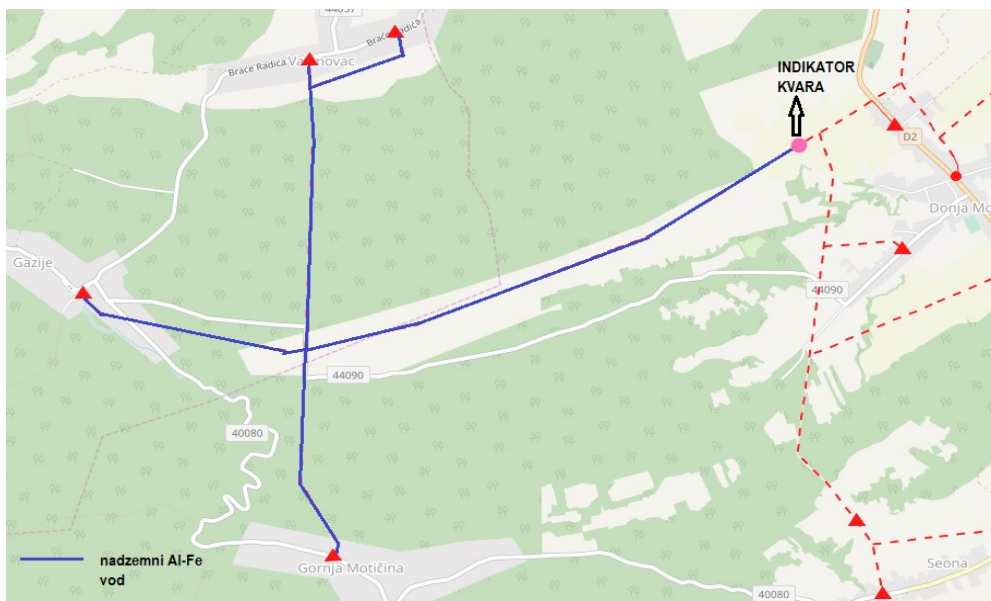
Prije ugradnje samih indikatora inženjeri Odjela za upravljanje mrežom su napravili analizu i napisali prijedloge mjesta ugradnje indikatora kvara u distribucijsku mrežu. Analiza je rađena uzimajući u obzir mnogo parametara poput pokazatelja pouzdanosti, duljine dalekovoda, broja korisnika i uvjeta na terenu kroz koji dalekovod prolazi i to sve uzimajući podatke nekoliko godina unatrag. Lista prijedloga s mjestima ugradnje je dostavljena Odjelu za zaštitu i kvalitetu električne energije na temelju čega je napravljen elaborat ugradnje s izračunatim parametrima koji su potrebni da bi indikator ispravno radio.

U Elektroslavoniji Osijek velik broj TS 35/10 kV koji napajaju ruralna područja „voze“ s izoliranom nultočkom transformatora. U takvom režimu rada su struje zemljospoja male, i posljedično ovisno o konfiguraciji voda postoji mogućnost da kapacitivni doprinos može biti veći od struje zemljospoja. U tom slučaju postoji mogućnost da indikatori krivo prorade, što je najgori mogući scenarij jer dispečera navodi na potpuno pogrešan zaključak, zbunjuje i posljedično produžuje trajanje zastoja. Prikazat ćemo postupak na koji način su rađeni proračuni sa svako predloženo mjesto ugradnje.

Prilikom ugradnje indikatora kvara mora se voditi briga o svim parametrima dalekovoda bitnima za rad uređaja kao što su:

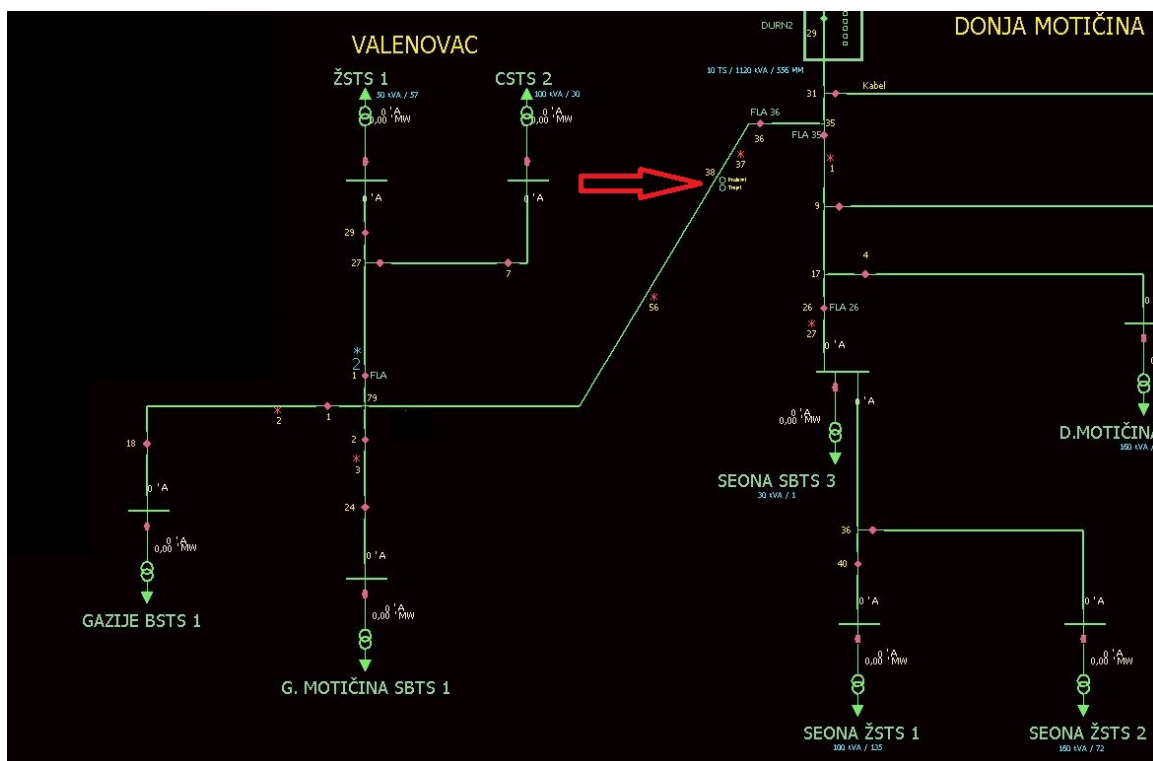
- duljina nadzemnog voda (km)
- duljina kablenskog voda (km)
- kapacitivna struja (A)
- nazivni napon (kV)
- struja tereta (A)
- ukupna struja zemljospoja u mreži (A).

Indikator kvara kao i lokacija njegove ugradnje može se i grafički prikazati kako bi se dobio što bolji uvid u položaj mreže nakon postavljenog indikatora kvara, a sve u svrhu što točnijeg proračuna kapacitivne struje pražnjenja nakon indikatora. Na Slici 3. je prikazana lokacija postavljenog indikatora kvara te je označen dio mreže koji se uzima u obzir prilikom proračuna kapacitivne struje pražnjenja, tj. doprinosa ostalih vodova u slučaju kvara poslije indikatora kvara.



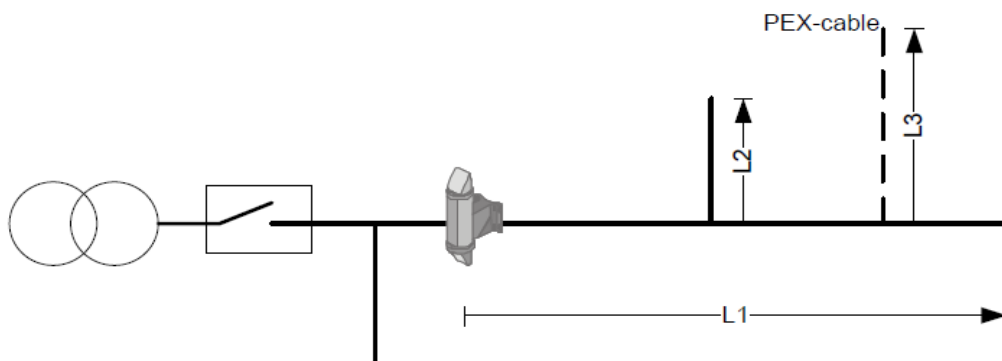
Slika 3. Tlocrt lokacije indikatora kvara

Lokaciju ugradnje indikatora također je moguće prikazati i u sučelju SCADA programa za prikaz SN mreže.



Slika 4. lokacija indikatora kvara u SN mreži SCADA sustava

Dolje je prikazan potpun postupak za proračun mjesta ugradnje:



Slika 5. Prikaz lokacije indikatora kvara u mreži

$$I_{cap} = \frac{U \cdot L_{OH}}{T} + \frac{U \cdot L_C}{K} \quad (1)$$

gdje je:

I_{cap} - kapacitivna struja

U - nazivni napon [kV]

L_{OH} – ukupna duljina nadzemnog voda ($L_1 + L_2$) [km]

L_C – ukupna duljina kabelskog voda [km]

$T = 300$ za mrežu uzemljenu preko impedancije ili izoliranu mrežu

$T = 900$ za kruto uzemljenu mrežu

$K = 10$ za impregnirane kabele

$K = 5$ za PEX kabele

$K = 3$ za PVC kabele

Analiziranjem mjesta ugradnje indikatora kvara te dijela mreže za koji će isti selektivno reagirati na kvar dolazi se do podataka potrebnih za proračun podešenja indikatora kvara.

Tablica I. Podaci o mreži

Podaci o mreži	TS Našice, VP Feričanci - Odvojak za Valenovac, Gazije i Gornju Motičinu (stup 37)						
	U [kV]	L_{QH} [km]	L_C [km]	T	K	I_0 [A]	Vrsta stupa
10	9,039	0	300	5	12,1	Drveni	"Jela"

Uvrštavanjem u izraz (1)

$$I_{cap} = \frac{10 \cdot 9,039}{300} + \frac{10 \cdot 0}{5} = 0,30 \text{ A} \quad (2)$$

3.1 Podešavanje razine prorade

Kako bi se izbjeglo pogrešno otkrivanje kvara uzrokovano strujama kapacitivnog izbijanja dijela mreže dublje od mjesta ugradnje indikatora mora biti zadovoljen sljedeći uvjet:

$$I_{cap} < I_{SET} \quad (3)$$

gdje je

I_{cap} = kapacitivna struja mreže dublje od mjesta ugradnje indikatora

I_{SET} = max. osjetljivost na zemljospoj

Kako bi se osiguralo ispravno otkrivanje kvarova, mora biti zadovoljen sljedeći uvjet:

$$I_{cap} < I_0 - I_{cap} \quad (4)$$

gdje je

I_0 = ukupna struja zemljospoja u mreži

Ova dva uvjeta se mogu sažeti u sljedećem izrazu:

$$I_{cap} < I_{SET} < I_0 - I_{cap} \quad (5)$$

Na temelju gore utvrđenih uvjeta razina prorade indikatora iznosi:

$$0,30 < I_{SET} < 12,1 - 0,301 \quad (6)$$

$$\Rightarrow I_{SET} = 2,5 \text{ A} \quad (7)$$

Indikator kvara prati resultantno magnetsko polje ispod vodiča. Osjetljivost na zemljospojeve je određena razinama prorade podešenim na indikatoru:

$$I_{SET} = \{2,5, 4, 7, 15, 20, 30, 40, 50 \text{ A}\} \quad (8)$$

Pozicija indikatora na stupu određuje se iz izračunatih parametara i ovisno o vrsti stupa i utjecaju magnetskog polja visina postavljanja je 3 – 5 m. U našem slučaju visina postavljanja je jednaka za sve

vrste stupova. Stoga je vrlo bitno bilo da djelatnici OZMiKEE kvalitetno obave pripremne proračune, a dosadašnja praksa potvrđuje da su odradili kvalitetan posao.

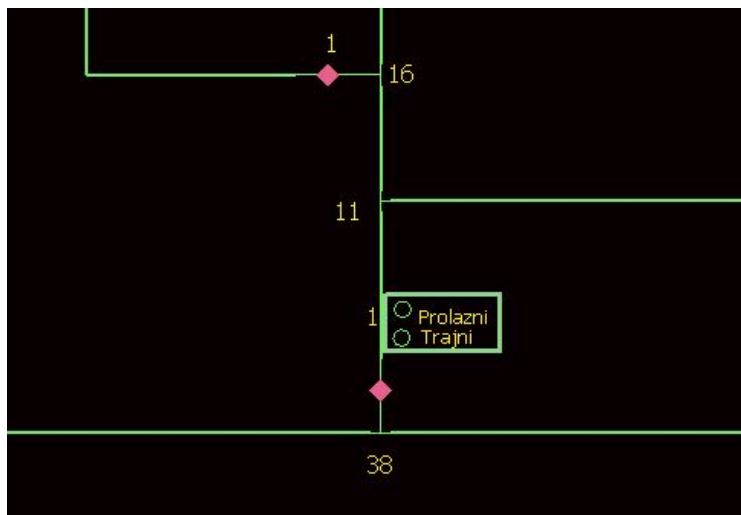
3.2 Ugradnja indikatora kvara

Ovi indikatori su prvi uređaji takve vrste u Elektroslavoniji pa stoga ništa nismo htjeli prepustiti slučaju. Instalaciju micro SCADA sustava i puštanje prvog indikatora smo prepustili stručnjacima iz tvrtke proizvođača. Također smo od proizvođača preuzeli upute, upravljačke programe i adaptere potrebne za parametriranje indikatora kvara. Djelatnici odjela procesnih sustava i komunikacija Istok su pripremili SCADA sustav na način da su kreirali tablice alarma te ucrtali indikatore u srednjenaponsku mrežu. SIM kartice su isključivo namijenjene za komunikaciju putem podatkovnog prometa, što je zahtijevalo da iste imaju statičke IP adrese koje su prethodno propuštene kroz vatrozid kako bi komunikacija sa SCADA sustavom bila moguća. Nekoliko dana nakon ugradnje prvog testnog indikatora isti je ispravno registrirao prolazni kvar na dalekovodu. Preostala dvadeset i tri indikatora smo ugradili u najkritičnije dijelove mreže u većini terenskih jedinica Elektroslavonije.



Slika 6. Ugradnja indikatora na betonski stup

Prije same samostalne ugradnje preostalih indikatora na terenu smo prvo u dispečerskom centru izvršili parametriranje i testiranje komunikacije. Provjerili smo ima li svaka od dostavljenih SIM kartica ispravnu IP adresu i ispitali ispravnost komunikacije. Nakon toga smo ugradili SIM kartice u indikator, unijeli pripremljene izračunate parametre i obavili test kako bismo se uvjerali da signali iz indikatora dolaze u SCADA sustav te da su ispravni u skladu sa pripadajućom tablicom alarma. Kada smo se uvjerali da indikatori ispravno komuniciraju sa SCADA sustavom krenuli smo na ugradnju navedenih indikatora na stupna mjesta dalekovoda. Ugradnju smo odradili pod naponom u suradnji sa djelatnicima terenskih jedinica. Obzirom da je sustav u produkciji nešto duže od 6 mjeseci, to je relativno kratak period za izradu kvalitetne analize kako bi se usporedila trajanja prekida pojedinih dalekovoda. Lokacije na koje će se ugraditi indikatori kvara su izabrane na temelju prvih nekoliko dalekovoda u distribucijskom području kod kojih je zabilježen veliki broj kvarova. Nakon selekcije dalekovoda napravljena je analiza dijelova odabranih dalekovoda na kojima se najčešće pojavljuje kvar. Podaci za analizu su uzimani iz dispečerskih izvješća i DISPO aplikacije. Praksa u zadnjih šest mjeseci je nedvojbeno pokazala da su indikatori od iznimne važnosti i pomoći dispečerima pri preciznom lociranju kvarnih elemenata. Cilj Elektroslavonije Osijek je daljnje proširenje sustava, na način da se na magistralne dionice postavljaju indikatori s daljinskom dojavom, dok će se na pojedinačne odvojke postavljati lokalni indikatori.



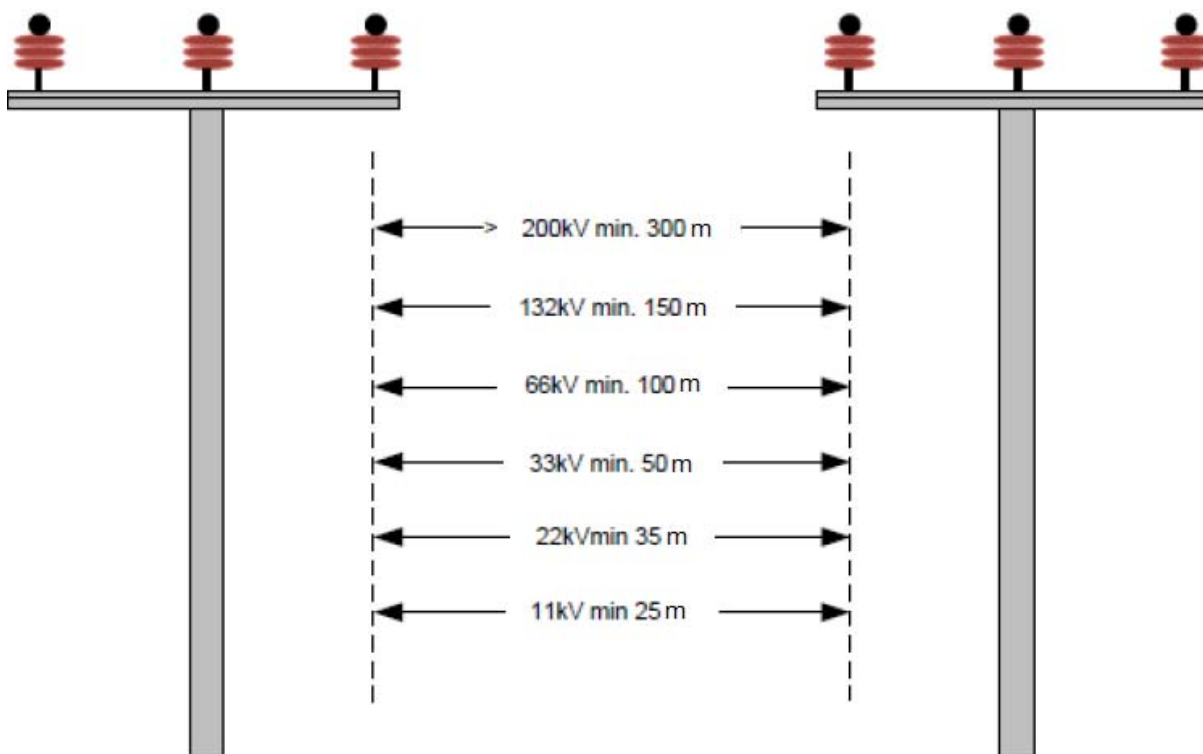
Slika 7. Prikaz indikatora u SN mreži DP Elektroslavonija

4. ISKUSTVA S PRIMJENOM INDIKATORA KVARA U ELEKTRI SLAVONSKI BROD

Na temelju pokazatelja pouzdanosti (SAIFI, SAID i CAIDI) koji se prate putem aplikacije DISPO izrađena je procjena pouzdanosti pojedinih nadzemnih vodova 10 i 20 kV naponskog nivoa. Analiza je izvršena na nadzemnim vodovima koji statistički imaju najviše neplaniranih prekida i nepovoljan geografski položaj, a prilikom prekida opskrbe električnom energijom pogođen je veći broj korisnika mreže te je ekipama održavanja potrebno duže vremena za detekciju i otklanjanje mjesta kvara. Na distribucijskom području Elektre Slavonski Brod u periodu od 2018. do 2020. godine kontinuirano se ugrađuju indikatori kvara s GPRS komunikacijom prema nadležnom dispečerskom centru. Ugrađen je ukupno 41 indikator što ujedno i predstavlja optimalan broj za distribucijsko područje veličine Elektre Slavonski Brod prema izvršenoj analizi. Postavljaju se na strateška mjesta duž nadzemnih vodova prije ili poslije linijskih rastavljača, a na duljim i kritičnijim odcjepima i iza odcjepnih rastavljača. Montaža se izvodi 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 izbjeći nepotrebne obilaske nepristupačnih dijelova dionice nadzemnog dalekovoda, skratiti vrijeme lociranja mjesta kvara te otklanjanje samog kvara. Osim toga 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 [5].

Lokacije mjesta ugradnje odabrana su tako da su se indikatori postavljali na linije nadzemnih 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 [6]. Ugrađeni indikatori kvara imaju mogućnost podešenja praga struje prorade za zemljospojne kvarove od 2 do 50 A, te dvopolne i trolne kvarove od 50 do 1000 A.

Ograničenja pri ugradnji indikatora koja mogu unijeti poremećaj u magnetska i električna polja su prikazana na Slici 8. Na Slici 9. prikazan je primjer ugradnje indikatora kvara na različite tipove stupova.

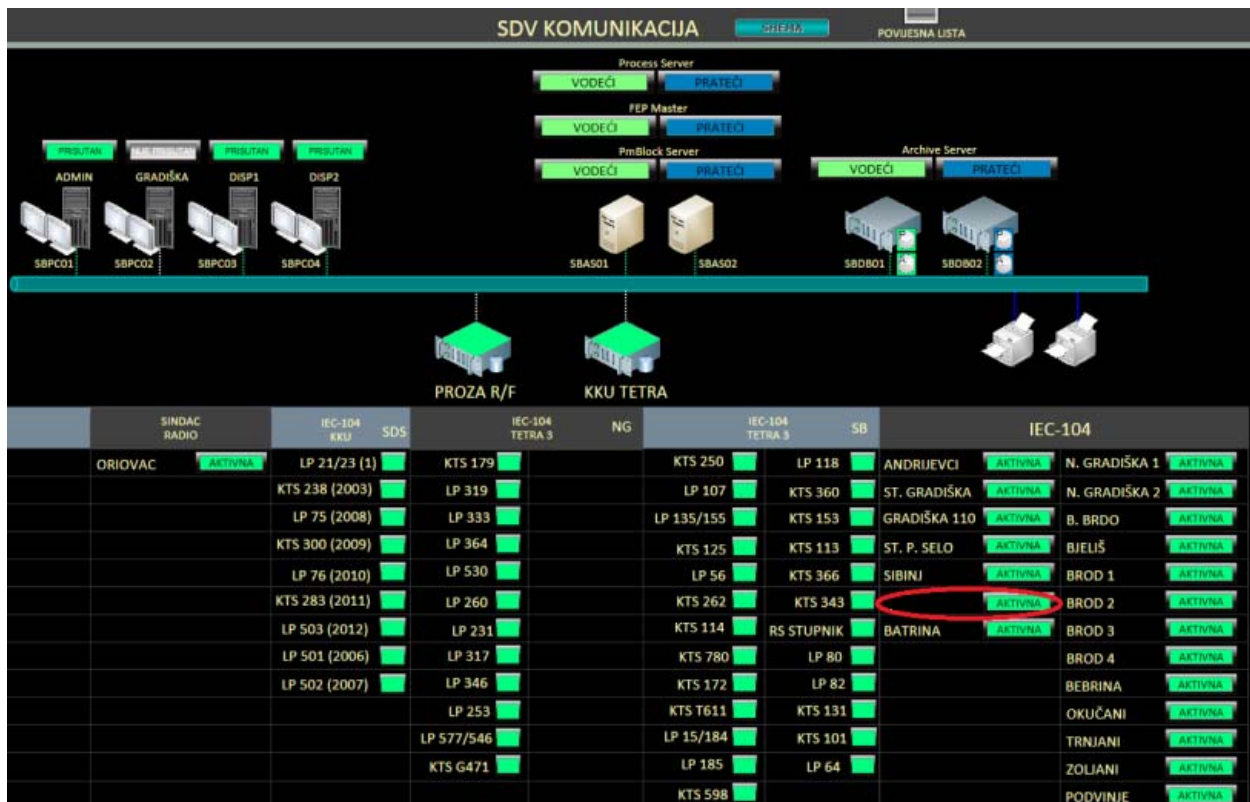


Slika 8. Ograničenja prilikom ugradnje indikatora kvara na stupove



Slika 9. Prikaz ugradnje na različite tipove stupova u SN mreži

Na slici 10. prikazana je SDV komunikacija indikatora kvara prema SCADA-i sa protokolom IEC 104, a na slici 11. je napravljen prikaz signalizacije indikatora u SCADA sustavu i listi događaja.



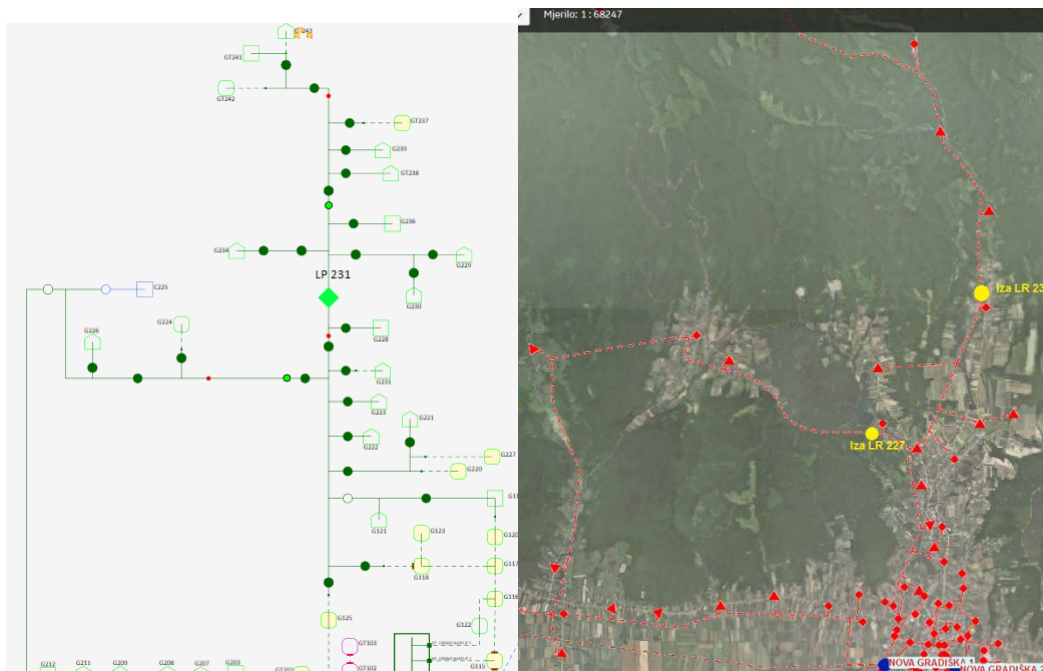
Slika 10. SDV komunikacija indikatora kvara prema SCAD-i sa IEC 104

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	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP LUŽANI - STUP IZA LR 45	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP KOBAŠ - STUP PRIJE LR 40/35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP LUŽANI - STUP IZA LR 153	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP DUBOČAC - STUP IZA 33/34	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP KOBAŠ - ODCJEP PREMA FARMI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP LJUFINA - 3. STUP ZA ORUBICU	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP ORIOLIK - STUP IZA LR 28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP G. SLATINIK - STUP IZA LR 165	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP PETNJA - STUP IZA LR 12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP KLOKOČEVIK - STUP IZA LR 70	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP POSAVINA - STUP IZA LR 77	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP GARČIN - STUP IZA LR 109	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP G. SLATINIK - STUP IZA LR 164	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP KOPANICA - STUP IZA LR 122	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP MEDARI - ČRS U MEDARIMA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP KOPANICA - STUP IZA LR 150	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP DRAG. LIPOVCI - STUP IZA LR 585	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP VRPOLJE - STUP IZA LR 100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP ADŽAMOVCI - STUP IZA PTTS 279	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP VRPOLJE - STUP PRIJE 102	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP MEDARI - 2. STUP PRIJE LR 215	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP ROGOLJI - 2. STUP IZA LR 418	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP STRMAC - IZA LR 227	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP STRMAC - STUP ISPRED LR 238	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP S. GRAD - 2. STUP PRIJE AUTOPUTA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP BOGIČEVCI - STUP IZA LR 318	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP ROGOLJI - STUP IZA LR 404	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP LJUFINA - STUP IZA LR 351	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP STRUŽANI - STUP IZA LR 183	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP ADŽAMOVCI - 2. STUP IZA LR 520	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP STRUŽANI - STUP IZA LR 86	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP BODOVALICI - 3. STUP IZA PTTS 343	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP KOPANICA - STUP IZA LR 94	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP CRNAC POLJE - STUP PRIJE LR 561	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP ORIOLIK - ODCJEP ZA ST. RIBNJAK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP REŠETARI - STUP IZA LR 262	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP DRAGOVCI - STUP IZA LR 583	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP DRAGOVCI - STUP IZA LR 579	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VP IND. ZONA - STUP IZA LR 371	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VP BILI BRIG - STUP IZA LR 510	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	REZERVA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2020-02-10 15:15:47	ST_P_SELO	J02	VP - ADŽAMOVCI	ZAS13	ST_P_SELO.10KV.J02.ZAS13.26.ZASTITA	ISKLOP	I>>>
2020-02-10 15:15:50	ST_P_SELO	J02	VP - ADŽAMOVCI	ZASGR12	ST_P_SELO.10KV.J02.ZASGR12.32.ZASTITA	ISKLOP	KRATKOSPojNA 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 ADŽAMOVCI2		ISPRGR4	IK - VP ADŽAMOVCI2.OPCHISPRGR4.172.SERVISNI	KVAR		ISPRAVLJAČKI SU!
2020-02-10 15:16:31	IK - VP ADŽAMOVCI2		ISPRGR4	IK - VP ADŽAMOVCI2.OPCHISPRGR4.172.SERVISNI	Acknowledged: KVAR (2148754)		ISPRAVLJAČKI SU!
2020-02-10 15:16:31	IK - VP ADŽAMOVCI2		ISPRGR4	IK - VP ADŽAMOVCI2.OPCHISPRGR4.172.SERVISNI	Acknowledged: KVAR (2148754)		ISPRAVLJAČKI SU!
2020-02-10 15:17:03	IK - VP ADŽAMOVCI		INDIKVAR01	IK - VP ADŽAMOVCI.J01:INDIKVAR01.438.ZASTITA	UPOZORENJE		TRAJNI KVAR
2020-02-10 15:17:03	IK - VP ADŽAMOVCI		ISPRGR4	IK - VP ADŽAMOVCI.OPCHISPRGR4.172.SERVISNI	KVAR		ISPRAVLJAČKI SU!

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

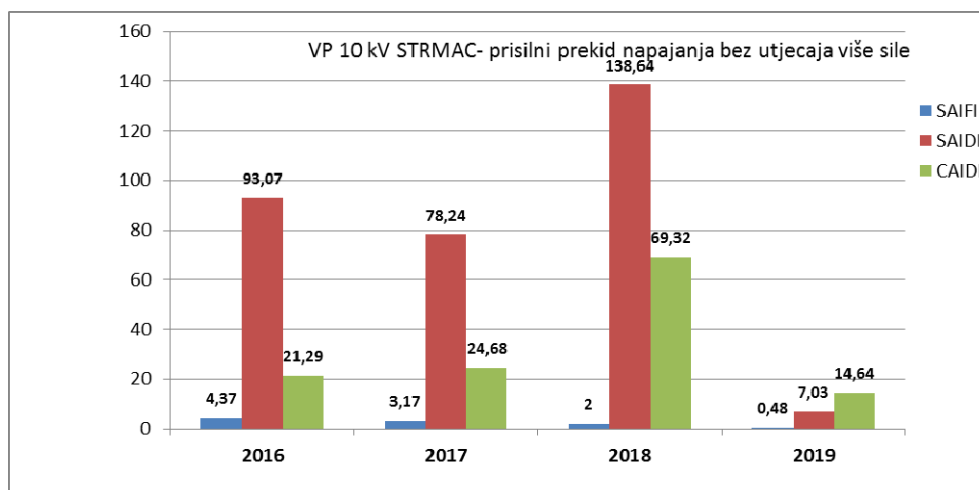
Za primjer je navedeno VP 10 kV Strmac koje se napaja iz TS 35/10 kV Nova Gradiška 1. Nadzemni dalekovod ukupno sa odcjepima je duljine 38 km te osigurava opskrbu ukupno 1122 korisnika mreže. Oko 80% dužine voda se nalazi na relativno nepristupačnom terenu okruženom brdima i šumom sa slabom cestovnom povezanošću (Slika 12.). Podaci koji su korišteni u analizi pokazatelja pouzdanosti uzeti su za četiri godine od 2016. do 2019. godine, kako bi se smanjio značaj ekstremnih slučaja zastoja na mreži, a prikazani su u Tablicama II. i III. te na slikama 13. i 14.



Slika 12. Prikaz lokacije ugradnje IK u SN 10 kV mreži

Tablica II. Prikaz pokazatelja pouzdanosti za VP 10 kV Strmac u slučaju bez utjecaja više sile

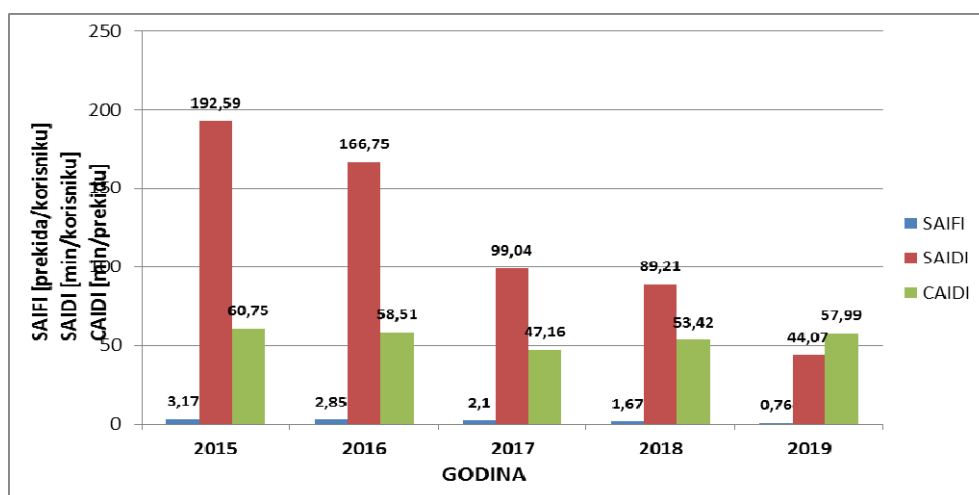
Godina	VP 10 kV Strmac		
	SAIFI	SAIDI	CAIDI
2016	4,37	93,07	21,29
2017	3,17	78,24	24,68
2018	2	138,64	69,32
2019	0,48	7,03	14,64



Slika 13. Prikaz pokazatelja pouzdanosti za VP 10 kV Strmac u razdoblju od 2016. do 2019. godine u slučaju bez utjecaja više sile

Tablica III. Prikaz pokazatelja pouzdanosti –HEP ODS d.o.o Elektra Slavonski Brod

Godine	Elektra Slavonski Brod		
	SAIFI	SAIDI	CAIDI
2015	3,17	192,59	60,75
2016	2,85	166,75	58,51
2017	2,1	99,04	47,16
2018	1,67	89,21	53,42
2019	0,76	44,07	57,99



Slika 14. Prikaz pokazatelja pouzdanosti za DP Elektre Slavonski Brod za razdoblje 2015. do 2019. godine

Na slikama 13. i 14. prikazani su pokazatelji pouzdanosti napajanja za neplanirane prekide bez utjecaja više sile kroz vremenski period od 2015. do 2019. godine gdje je vidljivo značajno skraćenje trajanja neplaniranih prekida na VP 20 kV Strmac te na području cijelog distribucijskog područja Elektre Slavonski Brod.

5. ZAKLJUČAK

Kao jedna od glavnih zadaća Operatora distribucijskog sustava ističe se osiguravanje što veće pouzdanosti opskrbe električnom energijom, odnosno svođenje pokazatelja učestalosti (SAIFI i CAIFI) i trajanja prekida (SAIDI i CAIDI) na što manju vrijednost. Ti ciljevi ostvaruju se prvenstveno primjenom novih tehnologija i unaprjeđenjima u planiranju održavanja distribucijskog sustava. U sklopu ovog referata predočena je primjena tehnologije indikatora kvara u dva različita distribucijska područja za ostvarenje tih ciljeva. U oba slučaja, nakon analize situacije i postavljanja indikatora na odgovarajuće dijelove nadzemnih srednjenaponskih mreža, zabilježeno je poboljšanje situacije po pitanju trajanja prekida u napajanju. Pozitivna iskustva stečena implementacijom tehnologije indikatora kvara poslužiti će kao temelj za njihovu širu primjenu s ciljem daljnjeg smanjenja trajanja pojedinačnih prekida.

LITERATURA

- [1] L.Wagmann, S.Žutobradić, M.Puharić, I.G.Kuliš, „Strategija automatizacije mreža 10(20) kV“, Energetski institut „Hrvoje Požar“, Zagreb, 1999.
- [2] V.Mikuličić, „Pouzdanost elektroenergetskog sustava“, predavanja, ETF Zagreb, Zagreb, 1980.
- [3] M.Nađ, „Identifikatori kvara u distributivnoj mreži“, FERIT Osijek, Osijek 2016.
- [4] Elaborat proračuna podašenja indikatora kvara, HEP ODS, Osijek 2019.
- [5] E. Bjerkan, „Efficient fault management using remote fault indicators“, 20th International Conference on Electricity Distribution, Prague, 8-11 June 2009, Paper 0642
- [6] Đ. Lekić, P. Mršić, B. Erceg, Č. Zeljković, „Three-phase overhead line model for laboratory testing of fault passage indicators“, The Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion - MEDPOWER 2016