

IMPLEMENTACIJA TRAFOSTANICE DUBOKA

Marušić, Ivan

Graduate thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:262229>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-11**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU

SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnika

IVAN MARUŠIĆ

ZAVRŠNI RAD

IMPLEMENTACIJA TRAFOSTANICE DUBOKA

Split, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnika

Predmet: Telekomunikacije u elektroenergetskim sustavima

ZAVRŠNI RAD

Kandidat: Ivan Marušić

Naslov rada: Implementacija trafostanice Duboka

Mentor: dr.sc. Slobodanka Jelena Cvjetković, prof. struč. stud.

Komentor: Vjekoslav Zrno, pred.

Split, rujan 2023.

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	1
SUMMARY	2
1. UVOD	3
1.1. Pametna mreža.....	4
2. RAZVOJ PAMETNIH MREŽA	6
2.1. Ekonomska opravdanost izgradnje pametnih mreža.....	6
2.2. Obnovljivi izvori energije.....	7
2.3. Električna vozila	9
2.4. Dvosmjerna komunikacija	10
2.5. Cyber sigurnost.....	11
3. AUTOMATIZACIJA	14
3.1. Razine automatizacije	15
3.2. Ugradnja daljinske upravljive SF6 sklopke.....	18
4. TEHNOLOGIJE, PREDNOSTI I NEDOSTACI PAMETNE MREŽE.....	22
5. TRAFOSTANICA DUBOKA 10(20)/ 0,4 kV	26
5.1. Lokacija i opis TS Duboka (10(20)kV/ 0,4 kV)	27
5.2. Oprema trafostanica (10(20) kV/0,4 kV).....	29
5.3. SN blok TS „Duboka“ (10(20)kV/0,4 kV)	30
5.3.1. Srednjenaponski konektori (adapteri)	31
5.3.2. Releji SEG WIC1-2-P-E	33
5.4. Strujni mjerni transformator TS Duboka.....	34
5.5. NN blok u TS Duboka	35
5.5.1. Kondenzatorska baterija u NN bloku - TS Duboka	36
5.5.2. Odvodnici prenapona u NN bloku TS – Duboka	37
6. MJERENJA I KOMUNIKACIJA TS DUBOKA (10(20)/ 0,4 kV).....	38
6.1. Višetarifni mjerač PM5310.....	38
6.1.1. Modbus RTU komunikacija i standard RS-485	39
6.2. Logički kontroler M241	40
6.3. Centar daljinskog upravljanja (COKP: Zaradeže).....	42

6.4. Komunikacija TS Duboka i središnjeg centra	43
7. ZAKLJUČAK	45
LITERATURA	46
POPIS SLIKA	49

SAŽETAK

IMPLEMENTACIJA TRAFOSTANICE DUBOKA

Modernizacija energetskeg sustava dovela je do napretka u proizvodnji, prijenosu i distribuciji električne energije. Koncept "pametne mreže" za cilj ima optimizirati energetske učinkovitost, povećati pouzdanost i prilagoditi integraciju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

Unutar pametne mreže nalaze se inteligentne međusobno povezane trafostanice. U radu je razmotreno područje pametnih mreža i potencijalna implementacija unutar okvira pametne mreže na primjeru trafostanice Duboka 10(20)/0,4 kV. Razmatrat će se temeljna načela pametne mreže i njezine prednosti. Power Logic PM5310 i logički kontroler M241 imaju zadatak prikupljanja mjerenja uz kontinuiranu komunikaciju sa središnjim nadzornim i kontrolnim centrom. Naglasit će se potencijalne prednosti i složenost implementacije pametne mreže uz postupke nadogradnje energetske infrastrukture za potrebe daljinskog upravljanja.

Ključne riječi: elektroenergetski sustav, distribucija električne energije, transformatorska stanica, transformator, pametna mreža

SUMMARY

IMPLEMENTATION OF THE DUBOKA SUBSTATION

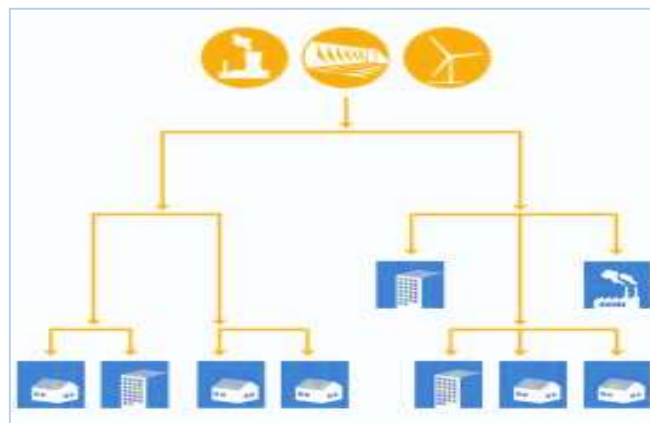
Modernization of the electrical grid has led to progress in the production, transmission and distribution of electricity. The "smart grid" concept aims to optimize energy efficiency, increase reliability and optimize the integration of electricity production from renewable sources.

Smart grid features intelligently interconnected grid elements. Thesis discusses the area of smart networks and potential implementation within the framework of a smart network using the example of the substation Duboka 10(20)/0.4 kV. The basic principles of the smart grid and its advantages will be discussed in this thesis. Power Logic PM5310 and logic controller M241 have the task of collecting measurements with continuous communication with the central monitoring and control center. The potential benefits and complexity of smart grid implementation will be emphasized along with procedures for upgrading the energy infrastructure for remote control purposes.

Keywords: power system, power distribution, transformer station, transformer, smart grid

1. UVOD

Elektroenergetski sustav (EES) u posljednjih 50 godina od “lokane mreže” postaje povezani elektroenergetski sustav. Dijeli se na proizvodnju, prijenos i distribuciju te potrošače električne energije. Do kraja XX. stoljeća, postojeći model sustava bilježi povećanje potreba krajnjih korisnika električne energije. Tu su ekološka pitanja, sigurnost, pouzdanost i integracija obnovljivih izvora energije. Postojeća energetska mreža u Republici Hrvatskoj zasniva se na staroj, vertikalnoj infrastrukturi. Koncept takve infrastrukture temelji se na činjenici da električna energija teče u smjeru od elektrana preko prijenosne i distribucijske mreže do krajnjeg potrošača (Slika 1.1.). Takav izgled sustava za isporuku električne energije u potpunosti je mehanički sustav, iako su implementirani senzori, komunikacijski sustavi i sustavi elektroničke kontrole. Nedostaci u sustavu potakli su znanstvenike na istraživanja novih rješenja u svrhu poboljšanja u pogledu stabilnosti, pouzdanosti, komunikacije, optimizacije i integracije.



Slika 1.1. Prijenos električne energije u elektroenergetskoj mreži [1]

Europski znanstvenici i inženjeri okupljeni u Europsku tehnološku platformu (*The European Technology Platform*) započeli su svoj rad 2005 godine. Glavni cilj bio je formulirati i promovirati viziju razvoja europske elektroenergetske mreže. Vizija je temeljena na programima, istraživanjima i demonstracijama novih tehnoloških dostignuća. Rezultate istraživanja iznjedrilo je savjetodavno vijeće u tri dokumenta (Slika 1.2.):

- Zajednička vizija (*Common Vision*)
- Strateško istraživanje (*Strategic research agenda*)
- Strateški dokument o implementaciji (*Strategic deployment document*).

Pametna mreža je električna mreža koja može inteligentno integrirati radnje svih korisnika koji su s njom povezani - proizvođača, potrošača i onih koji rade oboje – kako bi učinkovito isporučili održivu, ekonomičnu i sigurnu opskrbu električnom energijom.[2]



Slika 1.2. Dokumenti savjetodavnog vijeća [3]

Definicija pametne mreže napisana od strane vlade Sjedinjenih Američkih Država (*Statement of Policy on the Modernization of Electricity Grid of the United States Government*) glasi:

„Pametna mreža koristi inovativne proizvode i usluge zajedno s inteligentnim tehnologijama nadzora, upravljanja, komunikacije i samooporavka. Razvoj pametnih mreža mora uključivati ne samo tehnološka, tržišna i komercijalna razmatranja, utjecaj na okoliš, regulatorni okvir, korištenje standardizacije, ICT i migracijsku strategiju, već i društvene i vladine uredbe.“ [2]

1.1. Pametna mreža

Pametna mreža je integrirana složena, fleksibilna i pouzdana mreža koja se zasniva na dvosmjernoj komunikaciji u elektroenergetskom sustavu. Smjer toka energije više nije jednosmjernan već se stvaraju tokovi električne energije koji mogu iz bilo kojeg izvora u mreži.

Pametnom mrežom se prati reakcije na poremećaje u stvarnom vremenu što za posljedicu ima neprestano modificiranje i prilagođavanje sustava optimalnom stanju. Mogu se slati povratne informacije operatorima sustava o kvarovima i prekidima napajanja električnom energijom. Na ovakav način se omogućava elektroenergetskim sustavima automatsko detektiranje rizičnih područja koja bi mogla prouzročiti probleme ili smetnje. Automatizacija se postiže korištenjem proizvoda i usluga s inteligentnim nadzorom, komunikacijom, regulacijom i raznim novih tehnoloških dostignuća. [4]

Pametna mreža obuhvaća proces preoblikovanja elektroenergetske mreže. Nakon početnog istraživanja i godina tehnološkog razvoja, danas se smatra da su pametne mreže u „prijelaznom razdoblju“ te je potrebno provesti ispitivanja, implementirati tehnološka rješenja, obrazovati stručni kadar i potrošače, razviti standarde, propise i razmjenu informacija. [5]

2. RAZVOJ PAMETNIH MREŽA

Pametne mreže obuhvaćaju nekoliko područja, a to su:

- područje napajanja,
- područje komunikacije,
- područje upotrebe senzora i
- područje softverskog djela sustava.

Razvojem pametnih mreža usavršavao se sustav kontrole i sigurnosti te su definirani standardi za potrebe optimizirane učinkovitosti. Stoga ne iznenađuje što se razvojem pametne mreže povećao interes vlada, investitora i istraživača prema pouzdanijim, učinkovitijim resursima uz jeftiniju cijenu električne energije potrošačima. [6]

Danas gospodarstvo ovisi o pouzdanoj energiji. Iz gospodarske perspektive Smart Grid tehnologija omogućava inovacije u industriji uporabom učinkovitijih uređaja, senzorskih uređaja, pametnih brojlara i dr. Dakle, pametna mreža pridonosi razvoju i istraživanju. U razvoju pametne infrastrukture u energetske mrežama uključene su tehnološke tvrtke u svijetu poput IBM, GE, ABB, Siemens, Toshiba i Microsoft.

2.1. Ekonomska opravdanost izgradnje pametnih mreža

Kvaliteta energije definira se naponskim parametrima (vrijednost napona, asimetrija, frekvencija, itd.), kontinuitetom i pouzdanošću u opskrbi energijom. Pouzdanost napajanja definirana je međunarodnim standardima po indeksima opskrbe energijom. Postoje tri indeksa:

- indeks prosječnog broja trajanja dugotrajnih prekida napajanja svakog korisnika mreže (*System Average Interruption Duration Index*, SAIDI) ne uzimajući u obzir prekide kraće od 3 minute a jednak je

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^K N_i \cdot T_i}{N_{uk}} \left[\frac{\text{minuta}}{\text{korisniku}} \right]$$

- indeks prosječnog broja dugotrajnih prekida napajanja svakog korisnika mreže (*System Average Interruption Frequency Index*, SAIFI) je zbroj svih neplaniranih dugotrajnih prekida opskrbom električne energije po korisniku (ne uzimajući u obzir

prekide kraće od 3 minute). To je prosječan broj dugotrajnih prekida promatranih u vremenskom razdoblju koje prosječni korisnik može očekivati a računa se po izrazu:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^K N_i}{N_{uk}} \left[\frac{\text{prekida}}{\text{korisniku}} \right]$$

- indeks trenutne prosječne frekvencije prekida napajanja po svakom korisniku mreže (*Momentary Average Interruption Frequency Index*, MAIFI) je zbroj svih neplaniranih kratkih prekida (kraćih od 3 minute) u jednoj godini, podijeljen s ukupnim brojem kupaca. To je prosječan broj kratkih prekida po korisniku. [7]

$$MAIFI = \frac{\sum ID_i \cdot N_i}{N_{uk}}$$

Tehnologijom pametne mreže analizira se sustav u cjelini i prema dobivenim podacima unaprijed je moguće prepoznati probleme. Kontinuiranim prikupljanjem informacija u realnom vremenu znatno se smanjuju ispadi, izoliraju se mjesta kvara, jednostavno se preusmjerava energija do potrošača i vrši se servis, nadogradnja ili popravak određenog djela sustava. Kao rezultat ovakvog načina analiziranja i praćenja rada sustava smanjuju se troškovi održavanja.

2.2. Obnovljivi izvori energije

Tehnologija obnovljivih izvora energije koriste resurse izravno iz okoliša za proizvodnju električne energije. Pojam obnovljivih izvora energije uključuje energiju vjetra, solarnu energiju (toplinsku, fotonaponsku) hidroenergiju, energiju plime i oseke, geotermalnu energiju, toplinu okoline prikupljenu dizalicama topline, biogoriva i obnovljivi dio otpada. Europski zeleni plan (*European Green Deal*) (COM (2019) 640 final) postavio je ambiciozni cilj da Europa postane svjetski klimatski neutralni kontinent do 2050. godine donošenjem raznih paketa mjera kako bi omogućili europskim građanima i poduzećima da iskoriste održive zelene tranzicije. Obnovljivi izvori energije (slika 2.1.) imaju niz prednosti kao što su smanjenje emisije staklenički plinova i smanjenje ovisnosti o tržištima fosilnih goriva (nafta i plin). Isto tako konstantan rast obnovljivih izvora energije potiče zapošljavanje kroz otvaranje radnim mjesta u novim “zelenim” tehnologijama [8].

Znanstveni dokazi i razvoj svijesti o negativnom utjecaju korištenja fosilnih goriva na okoliš i klimatske promjene doprinosi porastu ulaganja u obnovljive izvore energije.

Osim toga posljednjih godina smanjenje ukupnih troškova obnovljivi izvora energije učinilo ih je konkurentnima tradicionalnijim metodama proizvodnje energije iz fosilnih goriva. Obnovljivi izvori neće nestati, za razliku resursa fosilnih goriva, gdje prilikom korištenja dolazi do sve teže nabave što će povećati troškove. Dobivena energija može se proizvoditi lokalno što ima za posljedicu da će se smanjiti ovisnost o uvezenoj energiji i pridonijeti energetske neovisnosti.

Nedostaci proizvodnje energije iz obnovljivih izvora su:

- Visok početni trošak, može biti znatno skuplji od konvencionalne tehnologije proizvodnje električne energije. Ulaganje u obnovljive izvore potiče se raznim poticajima od strane države i EU,
- Nemogućnost upravljanja vremenskim uvjetima. Resursi za proizvodnju iz obnovljivih izvora nisu uvijek dostupni. Vjetro turbine mogu proizvoditi električnu energiju samo kada ima dovoljno vjetra u propisanom rasponu. Stoga količina energije koju možemo dobiti iz obnovljivih izvora energije može biti nedosljedna ili isprekidana,
- Nemogućnost skladištenja energije dobivene iz obnovljivih izvora. S obzirom na činjenicu da se ne možemo osloniti da će izvor biti dostupan kada nam je energija potrebna, postoji potreba da se pohranjuje višak proizvedene energije. Tehnologija skladištenja električne energije je i dalje u razvitku, još je uvijek skupa te su kapaciteti skladištenja razmjerno mali,
- Elektrane na obnovljive izvore poput udaljenih i odobalnih (*offshore*) vjetroelektrana, gdje su izvori energije značajno udaljeni od potrošača, iziskuju izgradnju velike infrastrukture električne mreže da bi se proizvedene energija dostavila potrošačima. [9]



Slika 2.1. Primjeri proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. [10]

Izazov predstavlja integracija obnovljivih izvora energije i pametnih mreža. Ovom tehnologijom omogućuje se učinkovito upravljanje i distribuciju izvora energije kao što su sunce i vjetar. Ranije studije su pokazale da pametna mreža osim integracije obnovljivih izvora energije uključuje mogućnost pohrane energije zahvaljujući svojim naprednim kontrolnim i komunikacijskim svojstvima. Nedostatke obnovljivih izvora energije može se nadoknaditi skladištenjem energije bez potrebe pokretanja proizvodnih postrojenja.

Porastom korištenja obnovljivih izvora energije u opskrbi smanjiti će se emisija ugljičnog dioksida. Na isti način korisnici (potrošači) ne samo da će dobivati veći udio “zelene” energije, već će se lakše integrirati pojedinačni mikro izvore (male solarne i vjetroelektrane na objektima) u mrežu. Unatoč tome što pametna mreža pridonosi održivom razvoju integracijom distribuirane proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, sustava za pohranu energije i punionica za električnu mobilnost, nesigurnost i isprekidanost jedinica za proizvodnju obnovljive energije nameću ozbiljna opterećenja elektroenergetskim sustavima.

2.3. Električna vozila

Utjecajem čovjeka na ubranu promjenu klime na Zemlji došlo je do prihvaćanja implementacije električnih vozila kao alternativne mogućnosti prijevoza. Integracija pametne mreže za podršku električnim vozilima omogućuje upravljanje, praćenje i kontrolu punjena električnih vozila.

Infrastruktura za punjenje električnih postavlja se strateški kako bi zadovoljila povećanu potražnju za punionicama. To uključuje postavljanje stanica za punjenje na raznim lokacijama kao što su domovi, radna mjesta, javna parkirališta i autoceste.

Takve punionice mogu biti opremljenije pametnim tehnologijama za komunikaciju s mrežom i optimizaciju punjenja na temelju uvjeta mreže i korisničkih preferencija. Pametna mreža omogućuje efikasno korištenje resursa kao odgovor na trenutnu potražnju električne energije. Na primjer, tijekom razdoblja najveće potražnje ili kada je proizvodnja obnovljive energije visoka, punjenje električnih vozila može se potaknuti ili usmjeriti na sate izvan najveće potrošnje kako bi se uravnotežilo opterećenje mreže i promicalo korištenje energije iz čistih izvora.

Implementacijom pametne mreže, moguće je prikupiti goleme količine podataka iz električnih vozila, stanica za punjenje i samog rada mreže u vidu dvosmjerne komunikacije. Ovakav sustav koristi naprednu analitiku podataka i tehnike optimizacije kako bi se bolje upravljalo mrežom i predvidjelo opterećenje.

Ove informacije se koriste i za razvoj učinkovitih sustava naplate i tarifa za vlasnike električnih vozila. Infrastruktura pametne mreže omogućuje praćenje električnih vozila i mreže u realnom vremenu. Može pružiti informacije o statusu punjenja, stanju baterije, potrošnji energije i performansama mreže. Ovi se podaci mogu koristiti za prepoznavanje potencijalnih problema, osiguravanje učinkovitog rada i izvođenje produktivnog održavanja, čime se povećava ukupna pouzdanost i izvedba. Ovakav sustav je u procesu razvoja i intenzivne implementacije u Europi. [11] [12] [13]

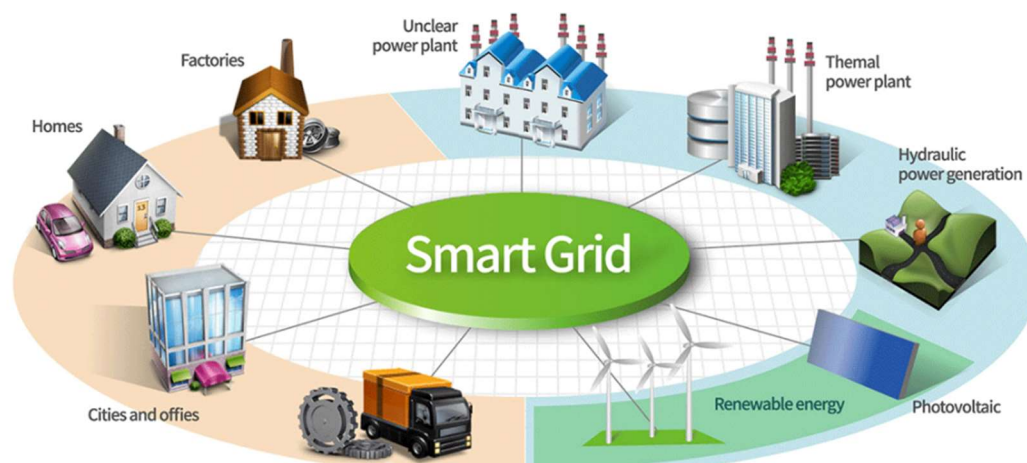
2.4. Dvosmjerna komunikacija

Prethodno opisani rad pametne mreže temelji se na međusobnoj komunikaciji. Jednosmjernan tok informacija u postojećim konvencionalnim mrežama, za razliku od dvosmjernog toka informacija u pametnim mrežama, smatra se jednom od fundamentalnih razlika između postojećeg elektroenergetskog sustava i tehnologije pametne mreže. Infrastruktura informacijskih i komunikacijskih tehnologija (*Information Communication Tehnology*, ICT) integrira se u sustav kao rješenje koje omogućuje proizvođačima, upravitelju, potrošačima i svim aktivnim komponentama, uključujući prijenosnoj i distribucijskoj infrastrukturi, međusobnu komunikaciju.

Pametna mreža se oslanja na kontinuirano prikupljanje podataka iz različitih elemenata mreže (Slika 2.2.). Komunikacijska infrastruktura omogućuje praćenje proizvodnje, potrošnje, naponskih razina, gubitaka u mreži te ispravnosti opreme u stvarnom vremenu.

Nadalje, komunikacijska infrastruktura olakšava upravljanje unutar pametne mreže, omogućuje automatizirano prebacivanje toka energije, otklanjanje grešaka i izolaciju zona koje su u kvaru. Na taj način smanjuje se trajanje prekida napajanja potrošača, poboljšavajući pouzdanost mreže. Daljinski upravljanim uređajima i sustavima, operateri mogu brzo reagirati na promjenjive uvjete te na taj način uravnotežiti opterećenje. Komunikacija također ima ključnu ulogu u upravljanju isprekidanošću obnovljivih izvora energije. Razmjena informacija o proizvodnji i dostupnosti električne energije u stvarnom vremenu, operateri mreže mogu dinamički prilagoditi rad mreže, optimizirati protok energije i osigurati stabilnu i pouzdanu opskrbu električnom energijom.

Takva mreža može slati informacije o cijenama potrošačima, potičući ih da se prilagode svojoj potrošnji električne energije tijekom razdoblja najveće potražnje ili kada je obnovljiva energija u izobilju. Potrošači također mogu dobiti informacije o svojoj potrošnji energije, što im pomaže u donošenju informativnih odluka za uštedu energije i smanjenje troškova. [6] [14] [15] [16]



Slika 2.2. Primjer komunikacijskih veza u pametnoj mreži [17]

2.5. Cyber sigurnost

Implementacijom ICT tehnologije u pametnoj mreži, dolazi do pojave niza problema povezanih sa sigurnošću. Takav pametni energetska sustav postaje ranjiv na cyber prijetnje, te je ključna zaštita takvog sustava. Kibernetička sigurnost je stalan proces koji zahtjeva proaktivan i višeslojan pristup. Primjenom robusnih sigurnosnih mjera, kontinuiranog nadzora i suradnje među sudionicima, pametna mreža može učinkovito ublažiti kibernetičke prijetnje i osigurati pouzdan i siguran rad elektroenergetskog sustava.

Možemo razlikovati dvije vrste napadana na pametni mrežu: cyber napad i fizički napad. Cyber napadom moguće je prislušivati i otuđiti privatne podatke ili postići neželjeno ponašanje fizičkih komponenti kojim upravlja softverski dio sustava. S druge strane fizički napadi mogu uzrokovati nestabilnost sustava zbog uništenja infrastrukture.

Kibernetičke napade možemo podijeliti u četiri kategorije:

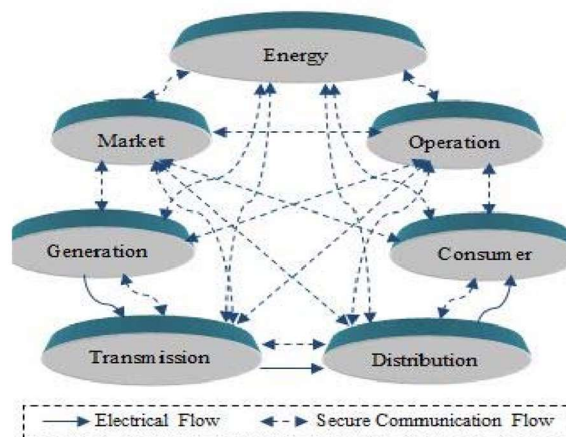
- napad na uređaj ugrožava kontrolu mrežnog uređaja, obično je to prvi korak složenog napada,
- podatkovni napad ima za cilj umetanje, promjenu ili brisanje protoka podataka u mreži, kako bi se postiglo loše ponašanje,
- napad na privatnost je pokušaj korištenja analitičkih podataka kako bi se otuđili ili zaključali osobni podaci korisnika,
- napad na dostupnost mreže ima za cilj iskoristiti ili nadjačati komunikacije i računalne resurse pametne mreže i rezultirati kašnjenje ili prekidom komunikacije.

Glavni cilj u postizanju dobre razine sigurnosti u pametnoj mreži je postizanje pouzdane zaštite od kombiniranih fizičkih i kibernetičkih napada. Zaštita sustava od ovih prijetnji ključna je za osiguranje pouzdanosti, integriteta i otpornosti elektroenergetskog sustava. Nekoliko je važnih mjera i razmatranja za kibernetičku sigurnost pametne mreže:

- procjena rizika provodi se kako bi se prepoznale potencijalnih ranjivosti i prijetnje u pametnoj mreži. Procjena rizika uključuje procjenu sigurnosnog stanja različitih komponenti, kao što su komunikacijske mreže, podatkovne mreže, sustave upravljanja i uređaje krajnjih korisnika,
- robusna mrežna arhitektura uključuje implementaciju vatrozida (*Firewall*), sustava za otkrivanje i sprječavanje upada u sustav. Mreža se treba dizajnirati s redundancijom i otpornošću kako bi se smanjio utjecaj kibernetičkih napada ili kvarova,
- sigurnosni komunikacijski protokol implementiraju mehanizme šifriranja i provjere autentičnosti kako bi se osigurala sigurna komunikacija između različitih komponenti pametne mreža. Snažni mehanizmi provjere autentičnosti, poput duple provjere pomažu spriječiti neovlašteni pristup kontrolnim sustavima,
- kontinuirano praćenje i otkrivanje prijetnji omogućuje otkrivanje neuobičajenih aktivnosti i potencijalnih cyber prijetnji. Provode se redovne sigurnosne revizije i testiranja prodora kako bi se identificirale ranjivosti u sustavu,

- odgovor na incident i oporavak je razvoj sveobuhvatnog plana odgovora na incident, takvim se planom smanjuje vrijeme i utjecaj kibernetičkih napada. Ovaj plan definira uloge, odgovornosti i postupke za otkrivanje, obuzdavanje i oporavak sigurnosnih incidenata,
- suradnja i dijeljenje informacija između operatora sustava potrošača poboljšava otpornost sustava, omogućuje nadogradnju i ažurnost sustava na nove metode prodora te učenje djelatnika najboljim praksama. Ova suradnja može pomoći u stvaranju pristupa kolektivnoj obrani i olakšati razvoj industrijskih standarda i smjernice za kibernetičku sigurnost pametne mreže,
- obuka zaposlenika i podizanje svijesti potiče konstantno educiranje i pohađanje redovite obuke. Zaposlenici EES-a se obučavaju za prepoznavanje pokušaja krađe identiteta, uporabu lozinki i ključeva većeg stupnja sigurnosti i razumijevanje raznih tehnika obrane od kibernetičkog napada. Povećanje svijesti među zaposlenicima pomaže u stvaranju kulture sigurnosti unutar organizacije.

Organizacije koje kombiniraju kibernetičku sigurnost s pametnom mrežom i svojim postojećim sustavima u poziciji su da iskoriste brojne prednosti proizašle iz poboljšanih operativnih sustava i povećane pouzdanosti usluga za njihove korisnike. Stoga je ključno da uvođenje pametne mreže bude popraćeno uspostavom snažnog programa kibernetičke sigurnosti koji je integriran u operativne sustave (Slika 2.3.). [2] [18] [19]



Slika 2.3. Razmjena informacija u sustavu [20]

3. AUTOMATIZACIJA

Elektroenergetska mreža suočava se sa novim izazovima zbog ubrzanja urbanizacije i porasta potražnje pouzdane i dostupne opskrbe električnom energijom. Kroz automatizaciju mreže ostvaruje se učinkovitije korištenje infrastrukture kao i minimalni učinak neželjenih ispada napajanja električnom energijom. Povišenjem stupnja automatizacije problemi u mreži se uočavaju prije nego li uzrokuju prekid napajanja potrošača.

Automatizacija se postiže mjerenjima i praćenjima parametara u EES-u. Pri pojavi kvara, programibilni logički kontroleri (PLC) brzo djeluju na prekidače, rastavljače i ostale elemente u mreži te uspostavljaju napajanje stavljanjem u korištenje druge grane mreže ili izvora napajanja. Sustava daljinskog upravljanja omogućuje operatorima nadzor i ručno djelovanje na poremećaje u mreži te se tako smanjuje vrijeme otklanjanja i detekcije kvara na način da potrošači ne osjete poremećaj.

Automatizacija pruža temelj za izgradnju inteligentnih, samo nadzornih i samo regulirajućih mreža. Omogućuje učinkovito prikupljanje podataka, analizu i donošenje odluka, olakšava upravljanje potražnjom, poboljšava pouzdanost i otpornost te podržava integraciju obnovljivih izvora energije. Iskorištavanjem tehnologija automatizacije pametne mreže su osposobljene za komunikaciju cijelog sustava. Ugradnjom inteligentnih uređaja u postojeći sustav stvara se održiva energetska infrastruktura koja otvara put potpune implementacije pametne mreže. [21]

Temeljna svrha metoda koje se danas koriste za automatizaciju srednjenaponske (SN) mreže je brže lociranje i izolacija kvara. Svaki kvar u SN mreži isključuje se prekidačem u vodnom polju 20 (10) kV u transformatorskoj stanici. Koristeći indikatore pokušava se locirati, izolirati i popraviti kvar. Nedostatak dovoljno podataka u SN mreži, odnosno objekata sa visokokvalitetnim komunikacijskim sustavima predstavlja temeljni izazov implementacije pametne mreže u distributivnoj SN mreži. Opremanje svih objekata kvalitetnim komunikacijskim uređajima predstavlja iznimno velik tehnički, ali i financijski izazov.

Analogna radijska veza vrlo visoke frekvencije (VHF) i ultra visoke frekvencije (UHF) pojasu, jedina je omogućavala komunikaciju do većine udaljenih objekata prijenosa i distribucije. Rastom mreže i priključenjem velikog broja objekata dolazi do pada performansi radio veze.

Kako bi se izbjeglo predugo razdoblje cikličkog prozivanja, razvijeni su uređaji i protokoli koji prenose podatke u tzv. „*balanced*“ metodu, tj. „po događaju“, kao i „*store-and-forward*“ funkcija koja je omogućila prijenos podataka putem više radio primo-predajnika. U današnje vrijeme postoje bolji komunikacijski kanali, ponajprije korištenjem optičkih veza za SN objekte, pojava digitalnih radio veza i GPRS (*General Packet Radio Service*, GPRS) komunikacije. Sve te komunikacije koriste mrežni IEC 104 protokol za prijenos podataka, što eliminira potrebu za uravnoteženim načinom rada, omogućuje mnogo bržu komunikaciju i postavlja temelje za postupno uvođenje automatizacije u SN mrežu.

Napredak u bežičnim inovacijama i smanjenje troškova uređaja omogućili su dostojnu alternativu u okviru računalnih bežičnih modema. Glavna značajka takvih modema je maksimalna brzina od 83 kbit/s iako modem može koristiti različite brzine prijenosa podataka. To znači, da ako geološke značajke terena apsolutno zahtijevaju promjenu brzine ili snage prijenosa podataka, uređaj može izmijeniti navedene parametre na kritičnoj trasi, a na da se pri tome na ostalim trasama i dalje koristi maksimalna brzina prijenosa podataka. Ova tehnologija omogućila je korištenje različitih SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*, SCADA) protokola na istom radio kanalu. Ključna značajka digitalnih radio mreža je njihova sposobnost integracije s postojećom analognom mrežom, što rezultira boljom povezanosti. GPRS komunikacija je u konstantnom napretku, sve je prisutnija i kvalitetnija, ali njena mana je javna dostupnost sa gledišta sigurnosti, pouzdanosti i raspoloživosti. Svrha implementacije automatizacije SN mreže je izvlačenje specifičnih zaključaka na temelju informacija dobivenih iz mreže u realnom vremenu, predlaganje rješenja za problem i uvođenje novih značajki i aplikacije koje pomažu u poboljšanju učinkovitosti upravljanja. [22]

3.1. Razine automatizacije

Rješenja kojima se odvija integracije automatizacije u postojeći energetska sustav odnose se na korištenje naprednih tehnologija i sustava za automatizaciju različitih aspekata rada energetske mreže. Ova rješenja imaju za cilj pojednostaviti procese, poboljšati učinkovitost i poboljšati ukupne performanse mreže. U različitim dijelovima mreže, rješenja i redoslijed uvođenja automatizacije imaju različite prioritete, kao nestabilnost opskrbe, vjerojatnost kvarova i potrebe za daljinskim upravljanjem.

Na temelju svojih mogućnosti, automatizaciju mreže može se podijeliti na četiri osnovne razine:

- 1. razina nadziranja mreže, alati za automatizaciju kontinuirano nadziru infrastrukturu mreže. To pomaže u brzom otkrivanju i rješavanju problema, optimiziranju mreže i osiguravanju visokokvalitetne isporuke. Primjer je ugradnja komunikacijskih modula (slika 3.1.) koji nude sigurno i pouzdano bežično povezivanje sa sustavom u svrhu dobivanja informacija. Ovi uređaji mogu navesti operatera na lakše lociranje kvara pomoću prikupljenih podataka kao što su informacije o položaju rastavljača koje se prenose korisniku,



Slika 3.1. Komunikacijski modul ARG600A [23]

- 2. razina ističe se mogućnošću kontroliranja odnosno upravljanja komponentama sustava na terenu. Automatizirani mehanizmi za otkrivanje grešaka mogu brzo identificirati problem unutar mreže, kao što su problem sa povezivanjem ili kvarovi opreme. Ova rješenja mogu pokrenuti alarme, generirati upozorenja i pružiti detaljne dijagnostičke informacije operaterima a njihovo svojstvo upravljanja uređajima na terenu omogućuje izolaciju mjesta kvara. Primjer takvog uređaja može se smatrati bežični upravljač (Slika 3.2.). To je kompaktni uređaj koji se koristi kao rješenje za daljinsko upravljanje. Njihova primjena moguća je tijekom upravljanja mrežnim rastavljačima u svrhu izoliranja mjesta kvara.



Slika 3.2. Bežični upravljač ARC600 [23]

- 3. razina odnosi se na upravljanje protokom energije. Za energetske mreže u kojima je implementirana proizvodnja, skladištenje energije i punjenje električnih vozila. Uređaj omogućuje aktivno praćenje i mjerenje vrijednosti parametara kako bi se omogućilo upravljanje protokom energije. Bez odgovarajućeg upravljanja protokom energije, velika je vjerojatnost pojave situacija preopterećenja ili naknadnih prekida. Kako bi se spriječile takve pojave, vrši se ugradnja mrežnih automatiziranih zaštitno kontrolnih releja (Slika 3.3.). Releji se koriste za nadzor, zaštitu, indikaciju kvarova i analizu kvalitete električne energije. Zaštitni releji povećavaju pouzdanost mreže u rasponu od osnovnih neusmjerenih zaštita preopterećenja do proširene funkcije zaštite na temelju analiza kvalitete električne energije. Primjenjuju se na nove ili postojeće sekundarne uređaje trafostanica, kabela ili nadzemnih vodova.



Slika 3.3. Zaštitno kontrolni relej REC615 [23]

- 4. razina podrazumijeva uz sve već navedene performanse selektivnost zaštite, što je prikladno za strujne prekidače i reklozere (slika 3.4.). Sustavi automatizacije omogućuju daljinsko praćenje i upravljanje prekidačima i reklozerima. Ovo operaterima omogućuje praćenje njihovog statusa, rada i stanja kvarova sa centralizirane lokacije. Olakšava analizu u stvarnom vremenu i brzo donošenje odluka, što dovodi do brže izolacije mjesta kvara i ponovnog uspostavljanja napajanja. Kada dođe do kvara, kao što je kratki spoj ili preopterećenje, automatizirani sustav može brzo detektirati mjesto kvara i automatski pokrenuti operacije otvaranja i ponovnog uključivanja prekidača strujnog kruga ili uređaja za ponovo uključivanje. Mogućnost samoispravljanja minimiziraju trajanje prekida rada i poboljšavaju pouzdanost mreže. Pametni reklozeri mogu razmjenjivati informacije s drugim inteligentnim uređajima, kao što su senzori i središnji kontrolni sustavi, omogućujući koordinirano otkrivanje grešaka, izolaciju i procese obnavljanja. Time se poboljšava ukupna koordinacija zaštite.

Nadalje reklozeri hvataju i pohranjuju podatke o događajima greške, uključujući vrste grešaka, vrijeme trajanja i stanje sustava. Ti se podaci mogu analizirati kako bi se identificirale učestalosti ili uzroci grešaka. Analiza događaja greške pomaže u identificiranju grešaka koje se ponavljaju, optimiziranju planiranja održavanja i implementaciji preventivnih mjera za poboljšanje performansi sustava. Napredni reklozeri ažuriraju se na daljinu što omogućuje poboljšanje značajki bez potrebe za fizičkim održavanjem. Daljinska ažuriranja pomažu da reklozeri budu nadograđeni najnovijim funkcijama i osiguravaju sigurnost i performanse uređaja.



Slika 3.4. Automatski reklozer OVR27 [23]

Korištenjem navedenih razina integracije automatizacije postojećeg ili novog sustava može se poboljšati operativna učinkovitost, smanjiti troškove i isporučiti bolje usluge svojim korisnicima. Ova rješenja omogućuju proaktivno upravljanje mrežom, brže rješavanje kvarova, poboljšanu iskorištenost resursa te optimiziranu potrošnju energije.

3.2. Ugradnja daljinske upravljive SF6 sklopke

Daljinski upravljivi rastavljači, sklopke i prekidači su uređaji koji se koriste za daljinsko upravljanje napajanjem električnom energijom. Ove sklopke omogućuju operaterima da daljinski otvore ili zatvore električni krug, čime isključuju ili uključuju napajanje određenog opterećenja ili djela električne mreže. Funkcionalnost daljinskog upravljanja omogućuje praktično upravljanje iz kontrolne sobe ili centralizirane lokacije bez potrebe za ručnom intervencijom.

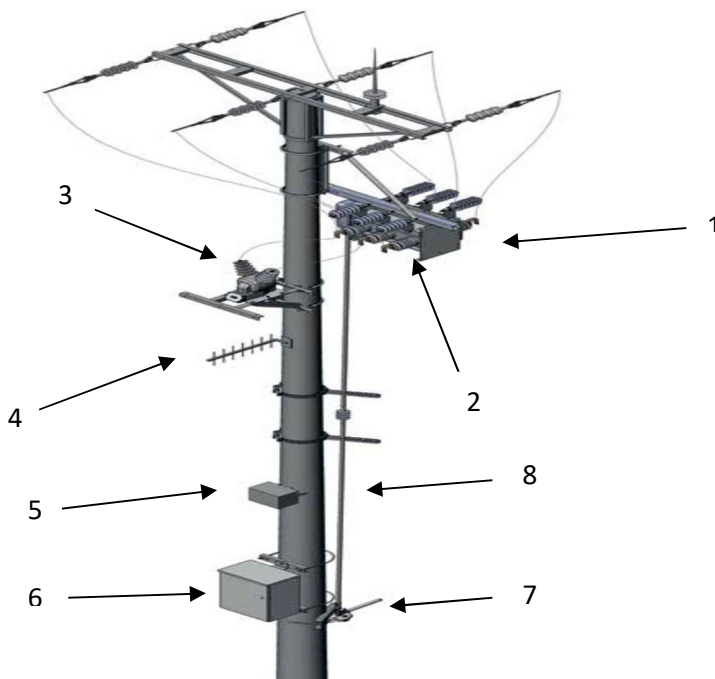
Daljinski upravljive SF₆ (sumporov heksafluorid) sklope obično se montiraju na betonske ili čelično-rešetkaste stupove i osim daljinskog upravljanja, moguće je ručno upravljanje sa zemlje pomoću motke. Značajke i prednosti daljinskih upravljivih sklopki su:

- daljinski rad, glavna prednost ovih sklopki je mogućnost daljinskog upravljanja. Ova značajka poboljšava operativnu učinkovitost, smanjuje troškove održavanja i povećavanja sigurnosti eliminirajući potrebu da osoblje fizički pristupa rasklopnom uređaju iako je ostavljena mogućnost ručnog upravljanja u slučaju potrebe,
- sigurnost, sklopke za isključivanje s daljinskim upravljanjem povećavaju sigurnost tako što je izlaganje osoblja potencijalno opasnim električnim okruženjima svedeno na minimum. Operateri mogu izolirati ili ponovo spojiti strujni krug bez izravnog kontakta, smanjujući rizik ozljeda i strujnog udara,
- nadzor i upravljanje implementirani su na mnoge daljinski upravljive sklopke te se tako pružaju informacije u stvarnom vremenu o status prekidača (otvoreni/zatvoreni) položaj, struju koja teče kroz krug, broj uklapanja, razine napona i druge relevantne podatke. To omogućuje nadzor sustava, dijagnostiku i preventivno održavanje,
- integracija sa sustavima automatizacije omogućuje integraciju i automatizaciju upravljačkih sustava, omogućujući besprijekornu integraciju s drugim uređajima i funkcijama unutar mreže za distribuciju električne energije. Mogu biti dio većeg sustava koji uključuje SCADA sustave, pružajući centralizirani nadzor i kontrolu više sklopki,
- fleksibilnost i svestranost znači da su prekidači dostupni u različitim izvedbama i konfiguracijama kako bi odgovarali različitim primjenama. Mogu varirati od malih sklopki za pojedinačna opterećenja do većih sklopki za visokonaponske dalekovode. Mogu biti dizajnirani za vanjsku ili unutarnju ugradnju, a neki modeli nude značajke kao što su otkrivanje grešaka, smanjenje opterećenja i balansiranje opterećenja.

Za primjer ugradnje sklopke biti će prikazana sklopka izolirana SF₆ plinom, Sectos NXB (slika 3.5.). Sectos SF₆ prekidači su vrsta upravljivih sklopki namijenjeni za vanjsku primjenu na nadzemnim vodovima. Dizajnirane su za korištenje u modernom daljinskom upravljačkom distribucijskom automatiziranom sustavu. Ovaj tip sklopke namijenjen je za rad u teškim uvjetima poput visoke razine kontaminacije soli, korozivnim industrijskim zagađenjem, snijegom i ledom. Dizajn prekidača je jednostavan što omogućuje jednostavnu instalaciju, pristupačnost i održavanje. Koristi plin SF₆ kao medij za izolaciju i gašenje električnog luka. Plin SF₆ nudi izvrsna električna izolacijska svojstva i visoku dielektričnu

čvrstoću, što omogućuje kompaktan dizajn uređaja i učinkovit rad. Tijekom prekidanja i izoliranja strujnog kruga pod uvjetima opterećenjima, sigurno prekida protok struje bez izazivanja velikog električnog luka ili oštećenja rasklopnog uređaja.

Sectos SF6 prekidačem se može upravljati ručno pomoću motke na terenu ili daljinski pomoću kontrolnog signala iz središnje kontrolne sobe ili SCADA sustava. Ova funkcija daljinskog upravljanja eliminira potrebu za ručnim upravljanjem na mjestu prekidača, povećavajući sigurnost i radnu učinkovitost. Sectos sklopke imaju mogućnost nadogradnje, pa sklopka može sadržavati značajke kao što su detekcija grešaka i zaštitne mehanizme za otkrivanje neuobičajenih stanja u električnom sustavu. Ovi mehanizmi mogu automatski aktivirati prekidač kako bi izolirali dio sa kvarom i spriječili daljnje oštećenje mreže.



Slika 3.5. Glavni dijelovi sustava SF6 Sklopke tipa NXD [23]

Slika 3.5. prikazuje rastavnu sklopku (1), sa pripadajućim komponentama. Ručno upravljanje položajem sklopke omogućeno je ručnim pogonom ili mehanizmom za upravljanje (7) koji je pomoću spojne šipke za ručni pogon (8) spojen s rastavnom sklopkom.

Primarna uloga rastavne sklopke je prekidanje opterećenja na mjestu njene instalacije, ali isto tako može se koristiti za praćenje određenih parametara kao što su alarmi opterećenja, nadstrujni i zemljospojni alarmi. U tu se svrhu na provodne izolatore ugrađuju strujni transformatori (2). Naponski transformator (3) služi za napajanje pomoćnih sklopova u komunikacijskom ormaru. Komunikacijski ormar (6) sa pripadajućim sklopovima služi za integraciju motornog pogona sa Sectos rastavnom sklopkom. Njegov osnovni izvor napajanja je naponski transformator priključen na punjač baterija unutar ormara. Punjač i naponski transformator povezani su kabelom na kojem se ugrađuju osigurači (5) kao preventivna zaštita od kratkog spoja i bilo kakvih drugih naponskih i strujnih anomalija. Osim motornog pogona, punjača i baterija unutar ormara se nalaze komunikacijski moduli. Na stupu, u svrhu komunikacije, montira se antena radi primanja i odašiljanja komunikacijskih signala. [23] [22]

4. TEHNOLOGIJE, PREDNOSTI I NEDOSTACI PAMETNE MREŽE

Uz navedenu automatizaciju kao preduvjet za implementiranje pametne mreže, značajke takvog energetskeg sustava nije moguće ostvariti bez primjene nekoliko temeljnih tehnoloških rješenja. Stoga se pri planiranju, izgradnji ili implementaciji pametne mreže uzimaju u obzir sljedeća tehnološka rješenja kao sastavi dio sustava:

- Napredna mjerna infrastruktura (*Advanced Metering Infrastructure, AMI*) - odnosi se na modernizirani sustav mjerača komunalnih usluga koju omogućuju dvosmjernu komunikaciju između pružatelja usluga i kupaca. Kombinira digitalna pametna brojila s komunikacijskim mrežama i sustavima za upravljanje podacima radi poboljšanja nadzora i upravljanja komunalnim uslugama, kao što su struja, plin i voda, [23] [24]
- Model klijent - poslužitelj (*Customer Side System, CS*) - odnose se na različite komponente i tehnologije koje korisnicima omogućuje interakciju i upravljanje svojim komunalnim uslugama u postavkama napredne infrastrukture mjerenja (AMI). Ovi sustavi su dizajnirani da korisnicima omogućuje pristup podacima u stvarnom vremenu, kontrolu nad njihovom potrošnjom energije i mogućnost donošenja informiranih odluka o potrošnji komunalnih usluga. Ovi sustavi igraju ključnu ulogu u osnaživanju kupaca da aktivno sudjeluju u upravljanju energijom, donose odluke i doprinose održivoj i učinkovitoj energetskeg budućnosti, [25]
- Reakcija na potražnju (*Demand Response, DR*) - značajka pametnih mrežnih sustava koja upraviteljima EES-a omogućuje učinkovitije upravljanje i ravnotežu ponude i potražnje električne energije. To uključuje prilagodbu potrošnje električne energije kao odgovor na signale operatera mreže i komunalnog poduzeća. DR programi potiču korisnike da modificiraju svoju potrošnju električne energije tijekom razdoblja najveće potražnje ili u hitnim situacijama kako bi se održala stabilnost mreže i tako izbjegao potencijalan prekid napajanja. Općenito, program DR u sustavima pametnih mreža donose prednosti upraviteljima, komunalnim poduzećima i korisnicima. Komunalna poduzeća mogu optimizirati rad mreže, povećavati pouzdanost mreže i smanjiti potrebu za skupim nadogradnjama infrastrukture. Korisnici mogu štedjeti na troškovima energije, doprinijeti stabilnosti mreže i svojim sudjelovanjem pridonositi učinkovitosti energetskeg sustava, [26]
- Sustav upravljanja distribucijom (*Distribution Management System/Distribution Automation, DMS*) - komponenta pametne mreže koja komunalnim poduzećima

omogućuje praćenje, kontrolu i optimizaciju distribucije električne energije u stvarnom vremenu. DMS koristi napredne tehnologije i komunikacijske sustave kako bi poboljšao učinkovitost , pouzdanost i fleksibilnost distribucijske mreže. Omogućuje automatizaciju i daljinsko upravljanje različitim uređajima i opremom pametne mreže. Iskorištavanjem mogućnosti DMS sustava komunalna poduzeća mogu poboljšati pouzdanost mreže, smanjiti operativne troškove, poboljšati zadovoljstvo korisnika i podržati integraciju obnovljivih izvora energije u okruženje pametne mreže, [27] [28]

- Aplikacije za poboljšanje prijenosa (*Transmission Enhancement Applications, TA*) - odnose se na različite tehnologije i strategije koje se koriste u pametnim mrežama za poboljšanje performansi, učinkovitosti i pouzdanosti prijenosnog sustava. Te su aplikacije usredotočene na optimiziranje rada i korištenje prijenosne infrastrukture kako bi se zadovoljile sve veće potrebe za energijom, integrirale obnovljive izvore energije i poboljšala otpornost mreže. Tehnologije za poboljšanje prijenosa igraju ključnu ulogu u optimizaciji performansi i pouzdanosti prijenosnog sustava u pametnim mrežama. Omogućuju komunalnim poduzećima da bolje upravljaju protokom energije, integriraju obnovljive izvore energije, poboljšavaju stabilnost mreže i podrže prijelaz na održiviji i učinkovitiji energetska sustav.[29]
- Optimizacija imovine/sustava (*Asset/System Optimization, AO*) - u kontekstu pametnih mreža odnosi se na primjenu naprednih tehnologija, algoritama i analitike za optimizaciju performansi, učinkovitosti i pouzdanosti imovine i sustava unutar mrežne infrastrukture. AO ima za cilj maksimalizirati iskorištenost sredstava, minimizirati troškove i poboljšati pouzdanost sustava te poboljšati ukupne performanse mreže. Iskorištavanjem naprednih tehnologija, analitika i automatizacije, komunalna poduzeća mogu optimizirati performanse imovine, poboljšati rad mreže, poboljšati upravljanje energijom i donositi informirane odluke u vezi s planiranjem i proširenjem sustava. AO pomaže komunalnim poduzećima u tranziciji prema boljem energetska sustavu, pružajući pouzdane i isplative usluge električne energije potrošačima, [30]
- Distributivni izvori energije (*Distributed Energy Resources, DER*) - odnose se na raznolik skup jedinica za proizvodnju, skladištenje i potrošnju električne energije koje su povezane na distribucijsku mrežu na različitim lokacijama, obično bliže točki potrošnje. DER tehnologije su decentralizirane i mogu se nalaziti u prostorijama korisnika, poput domova, tvrtki ili društvenih objekata. Oni pružaju lokaliziran i fleksibilan pristup proizvodnji i potrošnji energije. Integracije DER tehnologija u mrežu

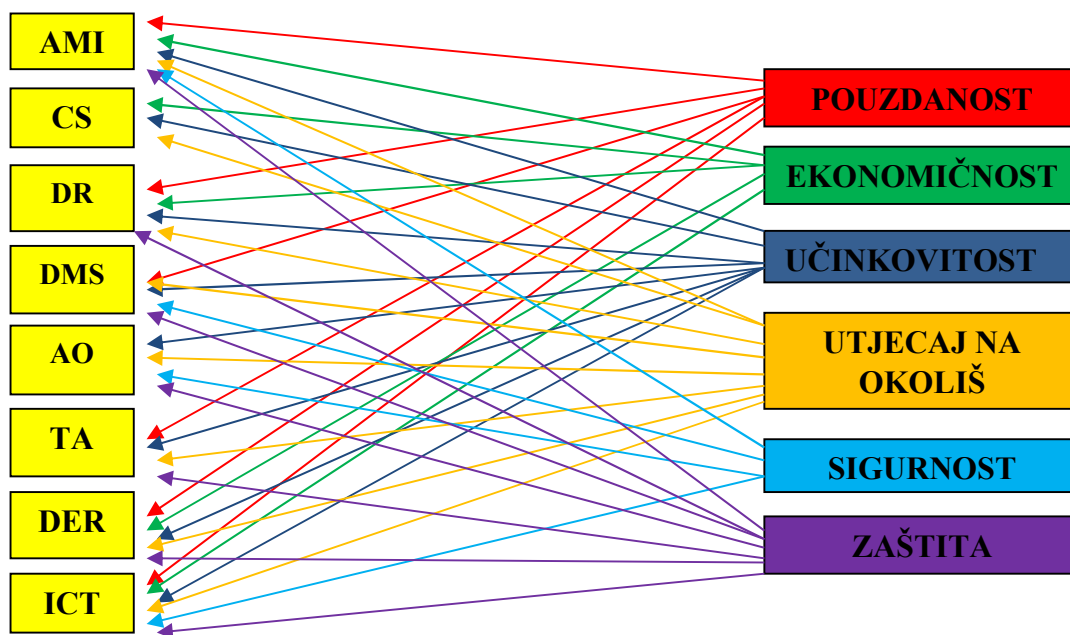
donosi broje prednosti uključujući povećanu energetska učinkovitost, smanjenje emisije ugljika, povećanu otpornost mreže i poboljšanje pristupačnosti energije. Omogućuje decentralizirani i održivi energetski sustav omogućujući korisnicima da generiraju i troše vlastitu energiju te aktivno sudjeluju u radu mreže, [31]

- Integracija informacija i komunikacija (*Information and Communications Integration, ICT*) - omogućava učinkovito funkcioniranje pametnih mreža. ICT se odnosi na integraciju informacijske tehnologije i komunikacijskih sustava kako bi se olakšala razmjena podataka u stvarnom vremenu te poboljšala kontrola i koordinacija među različitim komponentama mrežne infrastrukture. Integracija informacija i komunikacija ključna je za pouzdan i učinkovit rad pametnih mreža. Omogućuje razmjenu podataka u stvarnom vremenu, daljinski nadzor i kontrolu, upravljanje mrežom, brzi odgovor na potražnju električne energije, kibernetičku sigurnost i integraciju distribuiranih energetskih izvora. Iskorištavanjem ICT-a komunalna poduzeća mogu povećati pouzdanost mreže, poboljšati energetska učinkovitost, podržati integraciju obnovljivih izvora energije i pružiti bolje usluge potrošačima. [32] [33]

Pouzdanom električnom mrežom smatra se ona mreža koja je sposobna isporučiti kvalitetnu električnu energiju potrošačima kada to žele i trebaju. Isto tako pametna mreža korištenjem raznih navedenih skupina tehnologija u cijeloj strukturi sustava čini bitnu razliku od postojećeg energetskog sustava. Prednosti i nedostaci pametne mreže

Razlog za izgradnjom ili implementacijom pametne mreže opravdava se sa šest ključnih područja koja donose bitne prednosti u odnosu na postojeći sustav (slika 4.1.), a to su: pouzdanost, učinkovitost, ekonomičnost, utjecaj na okoliš, sigurnost i zaštita. Osim navedenih vrijednosti, temeljem dosad spomenutih svojstava jednog pametnog energetskog sustava primjećuju se i ostale prednosti kao što su:

- smanjenje električnih gubitaka,
- smanjenje cijene električne energije, očitavanja brojila i troškova održavanja,
- smanjena učestalost kvarova na opremi zbog automatskog načina rada na temelju stalnog praćenja potrošnje što smanjuje naprezanja opreme kod vršnih opterećenja,
- smanjenje emisije štetnih plinova,
- smanjenje učestalosti ispada mreže,
- mogućnost povećanja priključenja novih potrošača bez izgradnje nove energetske infrastrukture.



Slika 4.1. Odnosi tehnoloških rješenja i ključnih prednosti [34]

Na slici 4.1. prikazani su odnosi između već definiranih tehnoloških rješenja i ključnih prednosti. Slika predstavlja ilustrirani prikaz sinergije rješenja pametne mreže, učinak koji se mora uzeti u obzir kada se planira opseg pametne mreže kako si se osigurala optimizacija navedenih prednosti.

Iako pametna mreža donosi brojne prednosti i potencijalne koristi, ona također ima nedostatke i izazove. Neki od glavnih nedostataka povezanih s pametnim mrežama je potreba stalne prisutnosti komunikacijske mreže i zagušenje mreže u slučaju nepredvidivih situacija. Pružatelji mrežnih usluga ne garantiraju uslugu u slučaju nepredviđenih situacija poput vremenskih nepogoda ili prirodnih katastrofa. Kao nedostatke mogu se uzeti činjenice koje su karakteristične za pametnu mrežu kao što su trošak, složenost, rizici kibernetičke sigurnosti, rizici u vezi s privatnošću, kompatibilnost, interoperabilnost, ranjivost električne mreže, otpor promjenama.

Važno je napomenuti da se mnogi od ovih nedostataka mogu riješiti pomnim planiranjem, snažnim mjerama kibernetičke sigurnosti, politikama zaštite privatnosti i učinkovitim angažmanom sudionika sustava. Unatoč izazovima, potencijalne prednosti pametne mreže, poput poboljšanog upravljanja mrežom, poboljšane energetske učinkovitosti i integracije obnovljivih izvora energije, čine je vrijednim ulaganjem. [34]

5. TRAFOSTANICA DUBOKA 10(20)/ 0,4 kV

Trafostanica je ključna komponenta elektroenergetskog sustava koja aktivno sudjeluje u transformaciji i distribuciji električne energije. Oznaka „10(20)/0,4 kV” odnosi se na naponske razine i konfiguraciju trafostanice.

Naponska razina 10(20) kV označava razinu napona na ulazu (dovodu) u trafostanicu. Oznaka „10(20)“ sugerira da trafostanica može podnijeti dvije različite dolazne razine napona, 10 kV ili 20 kV. Specifična ulazna razina napona ovisi o dizajnu elektroenergetskog sustava i zahtjevima električne mreže koju opslužuje. Izlazna razina 0,4 kV označava napon podstanice gdje se smanjuje s dolazne razine (10 kV ili 20 kV) na 0,4 kV za distribuciju električne energije krajnjim potrošačima što je standardna niskonaponska razina za stambene i komercijalne primjene.

Primarna svrha trafostanice je transformirati naponske razine kako bi se olakšao učinkovit prijenos i distribucije električne energije. Kada se električna energija prenosi iz elektrana prijenosnom mrežom, to se čini na vrlo visokim naponima kako bi se smanjili gubici koji nastaju u prijenosu. Međutim, ovaj visoki napon nije prikladan za izravnu uporabu potrošača. Stoga trafostanice snižavaju napon na upotrebljivu razinu prije nego što ga isporuče u domovima, tvrtkama i industrijskim potrošačima.

Osnovni dijelovi svake trafostanice su transformator, prekidači strujnog kruga, rasklopna oprema, itd.

Trafostanice možemo podijeliti i na temelju njihovih funkcija ili lokacija unutar elektroenergetskog sustava, kao što su:

- trafostanice za pojačanje koje se nalaze u blizini elektrana i povećavaju napon za prijenos na velike udaljenosti,
- trafostanice za snižavanje napona koje se nalaze bliže potrošačima i snižavaju napon za potrebe distribucije,
- distribucijske podstanice koje izravno distribuiraju električnu energiju potrošačima u stambenim, komercijalnim ili industrijskim područjima.

Trafostanice su ključne u održavanju pouzdanosti i stabilnosti električne mreže. Omogućuju učinkovit prijenos električne energije na velike udaljenosti i osiguravaju isporuku električne energije na odgovarajućim naponskim razinama. Dizajn i konfiguracija trafostanica se razlikuje ovisno o regiji, zahtjevima elektroenergetskog sustava i veličini električne mreže koju opslužuju.

5.1. Lokacija i opis TS Duboka (10(20)kV/ 0,4 kV)

Projektirana građevina je kompaktna armirano betonska transformatorska stanica namijenjena za napajanje naselja, industrijskih postrojenja, gradilišta, sportskih objekata i sl. U objektu se nalazi jedna prostorija, podijeljena blokovima niskonaponskog i srednjenaponskog razvoda. Oba dijela imaju zasebna vrata za potrebe pristupa i održavanja (slika 5.1.). Objekt je predviđen za ugradnju na mjestu lokacije kao kompaktna cjelina sa svom elektroopremom osim transformatora (s međuvezama) koji se ugrađuje naknadno. Objekt je sastavljen iz dva osnovna dijela: montažno armirano betonsko kućište i armirano betonski temelj u obliku kompaktne kade, tlocrtnih mjera 416x212cm.

Dio temeljne kade pregrađen armiranim betonskim zidom visine 30 cm predviđen je za prihvatanje eventualno isteklog ulja volumena 0,89 m³ sa atestirano nepropusnim stijenkama. U obodnim zidovima standardno su ugrađene uvodnice kabela prilikom izrade temelja.

Za potrebe mjerenja na kabelima predviđen je otvor 15x15 cm smješten kraj vrata razvoda SN i NN. U podnoj ploči i zidovima izvode se projektirani otvori i profilacije. Sva armatura unutar elemenata je međusobno spojena varenjem dok se na armaturu vare svi sidreni čelični elementi i čelična bravarija koja se ugrađuje kod betoniranja. Za vezu objekta na vanjsko uzemljenje i međusobnu vezu kućišta i temelja, na predviđenim mjestima ugrađena je Fe/Zn traka spojena na armaturu. Vrata i ventilacijska žaluzina su od eloksanog aluminija ili čelika. Transformatorska stanica dimenzijama je prilagođena kao kompaktna cjelina, ali se u slučaju potrebe za sastavljanje i montažu može rastaviti na elemente.

Trafostanica 10(20)/0,4 kV Duboka priključena je na mrežu podzemnim srednjenaponskim kabelskim vodovima tipa NA2XS(F)2Y 3x(1x185/25)mm². Lokacija trafostanice je na zapadnoj strani čvora "Duboka" u isplaniranoj površini uz kolnik prometnih površina u visini stacionaže 0+250 km. Prema izvedbi, predmetna trafostanica je tvornički dogotovljena građevina predviđena za transformator snage do 1000 kVA. Ukupna masa, bez transformatora i temelja (s ugrađenom NN i SN opremom) iznosi cca 9 tona. Trafostanica je jednim podzemnim srednjenaponskim kabelom vezana za Trafostanicu Komarna 10(20)/0,4 kV, a drugim podzemnim srednjenaponskim kabelom za Trafostanicu Pelješki Most - Sjever 10(20)/0,4 kV.

Temeljni zahtjevi za građevinu su :

- mehanička otpornost i stabilnost - ostvaruje se odabirom odgovarajućih proizvoda, opreme, materijala i pribora predmetne instalacije osnovnom mjesta ugradnje/primjene,
- sigurnost u slučaju požara - ostvaruje se odabirom odgovarajućih proizvoda opreme, materijala i pribora predmetne instalacije koji nisu gorivi, ne prenose, odnosno ne podržavaju gorenje; u slučaju kvara nekog od elemenata instalacije, predviđene su odgovarajuće zaštitne mjere koje efikasno sprečavaju nastajanje plamena i topline koja bi mogla biti uzrokom nastajanja i širenja vatre,
- higijena, zdravlje i okoliš - osigurana je načinom izvođenja,
- sigurnost i pristupačnost tijekom uporabe - osigurana je samom namjenom građevine,
- zaštita od buke - ostvaruje se primjenom odgovarajućih proizvoda, opreme, materijala i pribora predmetne instalacije, koji zadovoljavaju propisanu razinu buke,
- gospodarenje energijom i očuvanje topline - ostvaruje se optimiziranjem predmetne instalacije u tehničko-gospodarskom smislu; optimizacija je izvedena primjenom odgovarajućih proizvoda, opreme, materijala, pribora predmetne instalacije što je potvrđeno proračunima provedenom unutar elektrotehničkog projekta trafostanice,
- održiva uporaba prirodnih izvora - instalacija trafostanice, prema namjeni i vrsti, nije temeljena na primjeni prirodnih izvora; isporuka električne energije je ugovorna obveza dobavljača. [35] [36]



Slika 5.1. Montaža TS Duboka 10(20)/0,4 kV [37]

5.2. Oprema trafostanica (10(20) kV/0,4 kV)

Trafostanica 10(20)/0,4 kV je vrsta električne trafostanice koja služi za transformaciju naponskih razina za distribuciju električne energije. Oprema koja se obično može pronaći u takvoj trafostanici je:

- dolazni i odlazni vodovi - vodovi koji dovode električnu energiju u trafostanicu iz prijenosne mreže višeg napona. 10(20) kV znači da trafostanica može primati snagu na 10 kV ili 20 kV, ovisno o konfiguraciji mreže. Odlazni vodovi služe u svrhu povezivanja dviju trafostanica ili napajanje potrošača nakon transformacije,
- prekidači - zaštitni uređaji koji mogu prekinuti protok električne struje u slučaju kvara ili opterećenja. Služe za odspajanje od napona i opterećenja dijela mreže kako bi se spriječila šteta u slučaju kvara ili kako bi se osigurali uvjeti za održavanje postrojenja,
- mjerni transformatori - su transformatori koji se koriste za mjerenje i nadzor napona i struje. Strujni transformatori služe za mjerenje struje a naponski transformatori za mjerenje napona. Oni smanjuju struje i napone na upravljive razine za mjernu i zaštitnu opremu,
- transformatori – imaju ulogu transformacije naponskih razina. Silazni transformator u TS Duboka služi za snižavanje napona s ulaznog 10(20) kV na donji razvodni napon od 0,4 kV. čime se osigurava distribuciju energije do krajnjih korisnika na upotrebljivoj razini,
- rasklopni uređaj - odnosi se na kombinaciju prekidača i drugih sklopnih uređaja koji služe za kontrolu protoka električne energije u trafostanici. Operaterima omogućuje preusmjeravanje protoka energije i izolaciju određenih dijelova za potrebe održavanja ili u slučaju kvara,
- sabirnice - vodljive šipke koje se koriste za međusobno povezivanje različite opreme u trafostanici. Djeluju kao središnja distribucijska točka za električnu energiju, omogućuju učinkovit prijenos električne energije između različitih komponenti,
- zaštita i upravljačka oprema - uključuje zaštitne releje, upravljačke ploče i nadzorne sustave. Zaštitni releji ključni su za otkrivanje anomalija i iniciranje odgovarajućih odgovora, kao što je okidanje prekidača. Upravljačka oprema pomaže operaterima u upravljanju trafostanicom i osigurava nesmetan rad,

- sustavi baterija i punjača - služe za održavanje osnovnih kontrolnih i zaštitnih funkcija tijekom nestanka struje ili u hitnim slučajevima, trafostanice često imaju baterije s punjačima. Ove baterije osiguravaju rezervno napajanje kritičnih sustava,
- sustav uzemljenja - pomaže u sigurnom preusmjeravanju struje kvara u zemlju, štiteći opremu i osoblje od opasnih uvjeta,
- pomoćno napajanje - podstanice zahtijevaju zasebno napajanje za svoje upravljačke i komunikacijske sustave. To se osigurava namjenskim pomoćnim transformatorom ili drugim rezervnim izvorima napajanja,
- zaštitne ograde - trafostanice su objekti pregrađeni zaštitnim strukturama kako bi se ograničio neovlašteni pristup ili zaštitila oprema od čimbenika okoline.

Oprema i konfiguracije mogu varirati ovisno o veličini trafostanice, kapacitetu i specifičnim zahtjevima mreže za distribuciju električne energije na koju napaja.

5.3. SN blok TS „Duboka“ (10(20)kV/0,4 kV)

U trafostanicama srednjenaponski rasklopni blokovi su odgovorni za kontrolu protoka električne energije na srednjenaponskim razinama, obično u rasponu od 1kV do 36 KV, ovisno o dizajnu elektroenergetskog sustava. Distribucijski sklopni blok (aparatura) FBX-C/24-16 CCT2 (dim. 1000x1380x752 mm) je kompaktni, metalom oklopljeni blok izoliran plinom SF6. Proizvodi se za napone do 24 kV. Služi za distribuciju električne energije u transformatorskim stanicama. Svi sklopovi i elementi glavnog strujnog kruga smješteni su u zajedničkom plin nepropusnom kućištu od ne hrđajućeg čelika, a međusobno i prema kućištu izolirani su plinom SF6. Srednjenaponski blokovi imaju tropoložajne rastavne sklopke s vakuumskim komorama u vodnim poljima, te vakuumski prekidač upravljani kratkospojnim, nadstrujnim i zemljospojnim relejem SEG WIC1-2-P-E za zaštitu transformatora. Gašenje električnog luka vrši se u vakuumskim komorama, dok plin SF6 služi samo za izolaciju, što praktički isključuje potrebu eksploatacijskog održavanja primarnog dijela električnih sklopova na aparaturi i osigurava njezinu potpunu ekološku podobnost. Jednopolna shema ucrtana je na prednjem poklopcu svake aparature. Na prednju ploču pričvršćen je pogonski mehanizam, koji služi za pokretanje rastavnih sklopki i prekidača pomoću energije sklopne opruge (napinje se ručno).

Isklop zemljospojnika u trafo polju izvodi se ručno, pomoću ručice koja služi i za ručno napinjanje sklopne opruge, čime se pohranjuje energija za sljedeći uklop.

Pogrešna manipulacija nije moguća, jer postoje efikasne međublokade koje to onemogućuju. Zaštita transformatora od preopterećenja i struje kratkog spoja izvedena je pomoću releja SEG WIC1- 2-P-E, samonapajajućeg, ugrađenog u trafo polje koji se spaja na sekundarne stezaljke strujnih mjernih transformatora ugrađenih također u transformatorsko polje. Kod prorade zaštite, izvršni kontakt releja djeluje preko aktuatora (dodatni okidač) na isklopni mehanizam vakuumnog srednjenaponskog prekidača. Predmetna aparatura ima mogućnost ručnog i daljinskog upravljanja pojedinim aparatom što omogućuje potpunu automatizaciju transformatorskih stanica u kojima se koristi, a može udovoljiti i različitim specificiranim zahtjevima koji se pojavljuju u suvremenim razdjelnim mrežama. Distribucijske aparature namijenjene su ugradnji u zatvorene prostore, pri normalnim pogonskim uvjetima, u skladu s HRN EN IEC 62271-200. Osnovna izvedba sklopne aparature ima priključke primarnih krugova izvedene pomoću srednjenaponskih konektora, koji su svojim naličnim dijelom vezani za kabele s jedne strane i nataknuti na provodne izolatore na kućištu aparature s druge strane. [34] [38] [39]

5.3.1. Srednjenaponski konektori (adapteri)

U srednjenaponskom sklopnom bloku unutar trafostanice mogu se koristiti različite vrste srednjenaponskih adaptera za kabele kako bi se osigurale pravilne i sigurne veze između različitih komponenti i opreme. Ovi adapteri omogućavaju kompatibilnost između kabela s različitim dizajnom, veličinama ili načinima završetaka.

Pod pojmom srednjenaponski adaptera smatraju se razni tipovi različitih primjena kao što su:

- kablanski završeci koji se koriste za spajanje srednjenaponskih kabela na opremu,
- kablanske spojnice koje se koriste za spajanje dva srednjenaponska kabela zajedno prilikom proširenja ili popravaka kablanske mreže unutar trafostanice,
- koljenasti konektori koji su dizajnirani za spajanje srednjenaponskih kabela na čahure transformatora,
- prijelazni adapter koriste se za spajanje kabela s različitim materijalima i veličinama vodiča.

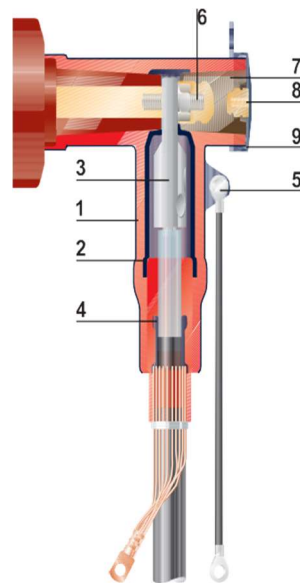
Neophodno je koristiti odgovarajuće adaptere srednjeg napona kako bi se osigurala sigurnost i pouzdanost električnih veza unutar sklopnog bloka srednjeg napona u trafostanicama.

Osoblje koje instalira i održava adaptere mora biti stručno i obučeno kako bi slijedili industrijske standarde i smjernice. Na slici 5.2. prikazani su dijelovi instalirani adaptera unutar TS Duboka, tipa RSTI koji pružaju brtvljenje, električno izoliranje i spajanje završetaka SN kabela i plinom izoliranih postrojenja.

Sustav ekraniziranih rastavnih T-priključaka serije RSTI dizajniran je za priključivanje jednožilnih i trožilnih (potreban dodatan komplet) kabela na metalno oklopljena i plinom izolirana postrojenja. Izrađeni su od visoko modificirane silikonske gume i izvana zaštićeni vodljivim zaslonom spojenim na uzemljenje [40].

Ovi T adapteri sastoje se od:

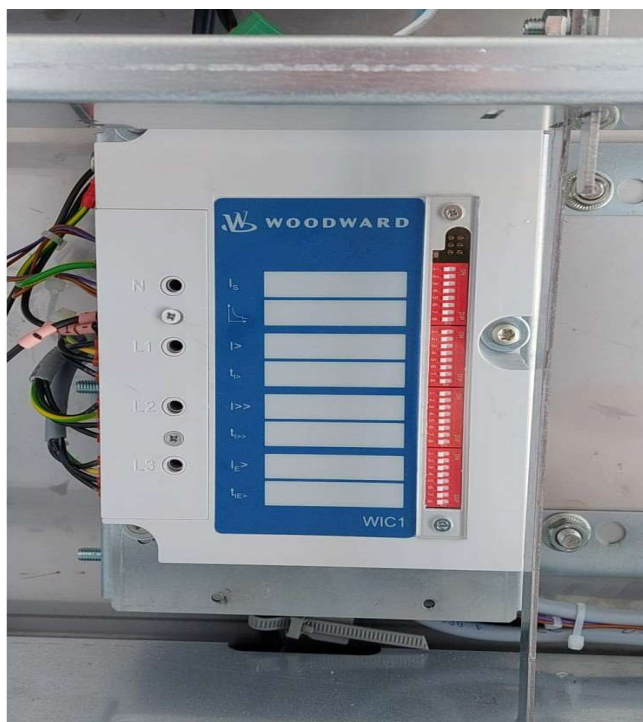
- ekraniziranog tijela,
- unutarnjeg vodljivog zaslona,
- vijčane stopice,
- konusa za oblikovanje električnog polja,
- ušice i vodiča za uzemljenje,
- kontaktnog vijka- priključni komad,
- kapacitivne ispitne točke,
- završne vodljive kape.



Slika 5.2. RSTI – srednjenaponski adapter [40]

5.3.2. Relej SEG WIC1-2-P-E

WIC1 relej (slika 5.3.) je zaštitni relej koji se koristi za zaštitu transformatora od preopterećenja i zemljospoja. Dizajniran je za praćenje električnih parametara transformatora i brzo reagiranje na poremećaje kako bi se spriječilo oštećenje i osigurao siguran rad. Relej radi u karakterističnoj krivulji vrijeme-struja. Kada dođe do prekomjerne struje ili zemljospoja, relej mjeri struju i uspoređuje je s postavljenim pragovima. Uređaj ima višestruke postavke za različite razine struje kvara i vremenske odgode. Relej osigurava prekostrujnu zaštitu transformatora nadzirući struju koja teče kroz namote transformatora. Ako struja prijeđe unaprijed definirani prag, što ukazuje na prekostrujno stanje, tada će relej isključiti prekidač spojen na transformator. Ovo štiti transformator od oštećenja zbog prekomjerne struje koja može biti uzrokovana raznim stanjima, od oštećenja zbog prekomjerne struje uzrokovano raznim greškama ili abnormalnostima u sustavu. Relej također osigurava zaštitu transformatora od zemljospoja. Do zemljospoja dolazi kada struja teče iz jednog od namota transformatora u zemlju (masu) zbog proboja izolacije ili drugih uvjeta kvara. Relej detektira trenutnu neravnotežu između faza i uzemljenja i brzo radi kako bi izolirao transformator od sustava u kvaru, sprječavajući daljnje oštećenje.



Slika 5.3. WIC1 – relej ugrađen u TS Duboka [37]

Postavke i konfiguracije releja su presudne za osiguranje pravilne zaštite i koordinacije s drugim zaštitnim uređajima u elektroenergetskom sustavu. Postavke se parametriziraju na temelju karakteristika transformatora i ukupnih zahtjeva sustava kako bi se postigla učinkovita zaštita.

5.4. Strujni mjerni transformator TS Duboka

Strujni transformatori su uređaji za mjerenje struje u namotima transformatora. Strujni transformatori rade na principu elektromagnetske indukcije a sastoje se od primarnog i sekundarnog namota. Primarni namot spojen je u seriji s električnim vodičem kroz koji se mjeri iznos struje. Sekundarni namot spojen je na mjerne ili zaštitne uređaje. Kada struja teče kroz primarni namot, inducira proporcionalnu struju u sekundarnom namotu. Omjer zavoja između primarnog i sekundarnog namota određuje omjer transformacije strujnog transformatora. U većini primjena, sekundarni namot ima puno veći broj zavoja od primarnog, što rezultira smanjenom strujom na sekundarnoj strani. Strujni transformatori spajaju se u seriju s opterećenjem ili električnim krugom koji se nadzire. Strujnim transformatorima unutar TS Duboka (Slika 5.4.), sekundarna strana spojena je na zaštitni relej za otkrivanje struja kvara i pokretanje zaštitnih radnji, kao što je okidanje prekidača strujnog kruga, kada se otkriju nenormalne struje ili struje kvara. U sredjenaponskom bloku elektrodistribucijske mreže, strujni transformatori imaju nekoliko bitnih uloga:

- mjerenje struje - precizno mjere struju koja teče kroz sredjenaponske krugove, dajući podatke za praćenje i analizu opterećenja,
- zaštita – služe za otkrivanje kvarova i zaštitu od istih. Izlazi mjernih transformatora su spojeni na ulaze zaštitnih releja koji su dizajnirani za otkrivanje prekomjerne struje, kratkih spojeva i drugih nenormalnih strujnih stanja. Kada se detektira kvar, zaštitni relej šalje signal okidanja prekidačima za izolaciju neispravnog djela mreže,
- nadzor i kontrola - u modernim elektroenergetskim sustavima, strujni transformatori su često integrirani u sustave nadzora, kontrole i prikupljanja podataka u SCADA sustavu, omogućujući daljinski nadzor, upravljanje i kontrolu električne mreže.



Slika 5.4. Natpisne pločice strujnih transformatora unutar SN bloka TS Duboka [37]

5.5. NN blok u TS Duboka

U trafostanici, niskonaponski (NN) blok (Slika 5.5.) služi za transformaciju dolazne visokonaponske razine iz dalekovoda u niži napon pogodan za distribuciju potrošačima. Sklopni blok je nazivne struje $I_n=1250$ A, nazivnog napona izolacije glavnih sabirnica do 100 V, $f=50$ Hz, stupnja zaštite IP55 prema IEC 60529 te sukladan standardnu En 60439-1. Izrađen je od galvaniziranog čelika, zaštićen sa polimer epoxy zaštitom u boji, dimenzija 1200x2000x400 mm (Š x V x D). Uvod kabela predviđen je sa gornje strane. Ormar je opremljen vertikalnim sabirnicama i horizontalnim bakrenim sabirnicama.

Dovodno polje smješteno je u gornjem djelu ormara, opremljeno rastavnom sklopkom nazivne struje 1250 A. Primarna uloga rastavne sklopke u niskonaponskom bloku trafostanice je osigurati sredstvo za fizičko odvajanje dijelova električne mreže kada je to potrebno. Unutar NN bloka smješteni su i strujni transformatori koji su povezani sa mjernim terminalom PM 5310. Mjerni terminal služi za mjerenje struje, napona, snage, energije, frekvencije i $\cos \varphi$. U donjem djelu stalka smješteno je devet odvodnih polja sa trolnim oprugama, osigurač-sklopka nazivne struje 400 A te, 2 odvodna polja s trolnim oprugama, osigurač-sklopka nazivne struje 160 A s V- stezaljkama za direktan priključak kabela te osiguračima velike prekidne moći. Sabirnički sustav izvedene je golim plosnatim bakrenim vodičima $3 \times (50 \times 10) + (50 \times 10) \text{ mm}^2$. Uz sabirnicu neutralnog vodiča smještena je i sabirnica zaštitnog uzemljenja s kratkospojnicima za njihovo međusobno spajanje.



Slika 5.5. Sabirnice sa strujnim transformatorima unutar NN bloka TS Duboka [37]

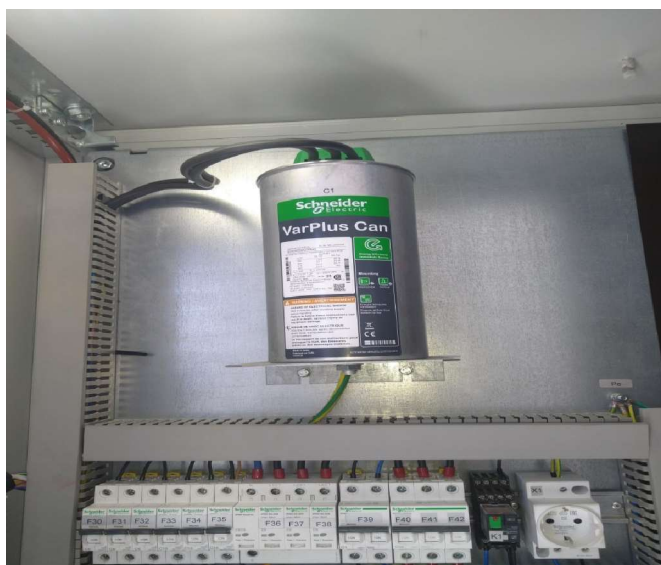
5.5.1. Kondenzatorska baterija u NN bloku - TS Duboka

Unutar NN bloka TS duboka nalazi se i kondenzatorska baterija tipa „*Heavy duty capacitor*“ u svrhu kompenzacije jalove snage. Kompenzacija jalove je funkcija u elektroenergetskim sustavima za upravljanje komponentom jalove snage. Jalova snaga potrebna je induktivnim opterećenjima (kao što su motori i transformatori) za održavanje magnetskih polja, ali pri tome ne obavlja jalova energija ne obavlja koristan rad. Mjeri se u reaktivnim volt-amperima (VAR). Dodavanjem kondenzatora u niskonaponski blok trafostanice, elektroprivreda može kompenzirati potrebnu jalovu snagu induktivnih opterećenja. Kondenzatori djeluju kao izvor jalove snage koja vodi valni oblik napona, nadoknađujući zaostalu jalovu snagu koju povlače induktivna opterećenja. Kada su kondenzatori spojeni paralelno s opterećenjem, oni proizvode jalovu snagu te ju predaju u sustav, podižući faktor snage blizu vrijednosti 1. Faktor snage blizu 1 znači da sustav radi učinkovitije, jer smanjuje količinu potrošene energije povezane s reaktivnom snagom. Zaključno, kondenzatori u niskonaponskom bloku trafostanice služe za kompenzaciju jalove snage kako bi se optimizirao faktor snage, smanjili gubici, povećao kapacitet sustava i osiguralo stabilno napajanje potrošača.

5.5.2. Odvodnici prenapona u NN bloku TS – Duboka

NN blok u TS Duboka između ostalog sadrži modularni odvodnik prenapona iPRD65r. Modularni odvodnik prenapona u niskonaponskom bloku trafostanice ima ulogu u zaštiti električne opreme i distribucije mreže od naponskih udara ili prijelaznih napona (Slika 5.6.). Glavna funkcija odvodnika prenapona je zaštita niskonaponske električne opreme i uređaja unutar trafostanice od prenapona. Prenaponi se mogu pojaviti zbog raznih razloga, kao što su udari groma, uklapanja sklopki ili kvarovi u energetskom sustavu.

Ovi udari napona mogu uzrokovati značajna oštećenja osjetljive opreme. Također, mogu oštetiti transformatore, sklopne uređaje, upravljačke sustave i druge uređaje. Odvodnik prenapona dizajniran je za sigurno preusmjeravanje viška napona na uzemljenje, tako sprječavajući dolazak do opreme. Odvodnici prenapona spojeni su između faznih vodiča i zemlje. Kada dođe do prenapona, odvodnik osigurava put niske impedancije do zemlje, dopuštajući višku energije da sigurno teče dalje od zaštićene opreme. Ova funkcija osigurava da napon preko zaštićene opreme ostane unutar sigurnih granica. Modularni dizajn omogućuje jednostavno instalaciju i održavanje. Ukratko se može zaključiti kako su odvodnici prenapona u niskonaponskom bloku trafostanice kritična komponenta za zaštitu električne opreme i sustava od naponskih udara i prijelaznih napona. Brzo vrijeme odziva, modularnost i mogućnost uzemljenja čine ga bitnim dijelom zaštitnih mjera trafostanice, osiguravajući pouzdanost i dugovječnost opreme.



Slika 5.6. Kondenzatorska baterija, odvodnici prenapona i automatski osigurači unutar NN bloka TS Duboka [37]

6. MJERENJA I KOMUNIKACIJA TS DUBOKA (10(20)/ 0,4 kV)

Trafostanica Duboka sadrži opremu za mjerenje, obradu podataka i komuniciranje.

TS Duboka dio je srednjenaponskog energetskeg sustava trafostanica čija je primarna svrha napajanje prometne arhitekture Pelješkog mosta i pristupne ceste D8.

Kako je cijela dionica D8 uključujući i most Pelješac nadzirana i upravljana iz Glavnog centra daljinskog nadzora i upravljanja Zaradeže (COKP Zaradeže) i središnjeg centra, tako i TS Duboka ima mogućnost komuniciranja sa središnjim centrom. Uzimajući u obzir mogućnosti mjerenja i komunikacije, TS Duboka se može smatrati pametnom trafostanicom, ali isto tako važno je naglasiti da postoji veliki prostor za nadogradnju i unaprjeđenje. U trafostanici komunikacija između mjernih i uređaja za komunikaciju s nadzornim centrom čini kritičan aspekt osiguravanja ispravnog rada i sigurnosti mreže. Ova komunikacija se ostvaruje kroz sustav nadzora kontrole i prikupljanja podataka SCADA, koji je središnji sustav za nadzor i kontrolu koji se koristi u raznim industrijskim procesima, uključujući elektroenergetske mreže, što je i implementirano u promatranom izoliranom objektu TS Duboka.

6.1. Višetarifni mjerač PM5310

PowerLogic PM5310 (Slika 6.1.) je elektronički uređaj za mjerenje, dizajniran za korištenje u trafostanicama a ima ulogu u mjerenju i nadzoru različitih električnih parametara unutar trafostanice. Uređaj je dio NN bloka u trafostanici Duboka, spojen na strujne transformatore koji se nalaze na bakrenim sabirnicama. Ovim uređajem prikupljaju se razni podaci mjerenja kao što su: iznosi struje, napona, iznos frekvencije, faktor snage, energija, djelatna i jalova snaga. PM310 prvenstveno je odgovoran za mjerenje različitih električnih parametara koja su ključna za razumijevanje ukupne izvedbe i stanja električnog sustava unutar trafostanice. Uređaj koristi mjerne krugove visoke preciznosti kako bi se osiguralo precizno prikupljanje podataka. Ove su informacije omogućavaju operateru učinkovito upravljanje distribucijom električne energije i donošenje pravilnih odluka za uravnoteženje opterećenja i energetske učinkovitosti. PM310 opremljen je komunikacijskim mogućnostima koje mu omogućuju prijenos izmjerenih podataka SCADA sustavu ili drugom softveru za praćenje. Ostale funkcije uređaja mogu biti zaštitne značajke koje služe za pokretanje alarma, najčešće se koristi ugrađena memorija za potrebe bilježenja podataka.

Trafostanica Duboka izmjerene podatke šalje informacije dispečeru putem protokola komunikacijskog porta „Modbus“, a fizička realizacija komunikacije izvedena je putem standardna RS485 dvožilnog serijskog sučelja. [35] [41]



Slika 6.1. PM5310 brojilo energije u TS Duboka [37]

6.1.1. Modbus RTU komunikacija i standard RS-485

Modbus RTU i RS-485 (slika 6.2.) široko su korišteni uređaji u industrijskoj automatizaciji i sustavima upravljanja za komunikaciju između uređaja. Modbus je komunikacijski protokol koji se koristi za uspostavljanje komunikacije između različitih uređaja u mreži. Razvio ga je “Modicon” 1979. g i od tada je postao standard u industriji industrijske automatizacije. “RTU” u Modbus-u označava “udaljenu terminalnu jedinicu”. To je jedan od dva primarna Modbus načina prijenosa, a drugi je Modbus ASCII. Modbus RTU komunikacija u mrežnim analizatorima odvija se na trožilnoj (A,B i Common) sabirnici koja ovisi o polaritetu prema standardu RS-485. Usluge na Modbus-u specificirane su kodovima funkcija. Ovaj komunikacijski protokol prvenstveno koristi serijska komunikacijska sučelja kao što su RS-232 i RS -485, također prenosi podatke u binarnom formatu, predstavljajući svaku podatkovnu točku (registar) u 16-bitnom, binarnom obliku.

U Modbus mreži najčešće postoji jedan glavni uređaj (npr. Sustav nadzorne kontrole) koji se naziva „Master” i on pokreće komunikaciju s jednim ili više podređenih uređaja, npr. senzori, mjerači ili drugi uređaji koji se nazivaju „Slave”. Master šalje zahtjeve slave-ovima za čitanje ili pisanje podataka.

Nadalje svaki podređeni uređaj u Modbus RTU mreži ima jedinstvenu adresu koju „Master“ uređaj koristi za identifikaciju i komunikaciju sa njim, ta adresa naziva se „MAC adresa“ podređenog uređaja.

Promatrajući komunikaciju unutar TS Duboka, „Master“ uređaj je kontroler M241 koji uzima izmjerene podatke od mjernog brojila PM5310 koji ima ulogu „Slave-a“. RS-485 je hardverski standard za serijsku komunikaciju koja definira električne karakteristike fizičkog sloja. Omogućuje pouzdanu komunikaciju na daljinu između uređaja preko diferencijalnog para žica. Diferencijalno signaliziranje znači da prenosi podatke kao razliku napona između žica, A i B. Standard RS-485 dizajniran je za podršku više uređaja na istoj sabirnici. Može se zaključiti da je Modbus RTU komunikacijski protokol koji koristi RS-485 fizički sloj za serijsku komunikaciju u industrijskim aplikacijama. RS-485 pruža električne specifikacije potrebne za pouzdanu komunikaciju na velikim udaljenostima, dok Modbus RTU definira protokol za razmjenu podataka između uređaja koji koriste ovaj fizički sloj. Zajedno čine efektivnu kombinaciju za industrijsku automatizaciju i upravljačke sustave. [42]



Slika 6.2. RS-485 sabirnica brojila energije PM5310 u TS Duboka [37]

6.2. Logički kontroler M241

Modicon M241 je logički programibilni kontroler, dizajniran za automatizaciju i upravljanje aplikacijama u industrijskim okruženjima, uključujući trafostanice u elektroenergetskim sustavima. Kontroler radi kao upravljački sustav unutar distribucijske trafostanice. Obrađuje ulaze iz raznih terenskih uređaja i senzora, kao što su prekidači, releji, mjerači i druga oprema za nadzor.

Na temelju programirane logike i upravljačkih algoritama, donosi odluke i generira izlaze koji kontroliraju opremu trafostanice, osiguravajući učinkovit i siguran rad procesa distribucije električne energije. Uređaj služi za automatizaciju trafostanice i komunikaciju sa središnjim centrom. Kontinuirano prikuplja podatke sa senzora i uređaja koji se nalaze u trafostanici. Ovaj uređaj daje informacije o različitim parametrima, kao što su razine napona, protok struje, temperatura i status prekidača. M241 ima sposobnost kontrole, gdje na temelju podataka i unaprijed programirane logike upravlja različitom opremom u trafostanici. Može izdavati naredbe za otvaranje ili zatvaranje prekidača strujnog kruga, reguliranje napona i upravljanje različitim drugim kritičnim funkcijama. Uređaj može komunicirati s drugim sustavima u trafostanici, kao što su inteligentni elektronički uređaji, udaljeni terminalnim jedincima (RTU) i drugim, olakšavajući koordinaciju i razmjenu podataka unutar trafostanice.

Kontroler ima mogućnost programiranja za otkrivanje anomalija i kvarova u distribucijskom sustavu. Kada otkrije problem, kao što je greška ili preopterećenje, pokreće unaprijed definirane radnje za ublažavanje problema i sprječavanje moguće štete. M241 se može integrirati u sustav nadzora, kontrole i prikupljanje podataka SCADA koji povezuje trafostanicu sa središnjim nadzornim centrom, što omogućuje praćenje, kontrolu i razmjenu podataka u stvarnom vremenu između trafostanice i središnjeg kontrolnog centra.

Unutar TS Duboka, logički kontroler M241 smješten je u komunikacijskom ormaru (slika 6.3.) te pripada djelu opreme koja je sastavi dio daljinske stanice i opreme sustava daljinskog upravljanja. Osim kontrolera M241, ormar sadrži razvod napajanja 230V, odgovarajuće osigurače za zaštitu strujnih krugova, mrežne odvodnike prenapona, baterije za sekundarno napajanje, te preklopnik povezan s logičkim kontrolerom. [43]



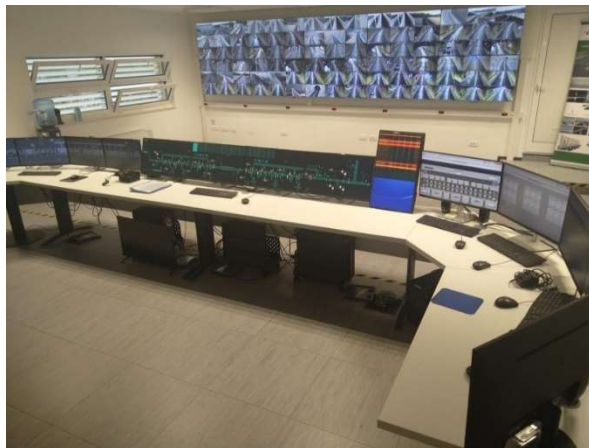
Slika 6.3. Daljinska stanica - komunikacijski ormar u TS Duboka [37]

6.3. Centar daljinskog upravljanja (COKP: Zaradeže)

Glavni centar daljinskog nadzora i upravljanja (COKP, slika 6.4.) smješten je u objektu koji osigurava pogodne uvjete rad osoblja (24 satno dežurstvo) te je u njemu smještena cjelokupna oprema za daljinski nadzor, upravljanje i komunikaciju. Objekt ima osigurano besprekidno napajanje električnom energijom putem sekundarnog agregata i UPS uređaja sa ugrađenom opremom za automatsko pokretanje i uklop. Oprema sustava daljinskog nadzora i upravljanja smještena je u radnoj prostoriji operatera i pridruženoj pomoćnoj prostoriji „server sobi“. Osnovne komponente opreme COKP su slijedeće:

- oprema za obradu podataka,
- oprema za registraciju,
- operatorske konzole /radne stanice,
- uređaji za lokalnu signalizaciju i prihvata podataka,
- sustav lokalne mreže centra upravljanja,
- komunikacijska oprema,
- oprema za napajanje električnom energijom,
- podrška prikaza trendova mjernih veličina,
- održavanje baze podataka u realnom vremenu za pojedine korisnike.

SCADA sustav sastoji se od računalne opreme (strojne i programske) smještene u COKP-u. Jezgru sustava čine SCADA poslužitelj i SCADA klijenti. SCADA poslužitelji imaju funkciju aplikacijskog procesora, dok SCADA klijenti imaju funkciju radne stanice (korisnika). U sustavu daljinskog upravljanja i nadzora SCADA, poslužitelj u funkciji aplikacijskog poslužitelja vrši obradu podataka prihvaćenih sa daljinskih stanicama duž trase. [44]



Slika 6.4. Centar daljinskog nadzora i upravljanja Zaradeže [37]

6.4. Komunikacija TS Duboka i središnjeg centra

Unutar TS Duboka prethodno je opisan uređaj PM5310, višetarifni mjerač i logički kontroler. Dva navedena uređaja komuniciraju između sebe na način da brojilo energije izmjerene podatke dostavlja kontroleru putem fizičkog spoja po opisanom standardu RS-485 u binarnom zapisu. Uzimajući u obzir širu sliku kompletnog sustava nadzora i upravljanja cijele dionice Pelješkog mosta sa pristupnim cesta može se zaključiti da je TS Duboka dio jedne široke i kompleksne komunikacijske mreže koja služi za nadzor i upravljanje.

Komunikacijska mreža omogućuje povezivanje opreme sustava daljinskog upravljanja i nadzora u TS Duboka i kontrolnom centru u jedinstvenu cjelinu, uključujući sve ostale trafostanice, tunele i njihovu opremu. Glavna komunikacijska mreža realizirana je prstenastom strukturom, koristi glavni svjetlovodni kabel i proteže se od glavnog kontrolnog centra kroz daljinske stanice smještene u trafostanica i tunelima na trasi uključujući i daljinsku stanicu unutar TS Duboka.

Glavni centar daljinskog nadzora i upravljanja COKP „Zaradeže“ komunicira sa TS Duboka na način da SCADA sustav šalje zahtjev za informacijom u mrežu na način da navodi MAC jedinstvenu adresu logičkog kontrolera koji je prethodno prikupio podatke mjerenja. Logički kontroler spojen je sa preklopnikom na jedan od njegovih ulaza. Zahtjev za informacijom, putujući komunikacijskom mrežom dolazi do preklopnika unutar TS Duboka, koji prepoznaje MAC adresu spojenog uređaja i propušta komunikacijski paket logičkog kontrolera te ga predaje SCADA sustavu. Nakon izvršenog procesa unutar glavne sobe za nadzor u COKP „Zaradeže“, tražene informacije prikazuju se na zaslonu (slika 6.5.).

Ovakav način komunikacije može se uzeti kao dvosmjernan što je jedna od temeljnih karakteristika pametnih mreža. Isto tako na temelju sposobnosti TS Duboka da komunicira sa središnjim centrom može se smjestiti u kategoriju pametne trafostanice.

Međutim, treba uzeti u obzir da se ipak radi samo o razmjeni informacija, gdje ne postoji mogućnost daljinskog upravljanja i da se koristi samo mali dio mogućnosti uređaja koji su ugrađeni. [44]



Slika 6.5. Nadzor TS Duboka u centru za nadzor i upravljanje Zaradeže [37]

7. ZAKLJUČAK

Zaključno, trafostanica Duboka 10(20)/0,4 kV pokazuje obećavajuće karakteristike pametne trafostanice, ali njezina puna integracija u pametnu mrežu zahtijeva značajne nadogradnje šire energetske infrastrukture i implementaciju dodatne opreme za mogućnosti daljinskog upravljanja. Trenutno, trafostanica Duboka sadrži napredne uređaje, kao što su Power logic PM5310 i logički kontroler M241, koji učinkovito mjere različite električne parametre poput struje, napona i jalove snage.

Ta se mjerenja prenose središnjem nadzornom i kontrolnom centru, dajući dragocjene uvide u performanse podstanice i pomažući u održavanju stabilnosti sustava. Međutim, kako bi trafostanica u potpunosti ostvarila svoj potencijal unutar okvira pametne mreže, potrebno je razmotriti ključna pitanja.

Prvo, cjelokupna infrastruktura energetskog sustava mora proći modernizaciju kako bi se podržala besprijekorna komunikacija i razmjena podataka na svim razinama. Ova nadogradnja infrastrukture omogućit će učinkovitu integraciju podataka i donošenje odluka, otvarajući put za optimizirano upravljanje energijom i povećanu pouzdanost.

Drugo, nužna je ugradnja dodatnih pametnih uređaja, senzora i komunikacijskih tehnologija kako bi se omogućilo daljinsko upravljanje i prilagodbe u stvarnom vremenu. Integracijom ovih pametnih komponenti, trafostanica može aktivno reagirati na uvjete mreže, automatski optimizirati protok energije i olakšati upravljanje opterećenjem, pridonoseći tako ukupnoj stabilnosti i učinkovitosti mreže.

Prijelaz na pametnu mrežu je zamršen i opsežan proces, koji ne obuhvaća samo tehnološki napredak unutar pojedinačnih trafostanica, već i sveobuhvatnu reviziju cjelokupnog energetskog ekosustava. Kako se pametna mreža bude razvijala, poticat će veću održivost, otpornost i fleksibilnost u ispunjavanju zahtjeva modernih obrazaca potrošnje energije.

Ukratko, postojeća trafostanica predstavlja ključnu građevnu jedinicu na putu prema pametnijoj mreži. Kako bi se u potpunosti iskoristio njezin potencijal, ključan je logistički pristup nadogradnji infrastrukture i uvođenju dodatnih pametnih uređaja. Tek tada ćemo biti u mogućnosti otključati prave prednosti pametne mreže, osiguravajući održivu i inteligentnu energetska budućnost za sve.

LITERATURA

- [1] POLYTECHNIC & DESIGN, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel; *Vol. 4, No. 1*, Zagreb, 2016.
- [2] <https://www.mdpi.com/1996-1073/6/1/251>, pristupljeno 20.05.2023.
- [3] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-60930-9_1
- [4] International Journal Of Scientific & Engineering Research, *Volume 4, Issue 5*, 2013.
- [5] Jussi Ahola, European Utility Week
- [6] <https://www.powerelectronicsnews.com/the-primary-requirements-for-smart-grid-evolution-special-report/>
- [7] <https://www.infoworld.com/article/2640732/four-big-reasons-to-get-behind-the-smart-grid.html>
- [8] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics, pristupljeno 21.05.2023.
- [9] <https://news.energysage.com/advantages-and-disadvantages-of-renewable-energy/>, pristupljeno 21.05.2023.
- [10] Vidak, N.; *Automatizacija distributivne mreže kao preduvjet izgradnje pametnih mreža*, Zadar, 2022.
- [11] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626191500207X>, pristupljeno 24.05.2023.
- [12] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421510002831>, pristupljeno 24.05.2023.
- [13] https://www.researchgate.net/publication/261326062_Electric_vehicles_and_smart_grid_interaction_A_review_on_vehicle_to_grid_and_renewable_energy_sources_integration, pristupljeno 24.05.2023.
- [14] https://www.researchgate.net/publication/266226726_Role_of_Information_and_Communication_Technologies_in_the_Smart_Grid, pristupljeno 24.05.2023.
- [15] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8659758/>, pristupljeno 24.05.2023.

- [16] <https://www.power-grid.com/td/the-role-communications-smart-grid/#gref>
- [17] <https://pametni-gradovi.eu/pametne-tehnologije/pametna-rjesenja-i-tehnologije/kako-cemo-napajati-pametne-gradove-buducnosti-pogled-na-pametne-mreze/>
- [18] <https://www.powerelectronicsnews.com/the-smart-grid-whats-the-grid-and-how-is-it-smart>, pristupljeno 24.05.2023.
- [19] <https://electricenergyonline.com/energy/magazine/312/article/The-Essential-Role-of-Cyber-Security-in-the-Smart-Grid-.htm>
- [20] <https://www.semanticscholar.org/paper/Cyber-security-threats-%E2%80%94-Smart-grid-infrastructure-Pandey-Misra/66f7d4a9a288a86ab346153691a2c3e963a627d4>
- [21] Smart City Power Distribution – ABB
- [22] <https://paperzz.com/doc/5153398/implementacija-automatizacije-po-dubini-srednjenaponske-m>, pristupljeno 08.06.2023.
- [23] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/advanced-metering-infrastructure>, pristupljeno 07.06.2023.
- [24] <https://www.eaton.com/us/en-us/products/utility-grid-solutions/advanced-metering-infrastructure/fundamentals-of-ami.html>, pristupljeno 08.06.2023.
- [25] <https://www.heavy.ai/technical-glossary/client-server>, pristupljeno 08.06.2023.
- [26] <https://www.energy.gov/oe/demand-response>, pristupljeno 08.06.2023.
- [27] https://www.researchgate.net/publication/359599277_Distribution_Management_Systems_for_Smart_Grid_Architecture_Work_Flows_and_Interoperability, pristupljeno 12.06.2023.
- [28] Medium Voltage Products “Outdoor switching points” Catalogue ABB
- [29] https://www.researchgate.net/publication/260483514_The_Enhancement_of_Communication_Technologies_and_Networks_for_Smart_Grid_Applications, pristupljeno 12.06.2023.
- [30] <http://www.ijstr.org/final-print/nov2019/Overview-On-Role-Of-Asset-Management-Systems-For-Smart-Microgrids.pdf>, pristupljeno 12.06.2023.

- [31] https://www.researchgate.net/publication/330810867_Integration_of_Distributed_Energy_Resources_in_Smart_Grid_System, pristupljeno 12.06.2023.
- [32] https://www.researchgate.net/publication/254015323_ICT_and_smart_grid, pristupljeno 12.06.2023.
- [33] <https://jespublication.com/upload/2020-110770.pdf>, pristupljeno 12.06.2023.
- [34] https://netl.doe.gov/sites/default/files/Smartgrid/06-18-2010_Understanding-Smart-Grid-Benefits.pdf, pristupljeno 29.05.2023.
- [35] Elektrotehnički projekt TS Duboka
- [36] Građevinski projekt TS Duboka
- [37] Osobno Vlasništvo
- [38] FBX Gas Insulated Ring Main Unit – Up to 24 kV - 2018 Catalog
- [39] WOODWARD Manual WIC1
- [40] TE connectivity - Kabelski pribor za energetske mreže
- [41] Product Data Sheet Characteristics METSEPM5310
- [42] Communication protocol MODBUS MANUAL M4M Network analyzers ABB
- [43] Logic Controller - Modicon M241_TM241CE24T podaktočna tablica proizvoda
- [44] Projekt sustava daljinskog upravljanja i nadzora COKP Zaradeže
- [45] <http://www.ho-cired.hr/wp-content/uploads/2013/06/SO1-04.pdf> SKLOPNI BLOKOVI I POSTROJENJA SREDNJEG NAPONA – ANALIZA ZAHTJEVA IEC 62271-200
- [47] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352467718303187>, pristupljeno 21.05.2023.

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Jednosmjerni tok električne energije u elektroenergetskoj mreži.....	3
Slika 1.2. Dokumenti savjetodavnog vijeća.....	4
Slika 2.1 Primjeri proizvodnje električne energije iz obnovljivih.....	9
Slika 2.2 Primjeri proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.....	11
Slika 2.3 Primjeri proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.....	13
Slika 3.1 Komunikacijski modul ARG600A.....	16
Slika 3.2 Bežični upravljač ARC600.....	16
Slika 3.3 Zaštitno kontrolni relej REC615.....	17
Slika 3.4 Automatski reklozer OVR27.....	18
Slika 3.5 Glavni djelovi sustava SF6 Sklopke tipa NXD.....	20
Slika 4.1 Odnosi tehnoloških rješenja i ključnih prednosti.....	25
Slika 5.1 Montaža TS Duboka 10(20)/0,4 kV.....	28
Slika 5.2 RSTI – srednjenaponski adapter.....	32
Slika 5.3 WIC1 – relej ugrađen u TS Duboka.....	33
Slika 5.4 Natpisne pločice strujnih transformatora unutar SN bloka TS Duboka.....	35
Slika 5.5 Sabirnice sa strujnim transformatorima unutar NN bloka TS Duboka.....	36
Slika 5.6 Kondenzatorska baterija, odvodnici prenapona i automatski osigurači unutar NN bloka TS Duboka.....	37
Slika 6.1 PM5310 brojilo energije u TS Duboka.....	39
Slika 6.2 RS-485 sabirnica brojila energije PM5310 u TS Duboka.....	40
Slika 6.3 Daljinska stanica – komunikacijski ormar u TS Duboka.....	41
Slika 6.4 Radna prostorija operatera u “Glavnom centru daljinskog nadzora i upravljanja Zaradeže”.....	42
Slika 6.5 Nadzor TS Duboka u centru za nadzor i upravljanje Zaradeže.....	44