

Tomislav Sinjeri
HEP ODS d.o.o., Elektra Koprivnica
tomislav.sinjeri@hep.hr
Vladimir Gagić SIEMENS d.d.
vladimir.gagic@siemens.com

Josip Tošić SIEMENS
d.d.
tosic.josip@siemens.com
Vedran Cazin
Elektrocentar Petek d.o.o.
vedran.cazin@ecp.hr

SAMOONAVLJAJUĆA DISTRIBUCIJSKA MREŽA ELEKTRE KOPRIVNICA

SAŽETAK:

Neke prekide i kvarove u mreži nije moguće spriječiti, no kada dođe do istih potrebno je minimizirati utjecaj na kvalitetu opskrbe, na način da količina prekida u mreži bude što manja, a vremena trajanja prekida da budu što kraća. Da bi se realizirali ovi zahtjevi, potreban je novi pristup načinima upravljanja i zaštiti mreže. Primjenom tehnologija naprednih mreža (eng. smartgrid) kao što su samoobnavljajuća mreža (eng. self healing grid) i adaptivna zaštita, mreža postaje aktivna i prilagodljiva. Drastično se smanjuje vrijeme trajanja prekida u odnosu na konvencionalne metode vođenja mreže, te se uvode nove mogućnosti optimalnijeg upravljanja i zaštite.

U ovome radu opisuje se princip rada samoobnavljajuće distribucijske mreže, te pilot projekt instaliran u Elektri Koprivnica temeljen na komunikacijskom protokolu IEC 61850.

Ključne riječi: samoobnavljajuća mreža, IEC 61850, SAIFI i SAIDI indexi, adaptivna zaštita

SELFHEALING DISTRIBUTION NETWORK ELEKTRA KOPRIVNICA

SUMMARY:

Some faults and network failures cannot be prevented, but when it comes to it, it is necessary to minimize the impact on the quality of the supply so that the number of interruptions are minimized and the time of interruption as short as possible. In order to realize these requirements, a new approach to network management and protection is needed. By applying advanced grid technologies such as selfhealing grid and adaptive protection, the network becomes active and adaptable. Drastically reduces the time of interruption with respect to conventional methods, and new opportunities for better management and protection of the network are introduced.

This paper describes the principle of the selfhealing distribution network Elektre Koprivnica and the application of adaptive protection.

Key words: selfhealing grid, IEC 61850, SAIFI i SAIDI indexes, adaptiv protection

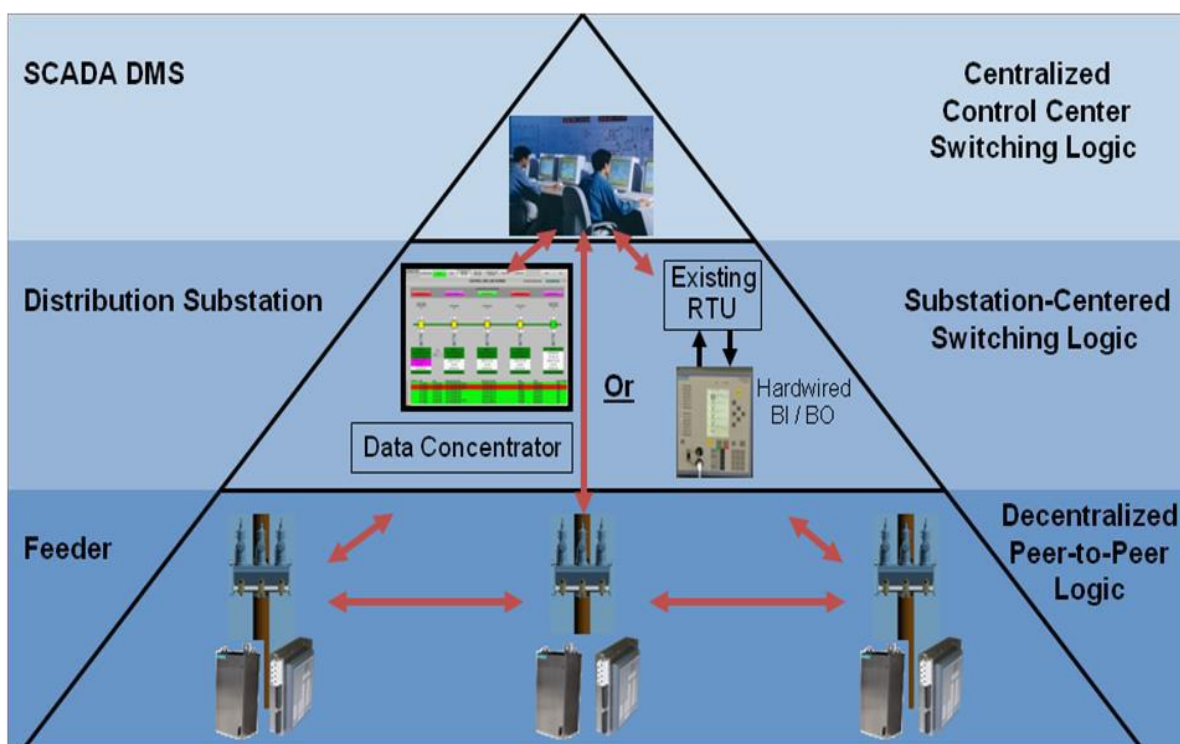
1. UVOD

Zbog činjenice da iz godine u godinu raste potrošnja električne energije, raste udio distribuirane proizvodnje u mreži te da su regulatorni uvjeti na kvalitetu i pouzdanost opskrbe sve stroži, na operatorima distribucijskih sustava je sve veći pritisak da mrežu održavaju stabilnom uz što manje prekida. Prilikom planiranja novih distribucijskih mreža vodi se računa o tome da se poveća pouzdanost napajanja svih korisnika mreže. Kako bi to zadovoljili, potrebno je ugraditi veliku količinu nove primarne i sekundarne opreme. Visoka pouzdanost napajanja bitna je svih mrežnim korisnicima: industrijskim, komercijalnim, stambenim i sl. Zbog veličine i kompleksnosti takvih mreža otežano je održavanje i upravljanje. U slučaju nemogućnosti isporuke energije zbog prekida u mreži, odnosno, nepostizanja zajamčenih standarda pouzdanosti napajanja, moguće su financijske kazne operatorima (plaćanje novčane naknade korisnicima mreže prema Uvjetima kvalitete opskrbe električnom energijom [1]), a istovremeno kritični potrošači mogu ostati bez mrežnog napajanja (npr. bolnice, vojni objekti, podatkovni centri i sl.).

2. AUTOMATIZACIJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Automatizacija distribucijske mreže (u daljnjem pisanju: ADM) je proces koji koristi operatorima sustava [1] ali i korisnicima mreže. Pojam ADM podrazumijeva automatizaciju procesa i korisnika unutar distribucijske mreže, a koristi se za upravljanje i nadzor mrežom kroz raznu opremu unutar trafostanica, duž vodova, pa sve to krajnjeg korisnika uključujući i brojilo. ADM infrastruktura podrazumijeva svu opremu (primarna i sekundarna), sustave komunikacija, kao i sve podatke i software potrebne da bi se cijeli sustav mogao automatizirati. Shematski prikaz ADM infrastrukture prikazan je na slici 1. Razvojem i implementacijom ADM moguće je u mreži:

- nadzor i upravljanje cijelom mrežom (u realnom vremenu),
- automatska rekonfiguracija mreže u slučaju kvara (samoobnavljajuća distribucijska mreža),
- primjena adaptivnih metoda relejne zaštite i
- automatska regulacija sustava.



Slika 1. ADM infrastruktura

3. MODEL SAMOONAVLJAJUĆE DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Osnovna ideja samoobnavljajuće mreže je automatizacija procesa ručnog rekonfiguriranja mreže prilikom izolacije kvara, te skraćivanje vremena trajanja prekida napajanja [3]. Tehnologiju samoobnavljajuće mreže moguće je primijeniti u kabelskoj mreži i na nadzemnim vodovima [4]. Kao osnovna primarna oprema u kabelskoj mreži koriste se daljinski upravljivi SN sklopni blokovi (RMU – eng. Ring Main Unit), dok se u nadzemnim vodovima koriste daljinski upravljivi prekidači (RC – eng. Recloser) i daljinski upravljive rastavna sklopke (LBS – eng. Load Break Switch).

S obzirom na ugrađenu opremu, dostupnost komunikacijske infrastrukture, te stupanj automatizacije mreže, razlikujemo više modela samoobnavljajućih mreža, kao što je prikazano na slici 1. Osnovna raspodjela je na decentralizirani i centralizirani sustav upravljanja, unutar kojih razlikujemo nekoliko modela [5]:

1. **Model 1** – razina uređaja (Feeder) – decentralizirani sustav
 - a. bez komunikacijske infrastrukture
 - b. Peer-to-peer (IEC 61850)
2. **Model 2** – razina kontrolnog centra (SCADA, primarna trafostanica)

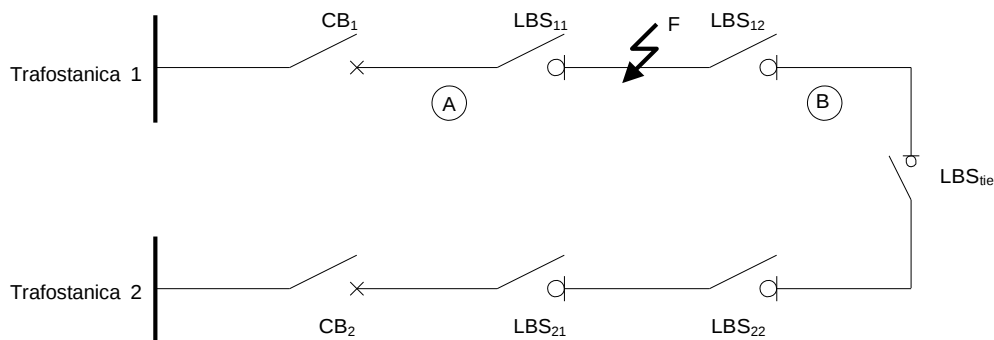
3.1. Model 1 – razina uređaja – decentralizirani sustav

Karakteristika ovoga modela je decentralizirani sustav upravljanja na razini uređaja, tj. ne koristi se nadređeni sustav za odlučivanje. Najčešće se koristi u mrežama prstenaste strukture koje se vode kao radijalne koristeći normalno otvorenu točku (NOP eng. – Normal Open Point) odnosno rasklopno mjesto gdje je moguće napajanje potrošača sa drugoga voda u slučaju kvara. Unutar modela razlikujemo dva podmodela zavisno o korištenju komunikacijske infrastrukture: bez komunikacijske infrastrukture i Peer-to-peer model sa korištenjem komunikacijske infrastrukture.

3.1.1. Model 1 - bez komunikacijske infrastrukture

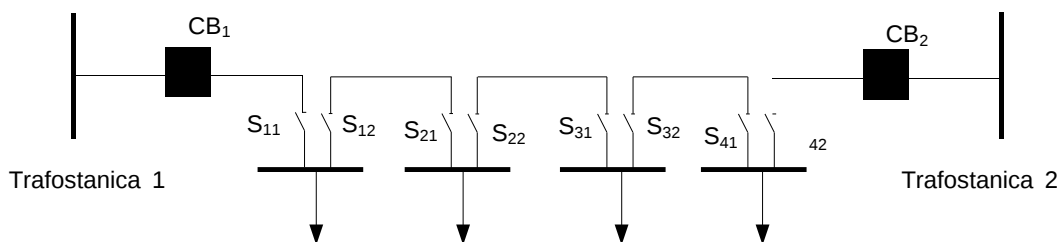
Najjednostavniji model samoobnavljajuće mreže, koji je danas najčešći model u primjeni jer ne zahtijeva komunikacijsku infrastrukturu. Za prekid kvara koriste se prekidači iz primarne trafostanice, a za izolaciju kvara koriste se rastavne sklopke (slika 2.).

Koordinacije zaštite radi se korištenjem standardnih zaštitnih krivulja i predefiniраниh intervala automatskog ponovnog uklopa (APU). Metoda radi na principu da se kvarovi detektiraju i otklanjaju u primarnim trafostanicama (prekidač CB_1 i CB_2).



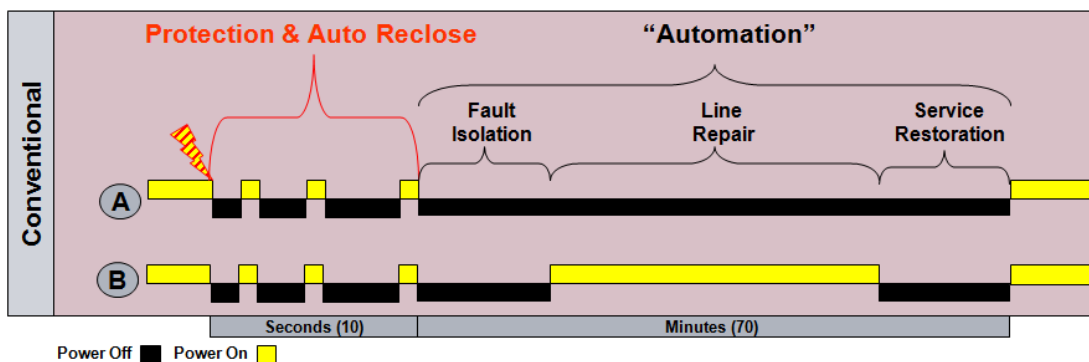
Slika 2. Nadzemna mreža bez komunikacije

Algoritam modela možemo primijeniti na primjeru nadzemne mreže na slici 2., gdje je LBS_{tie} isključen odnosno normalno otvorena točka (NOP). Kod pojave kvara F, prekidač CB_1 će detektirati kvar i isključiti. Na taj način cijela sekcija od CB_1 do LBS_{tie} ostaje bez napona. Izoliranje kvara radi se ručno, na način da se fizički ide od objekta do objekta i traži se indikator kvara koji je odradio te se otvara rastavna sklopka (LBS_{11}). Zatim se fizički ide do rastavne sklopke LBS_{12} kako bi se također otvorila i na taj način se izolirao kvar. Tek sada se može ponovno uklopiti prekidač CB_1 i zatvoriti rastavna sklopka LBS_{tie} kako bi se uspostavilo napajanje na „zdravom“ dijelu mreže. Isti algoritam primjenjuje se kod kabelskih mreža na primjeru prema slici 3.



Slika 3. Kabelska mreža bez komunikacije

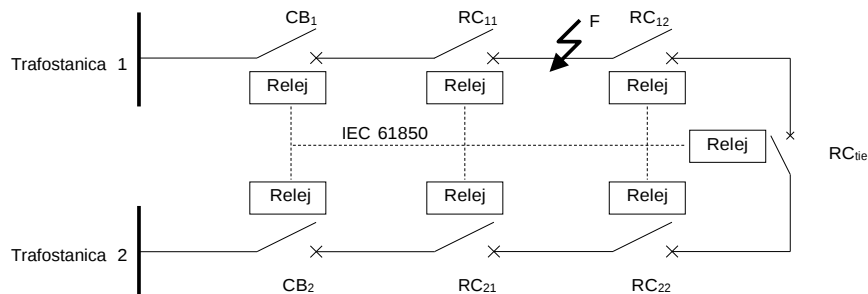
Ovaj model ne zahtijeva velika ulaganja i može se brzo implementirati u postojeće mreže. Veliki nedostatak je dugo vrijeme potrebno da se otkrije gdje je došlo do kvara, te da se kvar izolira i obnovi napajanje. Kod dugačkih vodova vrijeme bez napajanja može potrajati satima, kako je prikazano na slici 4. [6]. Ovom metodom veliki broj korisnika mreže ostaje bez napajanja iako se kvar nije dogodio na njihovom dijelu mreže. Kod nadzemnih mreža, zbog velikog boja prolaznih kvarova odradit će i APU. U slučaju trajnog kvara, višestruki APU nepotrebno napreže prenaponom u slučaju zemljospoja ili velikom strujom u slučaju kratkog spoja sve dijelove mreže, te na taj način skraćuje životni vijek i njihovu dugoročnu pouzdanost.



Slika 4. Vrijeme otklanja kvara u sustavu bez automatike

3.1.2. Model 1 - Peer-to-Peer model

Model decentraliziranog sustava upravljanja na razini uređaja, zahtijeva korištenje komunikacijske infrastrukture preko koje se vrši koordinacija uređaja (Slika 5). Isti model se primjenjuje u projektu samoobnavljajuće mreže Elektra Koprivnica. Model Peer-to-peer zahtijeva vrlo brzu komunikaciju gdje se prekid, izolacija kvara te rekonfiguracija mreže odvijaju u vremenu manjem od 300 ms. Trenutno je IEC 61850 jedini komunikacijski protokol koji ima rješenje za takve zahtjeve. Koordinacija zaštite i upravljanja vrši se podešavanjem i programiranjem svakog releja zasebno.



Slika 5. Nadzemna mreža sa komunikacijom (Peer-to-Peer)

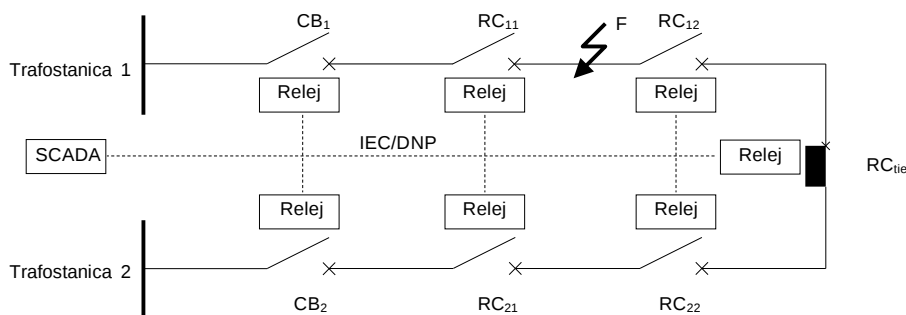
Algoritam modela sa Slika 5, možemo primijeniti s daljinski upravljivim prekidačima (RC) gdje je RC_{tie} isključen odnosno normalno otvorena točka (NOP). Kod pojave kvara F, releji CB₁ i RC₁₁ će vidjeti kvar. Međusobnom koordinacijom zaštitnih releja, koristeći komunikacijski protokol IEC 61850, ustanovit će se lokacija kvara i redoslijed isklapanja. Prvo će isključiti RC₁₁, zatim RC₁₂, a neposredno nakon

izolacije kvara uklopit će RC_{tie} kako bi se uspostavilo napajanje do RC_{12} . Tada počinje ciklus APU na RC_{11} . Nakon otklanjanja kvara uspostava napajanja se vrši slijedećim redoslijedom: prvo uključenje RC_{11} i RC_{12} pa isključenje RC_{tie} .

Korištenjem Peer-to-Peer modela znatno se skraćuje vrijeme trajanja uključjenja u odnosu model bez komunikacije te se tako znatno poboljšavaju SAIDI i CAIDI indeksi. Također, zbog direktnog isključenja i uključjenja RC-a, bez napajanja ostaje samo onaj dio korisnika koji su zahvaćeni kvarom. Također, zbog postojeće komunikacijske infrastrukture jednostavnija je (i jeftinija) nadogradnja na viši stupanj automatizacije prema kontrolnim centrima.

3.2. Model 2 – razina kontrolnog centra (SCADA, primarna trafostanica)

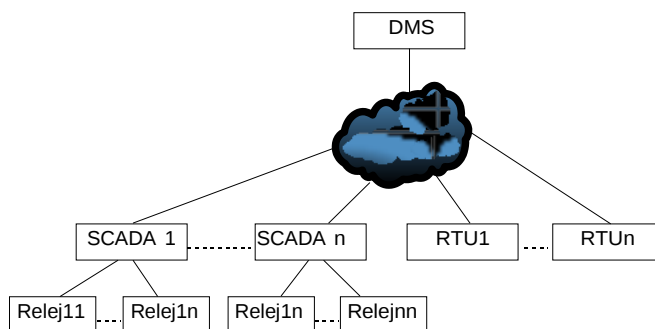
Arhitektura sustava temeljena je na centraliziranoj logici upravljanja. Proces izoliranja kvara i obnove napajanja vrši se na razini SCADA sustava primarne trafostanice. U odnosu na Peer-to-Peer model, ovdje se upravljanje vrši preko SCADA staničnog računala, ali koordinacija zaštite se i dalje vrši podešavanjem i programiranjem svakog releja zasebno. Logika algoritma može se shematski prikazati na slici 6.



Slika 6. Nadzemna mreža sa komunikacijom sa SCADA sustavom

Algoritam možemo primijeniti s daljinski upravljivim prekidačima (RC) gdje je RC_{tie} isključen odnosno normalno otvorena točka (NOP). Kod pojave kvara F, releji uz CB_1 i RC_{11} će vidjeti kvar. U SCADA centru se automatski generira logika redoslijeda isklapanja i logika uspostavljanja napajanja. SCADA daje nalog da se logike izvrše, stoga će istovremeno isključiti RC_{11} i RC_{12} , a neposredno nakon izolacije kvara uklopit će RC_{tie} kako bi se uspostavilo napajanje do RC_{12} . Nakon otklanjanja kvara automatski se uspostavlja napajanje između RC_{11} i RC_{12} . Isti algoritam primjenjuje se kod kabelskih mreža. Nakon otklanjanja kvara uspostava napajanja se vrši slijedećim redoslijedom: prvo uključenje RC_{11} i RC_{12} pa isključenje RC_{tie} .

Model 2 predstavlja centraliziran dinamički sustav upravljanja dijelom mreže koji za razliku od ostalih modela automatski generira logiku izolacije kvara i obnove napajanja. Skraćuje vrijeme trajanja isključenja i vremena bez napajanja u odnosu na ostale modele, te se tako znatno poboljšavaju SAIDI i CAIDI indeksi. Karakteristika modela je najviši stupanj automatizacije koji se koristi u okruženju naprednih mreža (eng. smart grid). Koordinacija se radi između različitih vrsta rasklopnih uređaja postavljenih u mreži i svih trafostanica u distribucijskoj mreži (slika 7.).



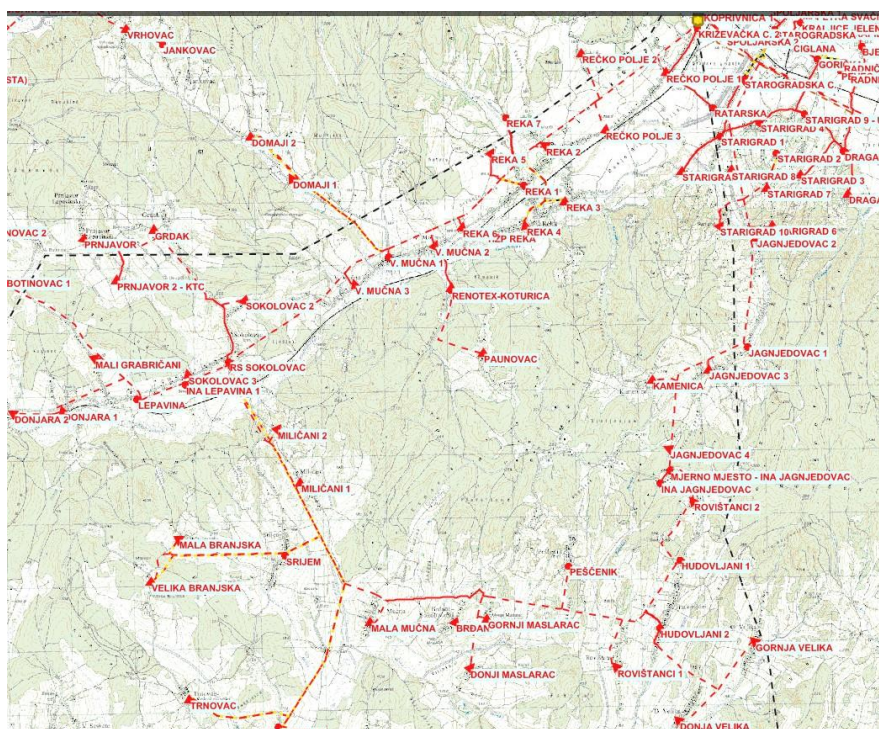
Slika 7. Distribution Management System – DMS

Arhitektura sustava temeljena je na centraliziranoj logici upravljanja. Centar upravljanja zove se DMS (eng. Distribution Management System). DMS omogućava optimalno upravljanje distribucijskom mrežom i u potpunosti se može primijeniti model samoobnavljajuće mreže. Zbog preglednosti cijelog sustava, DMS ima mogućnost izolacije kvara i rekonfiguracije mreže na više načina, ovisno o postavljenim parametrima i ciljevima vođenja mreže (tokovi snaga, proizvodnja iz DER, potrošnja, vremenska prognoza i sl). Releji i RTU u polju i dalje nadziru i upravljaju primarnom opremom. Stanično računalo u SCADA sustavu prikuplja sve podatke i proslijeđuje ih u DMS kontrolni centar. Unutar DMS-a generira se logika izolacije kvara i obnove napajanja. Ovaj model je nešto sporiji, ali je puno opsežniji, te daje mogućnost optimalnog rekonfiguriranja mreže.

4. SAMOOBNAVLJAJUĆA MREŽA ELEKTRE KOPRIVNICA

TS 35/10(20) kV Koprivnica 1 napaja trećinu konzuma grada Koprivnice te južnu i zapadnu stranu ruralnog dijela okolice Koprivnice. Vodovi 10 kV Jagnjedovac i Sokolovac (slika 8.), izlaze iz TS 35/10(20) kV Koprivnica 1 te zatvaraju petlju duljine cca 60 km na koju je spojeno oko 5.000 korisnika mreže. Korištenjem te petlje moguće je dvostrano napajanje iz iste primarne trafostanice.

Prilikom pojave kvara na toj petlji proces izolacije kvara, rekonfiguracije mreže i uspostave napajanja odvijao se ručno (Model 1 – razina uređaja bez komunikacijske infrastrukture), što je znalo trajati i po nekoliko sati. Cilj ovoga projekta bilo je maksimalno smanjiti broj korisnika mreže zahvaćenih kvarom te maksimalno smanjiti vrijeme prekida na način da kupci koji nisu zahvaćeni kvarom „ne osjete“ prebacivanje napajanja na drugi izvor (bez prekida). Da bi se to ostvarilo bilo je potrebno ugraditi odgovarajuću primarnu i sekundarnu opremu za automatizaciju mreže te odabrati komunikacijsku tehnologiju koja udovoljava zahtjevima.



Slika 8. Geografski prikaz vodova Jagnjedovac i Sokolovac

4.1. Tehnički zahtjevi

Tehnički vrlo zahtjevan projekt na kojemu je bilo potrebno implementirati i uskladiti sustave automatizacije i zaštite, a pri tome koristiti bežičnu komunikaciju. Zahtjevi na tehničko rješenje razmatrani su iz područja energetike i komunikacijske tehnologije.

Zahtjevi u smislu energetike bili su uspostava samoobnavljajuće mreže na postojećem vodu Jagnjedovac - Sokolovac. Sustav mora biti temeljen na decentraliziranom sustavu upravljanja korištenjem

bežične komunikacije (Model 1 - Peer-to-Peer model, kako je opisano u točki 3.1.2). Bilo je potrebno ugraditi vakuumske prekidače (recloseri) s mogućnošću daljinskog upravljanja i međusobne komunikacije (horizontalna i vertikalna komunikacija). Sustav koji koristi prekidače mora detektirati i izolirati dio voda u kojem je kvar. Vrijeme isključenja kvara mora biti „trenutno“ (vrijeme djelovanja pomoćnog releja u terminalu polja plus vrijeme djelovanja magnetskog aktuatora, što u naravi iznosi <40 ms).

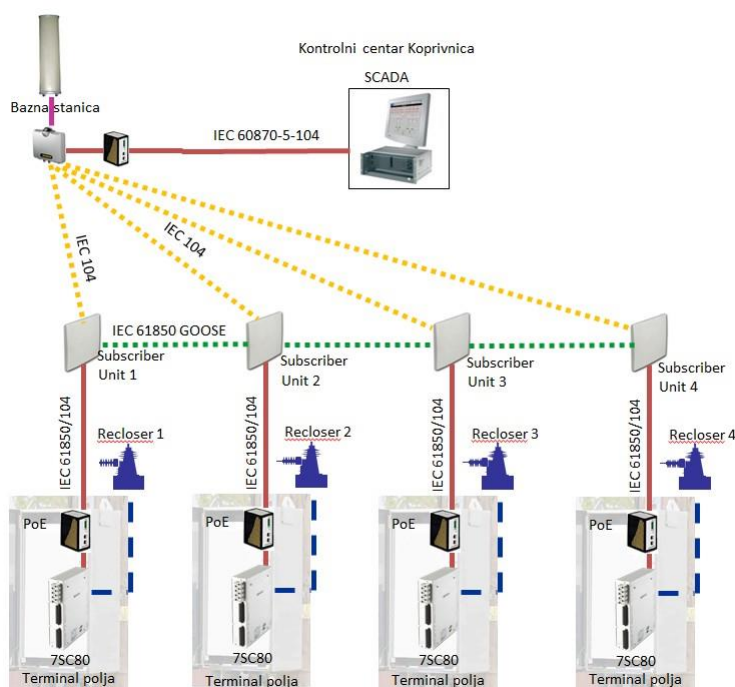
Neposredno nakon izolacije dijela voda zahvaćenog kvarom, sustav mora obnoviti napajanje na dijelovima vodova koji nisu zahvaćeni kvarom te izdati sekvencu automatskog ponovnog uklopa kako bi provjerio je li se radi o prolaznom kvaru. Vrijeme uspostave napajanja za dijelove voda koji nisu zahvaćeni kvarom mora biti manje od 300 ms. Uređaji relejne zaštite moraju biti adaptivni, tj moraju biti u mogućnosti promijeniti udešenja pojedine zaštitne funkcije ovisno o trenutnoj konfiguraciji mreže.

U smislu komunikacijskih tehnologija zahtjevi su bili da se koristi bežična komunikacija. Za horizontalnu komunikaciju između uređaja mora se koristiti IEC 61850 kao standard za komunikaciju i razmjenu informacija. Terminali polja međusobno moraju komunicirati bežičnom komunikacijom te koristiti sigurne IEC 61850 GOOSE poruke za prijenos digitalnih i analognih informacija od uređaja do uređaja.

Za vertikalnu komunikaciju s kontrolnim centrom, mora se koristiti protokol IEC 60870-5-104. Komunikacijski sustav za horizontalnu komunikaciju mora imati visoku pouzdanost (>99%), visoku propusnost (minimalno 1Mb/s), i nisku latenciju (<10 ms) [6].

4.2. Tehničko rješenje samoobnavljajuće mreže

Prilikom izrade optimalnog tehničkog rješenja uzeto je u obzir više faktora: trenutno stanje i topologija mreže, te tehnički zahtjevi na samoobnavljajuću mrežu. Blok shema ugrađenog sustava nalazi se na slici 9.



Slika 9. Blok shema samoobnavljajuće mreže Koprivnica

4.2.1. Vakuumski prekidač

Kao ključni elementi samoobnavljajuće mreže Elektre Koprivnica koriste se 4 vakuumska prekidača (recloser), prikazana na slici 10. Prekidači su opremljeni naponskim i strujnim senzorima, upravljačkim ormarom sa zaštitnim relejem (za funkcije zaštite i upravljanja), sustavom za besprekidno napajanje te komunikacijskim modemom. Vakuumski prekidači su predviđeni za vanjsku ugradnju i montirani su na betonske i čelično-rešetkaste stupove. Za pogonski mehanizam koriste magnetski aktuator, pokretan energijom kondenzatora, bez stanja čekanja ili izgubljene energije ako aktuator ne radi. Predviđeni su za brzo automatsko ponovno uključanje (APU) radnog ciklusa O - 0.2s - CO -2s - CO - 2s - CO (-30s - CO) - lockout. [7]

4.2.2. Upravljački ormar

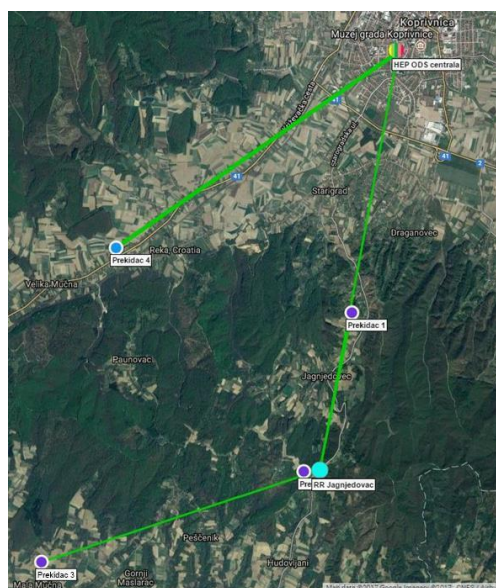
Upravljački ormar ugrađen je u podnožju istog stupa. Glavni elementi ormara su terminal polja, jedinica za napajanje, komunikacijska oprema. Isti je prikazan na slici 10. Terminal polja je sa integriranim zaštitnim funkcijama (ANSI 50/51 , 50BF, 46, 49, 74TC, 37, 51c, 86, 79), mogućnosti definiranja interne PLC logike (CFC), istovremeno rad na dva komunikacijska protokola: IEC 61850 i IEC 60870-5-104. [8] Jedinica za napajanje je snage 50W i sastoji se baterijskog UPS sustava (12Ah) koji podržava rad prekidača u slučaju gubitka glavnog napajanja sa dalekovoda.



Slika 10. Vakuumski prekidač i upravljački ormar

4.2.1. Komunikacijska oprema

Zbog specifičnih zahtjeva na propusnost i brzinu komunikacije, te zahtjevnu konfiguraciju terena korištena je mikrovalna radijska mreža izvedena u konfiguraciji point-to-point i point-to-multipoint. Radijski sustav opremljen je s 10/100/1000 BaseT sučeljem. Fleksibilna topologija sustava omogućuje jednostavnu i učinkovitu nadogradnju radijske mreže u point-to-point i point-to-multipoint načinu rada. Kod proračuna raspoloživosti i zalihosti radijskih veza, radijski i antenski sustavi odabrani su tako da omogućuju visoku raspoloživost i pouzdanost radijske veze. Bazne antene su montirane na lokacijama Jagnjedovac i HEP ODS Koprivnica, a pretplatničke stanice na stupu uz svaki prekidač. Shema komunikacijskog sustava vezanog u konfiguraciju terena nalazi se na slici 11.



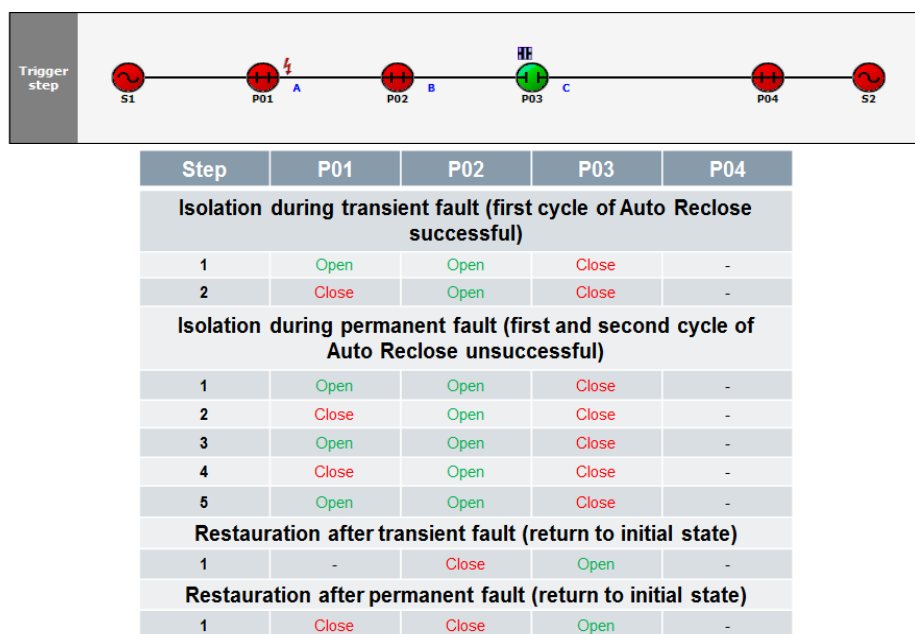
Slika 11. Shema komunikacijskog sustava

4.2.2. IEC 61850 protokol

Iako je IEC 61850 primarno zamišljen kao stanični protokol, zbog sve veće primjene u automatizaciji po dubini mreže dovelo je do razvoja standarda u smislu komunikacije izvan stanice [9]. U ovom slučaju GOOSE poruke su dizajnirane da se mapiraju na Ethernet Layer2, što omogućava porukama da se šalju preko WAN na druge udaljene objekte. Kako je GOOSE vrlo zahtjevan po pitanju brzine i propusnosti, potrebno je optimirati broj poslanih poruka među uređajima. Preko GOOSE poruka prenose se digitalni, ali i analogni podaci potrebni za potpunu funkcionalnost samoobnavljajuće mreže.

4.3. FLISR & ATS

Proces detektiranja i izolacije kvara, te uspostave ponovnog napajanja (eng. Fault Location, Isolation and Service Restoration - FLISR) odrađuje se automatiziranim sekvencama. Automatska uspostava napajanja inicira se u trenutku kada je došlo do isklopa prekidača izvora napajanja. Sustav automatski pronalazi najbližu točku u mreži kao novi izvor napajanja, te kreće u rekonfiguraciju mreže (eng. automation transfer source – ATS). Nakon otklanjanja kvara koji je uzrokovao rekonfiguraciju mreže, sustav ima mogućnost automatski se vratiti na prethodno utvrđeno normalno stanje definirano normalnom otvorenom točkom (rasklopno mjesto) koje je odabrao korisnik. Analizom mogućih pogonskih stanja mreže određuje se broj mogućih uklopnih stanja i automatiziranih sekvenci, ovisno o dijelu mreže u kojem je nastao kvar. Programiranjem PLC logike terminala (CFC), ostvaruju se funkcije FLISR i ATS (slika 12). [6]



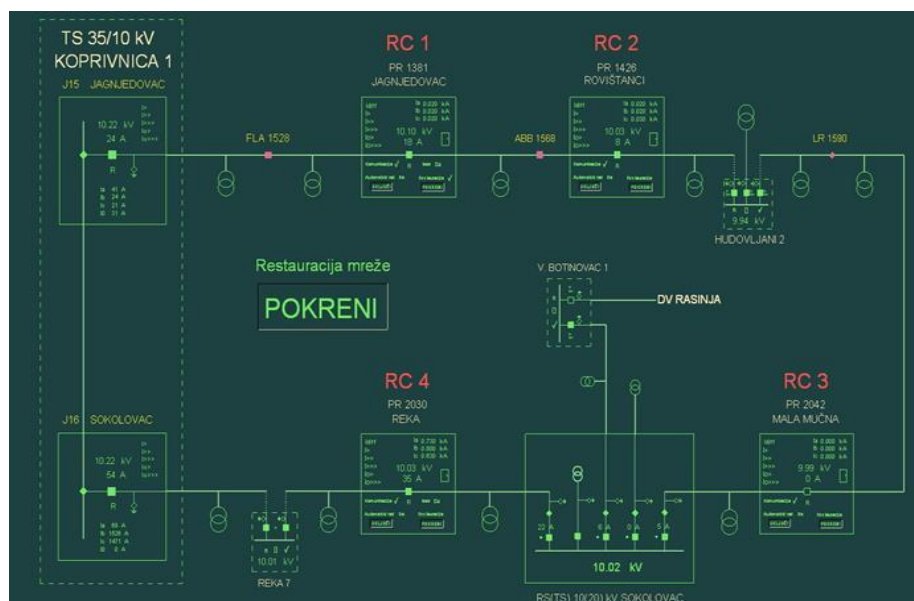
Slika 12. Programirnje FLISR i ATS

4.4. Adaptivna zaštita

Zaštita mreže od kvarova realizirana je terminalima polja ugrađenim u upravljačke ormariće vakuumskih prekidača. Relejna zaštita ima dva osnovna moda rada: s komunikacijom i bez komunikacije. Nevezano na prisutnost komunikacijskog sustava, zaštita mora biti selektivna.

Za detektiranje kvarova koristi se modificirana metoda diferencijalne zaštite (*jDiff*) [6] implementirana u terminalima polja, koja funkcionira na principu mjerenja iznosa i smjera struja, te na temelju toga utvrđuje lokaciju kvara na segmentu voda. Određivanje lokacije kvara nije temeljno na metodi pokušaja i pogreške (pozivanje svakog reclosera), već detektira kvar između reclosera u nekoliko milisekundi (ms). To znači da sustav može izolirati i vratiti napajanja preko normalno otvorene točku u svega nekoliko milisekundi. Za funkcioniranje zaštite *jDiff* potrebna je ispravna komunikacijska infrastruktura i korištenje protokola IEC 61850. U slučaju gubitka komunikacije, terminali polja automatski blokiraju funkciju *jDiff* i prelaze na „normalni“ mod rada kao samostalni prekidač u mreži. Selektivnost zaštite postiže se strujnim i vremenskim zatezanjem svakog od terminala polja.

Iz primjera ovoga projekta, ali i ostale literature [10][11], razvidno je da zbog velikog broja kombinacija uklopnog stanja mreže i uvjeta prisustva komunikacije, statička udešenja zaštite ne mogu zadovoljiti sve uvjete rada mreže. Potrebno je koristiti metode adaptivne zaštite gdje se za svako uklopno stanje mijenjaju postavke unutar terminala polja.



Slika 13. Shema sustava u dispečerskom centru HEP Koprivnica

5. ISPITIVANJE I PUŠTANJE U RAD

Prije montaže na terenu cijeli sustav ispitivan je lokalno i sa sekundarnim vrijednostima u laboratorijskim uvjetima, ali u uvjetima bežične komunikacije. Ispitivanja su pokazala da sustav postiže zadana vremena isključenja i izdvajanja dijela mreže s kvarom, a to je <300 ms.

Nakon završene montaže vakuumskih prekidača, svaki od prekidača ispitivan je sekundarno. Nakon montaže komunikacijske infrastrukture, cijeli sustav ispitivan je s primarnim ispitivanjima, kako bi se utvrdilo vrijeme reakcije kod „stvarnog“ kvara. Simulirao se kvar na svakoj dionici između prekidača, a uređajem za mjerenje kvalitete energije snimano je vrijeme prekida tj. beznaponska pauza. Rezultati ispitivanja su pokazali da je za svaku lokaciju vrijeme isključenja i rekonfiguracije zajedno bilo manje od 300ms (slika 14).

PQube Information		Event	
Location:	Durdevac	Event Type:	Interruption
PQube ID:	HEP Koprivnica	Event Duration in Seconds:	0.147
Note 1:	(note not set)	Trigger Date:	2017/09/14
Note 2:	(note not set)	Trigger Day of Week:	Thursday
PQube Serial Number:	P006102	Trigger Time:	T 10:51:21.750
Model Number:	PQube 02-0000	Trigger Channel:	L3-N
Firmware Version:	2.0.1 #2778	Trigger Threshold:	10.0% of nominal

Slika 6. Zapis iz uređaja za kvalitetu električne energije

6. ZAKLJUČAK

U ovome radu prikazani su novi koncepti upravljanja i zaštite distribucijske mreže, te implementacija istih u mreži HEP ODS Elektra Koprivnica. Opisan je model rada samoobnavljajuće mreže koja ima sposobnost svaki kvar detektirati, locirati, izolirati, te uspostaviti ponovno napajanje u vremenu ispod 300ms, a temeljena na komunikacijskom protokolu IEC 61850.

Projekt samoobnavljajuće mreže Elektre Koprivnica predstavlja primjenu trenutno jednog od najmodernijih rješenja na području naprednih mreža u svijetu.

7. LITERATURA

- [1] Uvjeti kvalitete opskrbe električnom energijom, NN 37/2017
- [2] D. Brajković, R. Ćučić, V. Fabris, Z. Jadrijević, B. Brestovec, B. Njavro, „Implementacija automatizacije po dubini srednjenaponske mreže“, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije - HO CIRE, svibnja 2014
- [3] X. Bingyin, G. Mengyou, E. Spitze, „Self-healing of mv distribution network based on distributed control“, International Congress on Electricity Distribution CIGRE, 2010
- [4] E. Coster, W. Kerstens, T. Berry, „Self healing distribution networks using smart controllers“, 22nd International Conference on Electricity Distribution CIGRE, June 2013
- [5] Siemens AG, „Self-healing solution for distribution grids“, ENEAS distribution automation, 2013
- [6] Siemens AG, „Distribution & Feeder Automation Applications“, July 2013
- [7] Siemens AG, „Siemens Vacuum Recloser 3AD“, Catalog HG 11.42, 2015
- [8] Siemens AG, „SIPROTEC Compact 7SC80“, Catalog SIP 3.01 · Edition 4, 2016
- [9] S. Mohagheghi, J.C.s Tournier, J. Stoupis, L. Guise, T. Coste, C.A. Andersen, J. Dal, „Applications of IEC 61850 in Distribution Automation“, Power Systems Conference and Exposition (PSCE), 2011
- [10] K. Kauhaniemi, S. Voima, „Adaptivity of Protection in Smart Grids“, PAC World Conference 2012
- [11] M. Nardi, A. Scott, M. Pesin, „Distributed Generation and Its Impact on Power Grids and Microgrids Protection“, Protective Relay Engineers Conference, 2012