

# REVITALIZACIJA OPREME U TRASFORMATORSKOJ STANICI TS 10(20)/0,4 kV

---

Čuljat, Domagoj

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:473001>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**REVITALIZACIJA OPREME U TRANSFORMATORSKOJ  
STANICI TS 10(20)/0,4 kV**

Rijeka, rujan 2024.

Domagoj Čuljat

0069057697

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**REVITALIZACIJA OPREME U TRANSFORMATORSKOJ  
STANICI TS 10(20)/0,4 kV**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Rene Prenc

Komentor: dr. sc. Michele Rojnić

Rijeka, rujan 2024.

Domagoj Čuljat

0069057697

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

### IZJAVA

Sukladno članku 8. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom "Revitalizacija opreme u transformatorskoj stanici TS 10(20)/0,4 kV", prema zadatku od 20.3.2024. godine, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Rene Prenca i komentorstvom dr. sc. Michele Rojnića.

Rijeka, rujan 2024.



Domagoj Čuljat

0069057697



# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. RAZLOZI REVITALIZACIJE OPREME U TRANSFORMATORSKOJ STANICI .....	3
2.1. Dotrajalost i nepouzdanost postojeće opreme .....	3
2.2. Unapređenje kvalitete opskrbe eklektičnom energijom .....	4
2.3. Prilagodba na višu naponsku razinu .....	5
2.4. Povećanje kapaciteta i efikasnosti .....	5
2.5. Implementacija naprednih tehnologija .....	6
2.6. Povećanje sigurnosti .....	7
2.7. Usklađenost sa standardima i regulativama.....	8
3. OSNOVNE KOMPONENTE TRANSFORMATORSKE STANICE .....	9
3.1. Transformatori u transformatorskim stanicama .....	10
3.1.1. Energetski transformatori.....	11
3.2. Srednjenaponsko postrojenje transformatorske stanice.....	15
3.3. Niskonaponsko postrojenje transformatorske stanice .....	20
3.4. Konstrukcija transformatorske stanice .....	23
4. UKLJUČIVANJE U SUSTAV DALJINSKOG VOĐENJA.....	27
4.1. Oprema u transformatorskoj stanici za daljinsku komunikaciju .....	28
4.2. Daljinska stanica i stupna daljinska stanica.....	29
4.3. Periferne i centralne jedinice .....	32
4.4. Komunikacija u daljinskom sustavu elektroenergetske mreže.....	33
4.5. Nadređeni SCADA sustav u elektroenergetskim sustavima .....	34
4.6. IEC 61850 – Integrirano upravljanje informacijama u elektroenergetskim sustavima .....	35
5. TEHNIČKI PRORAČUN .....	37
5.1. Proračun kratkog spoja na srednjenaponskom postrojenju .....	37
5.2. Proračun kratkog spoja na niskonaponskom postrojenju .....	39
5.3. Izbor srednjenaponskog sklopnog bloka .....	40

5.4. Izbor niskonaponskog sklopnog bloka .....	41
5.5. Proračun veze srednjenaponski sklopni blok – transformator na kratki spoj .....	42
5.6. Proračun veze niskonaponski sklopni blok – transformator na kratki spoj .....	43
5.7. Proračun uzemljenja .....	45
5.8. Proračun hlađenja transformatora.....	46
6. MJERNA INFRASTRUKTURA .....	48
6.1. Optička veza .....	49
6.2. GPRS veza.....	51
6.3. Radio veza .....	53
6.4. Sumarno mjerenje u transformatorskim stanicama .....	55
6.5. G3 PLC koncentratori.....	60
7. ZAKLJUČAK .....	65
8. LITERATURA.....	66
9. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLJESKOM JEZIKU .....	68

# 1. UVOD

Transformatorske stanice su ključni dio elektroenergetskog sustava, služeći kao čvorišta za prijenos i distribuciju električne energije od proizvodnih postrojenja do krajnjih korisnika. Osnovna funkcija transformatorskih stanica je transformacija napona s viših naponskih razina, karakterističnih za prijenosnu mrežu, na niže naponske razine pogodne za distribuciju i krajnju potrošnju. Ova transformacija omogućava učinkovitu i pouzdanu isporuku električne energije u domaćinstvima, poslovnim objektima i industrijskim postrojenjima.

Operatori distribucijskih mreža imaju ključnu odgovornost osigurati kontinuiranu, kvalitetnu i pouzdanu opskrbu električnom energijom. Kako bi se postigli ovi ciljevi, neophodno je provoditi redovito održavanje i modernizaciju transformatorskih stanica. To uključuje zamjenu zastarjele opreme novim, tehnološki naprednijim rješenjima, što omogućava ne samo poboljšanje operativne efikasnosti, nego i povećanje sigurnosti i pouzdanosti mreže, a ujedno i održava elektroenergetsku mrežu stabilnom.

Jedan od ključnih elemenata modernizacije elektroenergetskog sustava je implementacija naprednih tehnologija poput PLC (Power Line Communication) tehnologije i sustava sumarnih mjerenja. Ove tehnologije omogućavaju operatorima prikupljanje detaljnih podataka o potrošnji i stanju mreže u realnom vremenu, što je neophodno za optimalno upravljanje i planiranje potrebnih resursa. U tom kontekstu, razvijen je ambiciozni desetogodišnji plan koji predviđa opremanje svih obračunskih mjernih mjesta naprednim brojilima s PLC tehnologijom ili brojilima koja omogućavaju daljinsku komunikaciju. Realizacija ovog plana planirana je do kraja 2030. godine za sve poslovne subjekte i industrijska postrojenja, a za sva kućanstva do 2035. godine.

Ugradnja naprednih brojila donosi višestruke koristi, kako za operatore distribucijskih mreža, tako i za krajnje korisnike. Jedna od glavnih prednosti je smanjenje troškova očitavanja brojila, jer se očitavanja mogu obavljati daljinski, čime se eliminira potreba za fizičkim očitavanjem brojila svakog mjeseca. Krajnji korisnici također imaju korist jer dobivaju račune na temelju stvarne potrošnje, bez potrebe za ručnim dostavljanjem očitavanja ili putem raznih dostupnih portala.

Dodatno, daljinsko upravljanje brojilima omogućava operaterima brzu i jednostavnu intervenciju u slučaju prekoračenja zakupljene snage ili neplaćanja računa. Na primjer, limitacija snage može se provesti daljinski, bez potrebe za fizičkom instalacijom limitatora, tako da se u samo brojilo upisuje vrijednost zakupljene snage koju korisnik ima. Time se oslobađa prostor u razvodnim



ormarima i pojednostavljuje proces upravljanja mrežom. Limitator je integriran u samo brojilo, a to je ništa drugo nego sklopni uređaj koji ograničava strujno opterećenje, odnosno maksimalnu snagu koju korisnik električne energije postigne. Isto tako, daljinsko isključenje korisnika koji ne podmiruju svoje obveze postaje lakše, sigurnije i znatno jednostavnije jer se može odraditi na daljinu bez prisustva ovlaštenog djelatnika na mjestu isključenja korisnika.

Najvažnija prednost naprednih brojila je mogućnost detekcije neovlaštenih radnji, kao što su krađe električne energije i slično. Napredna brojila mogu prepoznati različite oblike manipulacije, uključujući krivi smjer potrošnje, a da kupac nije proizvođač, nepravilne priključke, skidanje poklopca s brojila i druge neovlaštene postupke. Ova funkcionalnost značajno poboljšava sigurnost elektroenergetske mreže i pomaže operatorima u smanjenju gubitaka zbog neovlaštene potrošnje ili neovlaštenog priključka.

Sve ove inovacije i tehnološka poboljšanja usmjerena su ka postizanju pouzdanijeg, učinkovitijeg i sigurnijeg elektroenergetskog sustava, koji će moći odgovoriti na sve veće zahtjeve modernog društva za kvalitetnom i neprekidnom opskrbom električnom energijom.

## **2. RAZLOZI REVITALIZACIJE OPREME U TRANSFORMATORSKOJ STANICI**

Revitalizacija opreme u transformatorskim stanicama provodi se iz nekoliko ključnih razloga koji su od bitnog značaja za unapređenje rada elektroenergetskog sustava. Ovaj proces ne samo da povećava pouzdanost i sigurnost u distribuciji električne energije, već osigurava efikasnost i usklađenost s budućim planovima i tehnološkim zahtjevima energetske mreže. Revitalizacija je usmjerena na zamjenu zastarjele opreme s modernim tehnologijama koje smanjuju rizik od kvarova i havarija. To uključuje uvođenje sustava za daljinsko upravljanje, nadziranje i dijagnostiku, koji omogućuju brže detektiranje i rješavanje problema.

Cilj revitalizacije opreme je postizanje pouzdane, sigurne i efikasne, te kvalitetne opskrbe električnom energijom, kako za postojeće tako i za buduće korisnike sa svrhom povećanja sigurnosti rada i prilagodbe elektroenergetske mreže budućim tehnološkim i operativnim zahtjevima.

Modernizacija transformatorskih stanica također uključuje implementaciju naprednih tehnoloških rješenja koja omogućuju bolje upravljanje opterećenjem i smanjenje gubitaka u mreži. To se postiže kroz ugradnju naprednih i sumarnih brojila koji preciznije mjere i reguliraju protok energije. Revitalizacija također podrazumijeva prilagodbu transformatorskih stanica za podršku integraciji obnovljivih izvora energije i tehnologija pametnih mreža, što je ključno za modernizaciju elektroenergetskog sustava.

Jedan od specifičnih primjera je prelazak distribucijske mreže s jedne naponske razine na drugu, kao što je to nedavni prijelaz grada Rijeke s 10 kV na 20 kV naponsku razinu. Ova promjena naponske razine zahtijevala je temeljitu modifikaciju konfiguracije i opreme u transformatorskim stanicama, uključujući zamjenu transformatora, sklopne opreme i zaštitnih uređaja.

### **2.1. Dotrajnost i nepouzdanost postojeće opreme**

Zastarjelost i dotrajnost sredjenaponske opreme u transformatorskim stanicama predstavlja značajan izazov za održavanje pouzdanosti elektroenergetskih sustava. Transformatorske stanice su konstantno izložene teškim operativnim uvjetima, uključujući ekstreme u temperaturi, visok

stupanj vlažnosti i značajna mehanička naprezanja. Takvi uvjeti neizbježno dovode do postupene degradacije komponenti, što rezultira smanjenjem performansi i pouzdanosti opreme.

Starija oprema, koja je već premašila predviđeni vijek trajanja, postaje izrazito nepouzdana i podložna čestim kvarovima, što može uzrokovati nepredviđene prekide u opskrbi električnom energijom. Takvi prekidi ne samo da izazivaju neposredne operativne probleme, već i povećavaju sigurnosne rizike, kako za same objekte tako i za osoblje koje rukuje s njima.

Revitalizacija i modernizacija opreme u transformatorskim stanicama stoga nije samo pitanje poboljšanja tehničkih performansi, već i povećanja sigurnosti, smanjenja rizika od ispada, te osiguravanja usklađenosti s trenutnim i budućim standardima sigurnosti i pouzdanosti. Uvođenjem napredne tehnologije i zamjenom zastarjele opreme, operatori mogu značajno unaprijediti efikasnost i otpornost elektroenergetskog sustava.

Također, moderna oprema omogućava integraciju naprednih sustava nadzora i dijagnostike, što pruža operatorima mogućnost da u realnom vremenu prate stanje opreme i proaktivno upravljaju održavanjem. Ovo ne samo da pomaže u minimiziranju nepredviđenih ispada, već i u optimizaciji troškova održavanja kroz bolje planiranje intervencija i racionalnije korištenje resursa.

## **2.2. Unapređenje kvalitete opskrbe eklektičnom energijom**

Zamjena zastarjele opreme novom i tehnološki naprednijom ne samo da osigurava kvalitetniju i stabilniju opskrbu električnom energijom, već također doprinosi boljoj regulaciji napona i efikasnijem upravljanju distribucijskim mrežama. Ovo direktno utječe na smanjenje gubitaka u prijenosu energije, čime se optimizira potrošnja resursa i povećava energetska učinkovitost.

Modernizacijom transformatorskih stanica, uvode se najnovije tehnologije koje omogućavaju preciznije nadziranje i regulaciju tokova energije, zahvaljujući čemu se može brže i efikasnije reagirati na fluktuacije u potražnji. Također, napredna tehnološka rješenja omogućuju bolje predviđanje i analizu potrošnje, što je ključno za planiranje proizvodnje i distribucije energije.

Nova oprema također unapređuje pouzdanost sustava tako što smanjuje učestalost i trajanje prekida u opskrbi energijom. To je posebno važno za kućanstva, poslovne subjekte i industrijske korisnike, za koje čak i kratkotrajni prekidi mogu imati velike financijske posljedice. Stabilnost elektroenergetskog sustava i smanjenje prekida u opskrbi također pomaže u održavanju sigurnosti kritične infrastrukture i esencijalnih usluga koje ovise o neprekidnom napajanju.

Uvođenjem modernizirane opreme i sustava, također se poboljšava kapacitet mreže za integraciju obnovljivih izvora energije kao što su solarna energija i vjetroenergija. Ova integracija je ključna za tranziciju prema održivijim energetske sustavima i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima, što je u skladu s globalnim ciljevima zaštite okoliša.

### **2.3. Prilagodba na višu naponsku razinu**

Prelazak na višu naponsku razinu, kao što je prelazak grada Rijeke na 20 kV, predstavlja ključnu strategiju za modernizaciju i optimizaciju elektroenergetske infrastrukture grada. Ova inicijativa ne samo da povećava kapacitet i pouzdanost mreže, već također doprinosi smanjenju energetske gubitaka tijekom prijenosa i distribucije električne energije.

Uvođenjem više naponske razine, transformatorske stanice koje trenutno koriste 10/0,4 kV transformaciju energije postupno se nadograđuju s transformatorima sposobnima za rad na 10(20)/0,4 kV. Ovaj pristup ne samo da povećava efikasnost same mreže, već i pruža dodatne kapacitete potrebne za rastuće potrebe potrošača zbog urbanizacije i industrijalizacije.

Modernizacija transformatorskih stanica također omogućava bolju integraciju obnovljivih izvora energije u distribucijski sustav. Kako gradovi napreduju prema zelenijim i održivijim energetske rješenjima, transformatori visokih kapaciteta pružaju neophodnu infrastrukturu za stabilno prihvaćanje i distribuciju energije generirane iz solarnih, vjetroenergetskih i drugih obnovljivih izvora.

Dodatno, ova nadogradnja potiče i tehničko unapređenje mreže, što uključuje implementaciju naprednijih sustava upravljanja i nadzora koji omogućavaju preciznije praćenje, upravljanje potrošnjom i brže reagiranje na eventualne probleme ili kvarove u mreži. Time se osigurava visoka razina pouzdanosti opskrbe električnom energijom, što je izuzetno važno za sve segmente društva, uključujući domaćinstva, poslovne subjekte i industrijske operacije.

### **2.4. Povećanje kapaciteta i efikasnosti**

Zamjena starih transformatora s novima koji posjeduju naprednije tehničke karakteristike bitna je za optimizaciju kapaciteta i povećanje efikasnosti elektroenergetskog sustava. Novi transformatori

su dizajnirani tako da ostvaruju znatno niže gubitke u radu, što direktno doprinosi smanjenju potrošnje energije i troškova, poboljšavajući pri tom ukupnu energetska učinkovitost.

Osim toga, napredni transformatori su opremljeni boljim sustavima za regulaciju napona, što omogućava preciznije upravljanje napajanjem i pomaže u održavanju stabilnosti mreže čak i pod varirajućim opterećenjima. Ova sposobnost je posebno važna u urbanim i industrijskim područjima gdje fluktuacije u potrošnji energije mogu biti izrazite.

Dodatno, novi transformatori su projektirani da traju duže, čime se smanjuje potreba za čestim zamjenama i održavanjem. Ovo ne samo da snižava troškove povezane s održavanjem i zamjenom opreme, već i smanjuje prekide u opskrbi električnom energijom, što može imati veliki utjecaj na krajnje korisnike, uključujući industrijske objekte, komercijalne subjekte i stanovništvo.

Implementacija novih transformatora također podupire integraciju obnovljivih izvora energije u mrežu, omogućavajući fleksibilnije upravljanje različitim izvorima energije i potičući upotrebu zelene energije. Kroz ove nadogradnje, elektroenergetski sustav postaje ne samo efikasniji već i ekološki prihvatljiviji, čime se doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova.

## **2.5. Implementacija naprednih tehnologija**

Implementacija naprednih tehnologija poput PLC ("Power Line Communication") i sustava za daljinsku komunikaciju važni su elementi u modernizaciji transformatorskih stanica. Ove tehnologije ne samo da omogućavaju bolje upravljanje elektroenergetskim sustavom, već i doprinose znatnom smanjenju operativnih troškova i povećanju efikasnosti.

Daljinsko upravljanje i očitavanje omogućuju operatorima sustava da brzo identificiraju i rješavaju probleme, detektiraju neovlaštene priključke ili potencijalne krađe energije. Ova sposobnost dovodi do brže i preciznije intervencije u slučaju kvarova, što minimizira prekide u opskrbi električnom energijom i osigurava kontinuiranu dostupnost energije potrošačima.

Nadalje, napredne tehnologije omogućavaju bolju integraciju obnovljivih izvora energije u mrežu, optimizirajući upravljanje distribucijskim sustavom i omogućavajući fleksibilnije reagiranje na promjene u potražnji i proizvodnji energije. PLC tehnologija, koristeći postojeću infrastrukturu mreže za komunikaciju, smanjuje potrebu za novim žičanim vezama, čime se dodatno štedi na troškovima i smanjuje utjecaj na okoliš.

Uvođenje automatskih sustava za daljinsko očitavanje i upravljanje također omogućava točnije mjerenje potrošnje električne energije i bolju analizu podataka.

Konačno, modernizacija transformatorskih stanica s naprednom tehnologijom podiže ukupnu sigurnost sustava. Integracijom sustava za nadzor i upravljanje, operateri mogu proaktivno upravljati održavanjem infrastrukture, predviđati potencijalne probleme prije nego što dovedu do većih kvarova i brzo reagirati na bilo kakve sigurnosne prijetnje. Ove mjere ne samo da štite fizičku infrastrukturu, već i osiguravaju zaštitu podataka i privatnosti korisnika, čime se elektroenergetski sustav čini pouzdanijim i otpornijim na vanjske izazove.

## **2.6. Povećanje sigurnosti**

Revitalizacijom opreme i uvođenjem suvremenih sustava zaštite i upravljanja znatno se povećava sigurnost u transformatorskim stanicama. Napredni sustavi zaštite su dizajnirani da brzo detektiraju i reagiraju na kvarove, automatski prekidajući napajanje u kritičnim situacijama kako bi se spriječili električni udari, požari ili drugi potencijalno opasni incidenti.

Integracija novih tehnologija u sustave zaštite omogućava detaljnu dijagnostiku i nadzor stanja opreme u realnom vremenu. To uključuje kontinuirano praćenje strujnih opterećenja, temperatura, i drugih kritičnih parametara koji mogu ukazivati na razvijanje problema prije nego što dođe do ozbiljnih kvarova ili havarije.

Pored toga, modernizacija opreme obično uključuje i unaprjeđenje sustava uzemljenja. Novi sustavi uzemljenja smanjuju opasnost od elektrostatskih ispuštanja i osiguravaju bolju zaštitu od strujnih udara, čime se dodatno štite i operateri i oprema unutar transformatorske stanice. Također, poboljšanja u dizajnu i materijalima koriste se za smanjenje rizika od požara, s obzirom na to da su novi materijali otporniji na visoke temperature i plamen.

Uvođenje pametnih sustava koji mogu automatski izolirati oštećene dijelove mreže bez ljudske intervencije značajno povećava sigurnost, jer omogućava brzo reagiranje na incidente i minimizira štetu na opremi i okolini. Također, ovi sustavi omogućavaju daljinsko upravljanje i nadzor, što znači da osoblje može upravljati opremom sigurno iz kontrolne sobe bez neposrednog izlaganja rizicima na terenu.

## 2.7. Usklađenost sa standardima i regulativama

Elektroenergetski sustavi su temelj modernog društva i industrije, stoga je od iznimne važnosti da se strogo pridržavaju najnovijih standarda i regulativa. Ove regulative se redovito obnavljaju kako bi se prilagodile novim tehnološkim dostignućima i povećanim zahtjevima za sigurnost i pouzdanost sustava.

Transformatorske stanice, kao ključne komponente elektroenergetske mreže, moraju zadovoljavati sve relevantne nacionalne i međunarodne standarde. Ovi standardi obuhvaćaju sve od tehničkih specifikacija, preko operativnih procedura do mjera sigurnosti. Međunarodne organizacije kao što su Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC – "International Electrotechnical Commission") i Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (IEEE – "Institute of Electrical and Electronics Engineers") postavljaju rigorozne smjernice koje definiraju kako se trebaju instalirati, konfigurirati i održavati komponente transformatorskih stanica.

Modernizacijom opreme u transformatorskim stanicama ne samo da se povećava efikasnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava, već se osigurava i usklađenost s najnovijim sigurnosnim i operativnim standardima. Pridržavajući se regulativa, izbjegavaju se potencijalne kazne zbog nepoštovanja propisa, te se ujedno i osigurava da su operacije unutar transformatorskih stanica sigurne i učinkovite.

Zamjena zastarjele tehnologije novim, tehnološki naprednim rješenjima također smanjuje rizik od zastoja i kvarova, što je od kritične važnosti za održavanje stabilnog opskrbnog lanca električne energije. To ne samo da pomaže u osiguranju neometanog poslovanja i života korisnika koji ovise o stabilnoj opskrbi električnom energijom, već također pomaže u zaštiti okoliša smanjenjem energetske gubitaka i optimizacijom potrošnje električne energije.

Na kraju, pravilno održavanje i redovito obnavljanje opreme u skladu s najnovijim standardima i regulativama jača opće povjerenje u elektroenergetski sustav. To ne samo da umanjuje rizik od pravnih i regulatornih problema, već također postavlja temelje za buduće širenje i integraciju obnovljivih izvora energije u mrežu, čime se dodatno doprinosi održivosti i pouzdanosti globalnog elektroenergetskog sustava.

### **3. OSNOVNE KOMPONENTE TRANSFORMATORSKE STANICE**

Transformatorska stanica je jedan od ključnih dijelova u distribucijskom sustavu električne energije, čija je primarna svrha pretvorba električne energije iz jedne naponske razine u drugu naponsku razinu. Kroz ovaj proces omogućuje se siguran, pouzdan i efikasan prijenos električne energije do krajnjih korisnika, koji mogu biti domaćinstva, industrijski objekti ili poslovni prostori.

Svaka transformatorska stanica sastoji se od nekoliko ključnih komponenti: transformatora, srednje i niskonaponskog postrojenja, te betonskog kućišta koje štiti vitalne dijelove od vanjskih utjecaja. Transformator kao središnji dio stanice omogućava promjenu naponske razine električne energije, te njezinu prilagodbu potrebama korisnika. Sredjenaponsko postrojenje služi za distribuciju energije na srednje naponima, dok niskonaponsko postrojenje upravlja distribucijom na niske naponima, čime se završava proces dostave energije do krajnjeg korisnika.

Važno je naglasiti ulogu betonskog kućišta koje pruža mehaničku zaštitu svih komponenti stanice od atmosferskih utjecaja, kao što su kiša, snijeg ili ekstremne temperature, što je posebno bitno u područjima s oštrim klimatskim uvjetima.

U svjetlu stalnog tehnološkog napretka i sve većih zahtjeva za pouzdanošću i efikasnošću, transformatorske stanice podliježu kontinuiranim procesima modernizacije. Zamjena zastarjele opreme modernijom ne samo da doprinosi povećanju efikasnosti i smanjenju gubitaka energije u distribuciji, već također osigurava veću sigurnost i manji rizik od kvarova ili havarija. Modernizacija uključuje uvođenje naprednih tehnologija za nadzor i upravljanje, poput daljinskog monitoringa i automatiziranog upravljanja, što dodatno povećava sposobnost brzog reagiranja na eventualne probleme u mreži.

Također, održavanje i nadogradnja transformatorskih stanica ključni su za osiguranje usklađenosti s najnovijim sigurnosnim standardima i regulativama, čime se štiti ne samo infrastruktura, već i zdravlje i sigurnost korisnika. Stoga je bitno da se vode redoviti pregledi, testiranja i održavanja svih komponenti, kako bi se izbjegli neželjeni prekidi u opskrbi električnom energijom i osigurala nesmetana i pouzdana distribucija energije u svim uvjetima.



### 3.1. Transformatori u transformatorskim stanicama

Transformator je elektroenergetski uređaj koji omogućava prijenos električne energije između dva električna strujna kruga s pomoću elektromagnetske indukcije i ono je "srce" svake transformatorske stanice.

Transformatori se sastoje od primarnog i sekundarnog namota koji su međusobno izolirani, ali su povezani preko zajedničke magnetske jezgre. Primarni namot je priključen na električnu energiju i stvara magnetsko polje u jezgri koje inducira napon u sekundarnom namotu, omogućavajući tako prijenos energije.

Osnovna funkcija transformatora je da vrši promjenu napona i struje električne energije između različitih naponskih razina, čime se omogućava pouzdan i efikasan prijenos i distribucija električne energije. U elektroenergetskom sustavu, transformatori se koriste za:

1. Povišenje napona – povećanje naponske razine za prijenos električne energije na velike udaljenosti, čime se smanjuju gubici energije
2. Snižavanje napona – smanjenje naponske razine za distribuciju električne energije do krajnjih korisnika
3. Izolacija – pruža izolaciju između različitih dijelova sustava kako bi se povećala sigurnost i zaštita od električnih udara
4. Prilagodba napona – prilagođavanje napona različitim potrebama potrošača.

Razlikujemo više različitih kriterija prema kojima se klasificiraju vrste transformatora, a to su:

1. Prema broju faza:
  - a. jednofazni transformatori
  - b. trofazni transformatori
2. Prema stupnju izolacije i ugradnje:
  - a. transformatori za unutarnju montažu
  - b. transformatori za vanjsku montažu
3. Prema konstrukciji jezgre:
  - a. transformatori s jezgrom od laminiranih čeličnih ploča
  - b. toroidni transformatori
4. Prema funkciji:
  - a. energetske transformatori
  - b. distribucijski transformatori

- c. mjerni transformatori (strujni i naponski transformatori)
- d. specijalni transformatori (npr. autotransformatori)

### 3.1.1. Energetski transformatori

Transformatori u transformatorskim stanicama TS 10(20)/0,4 kV služe za pretvaranje srednjeg napona 10 kV ili 20 kV na niskonaponsku razinu 0,4 kV koja je prikladna za distribuciju do krajnjih korisnika. Ujedno, kada se vrši revitalizacija postojeće transformatorske stanice zbog zastarjelosti opreme, odnosno kada je potrebna zamjena transformatora, mijenja se uglavnom s novim i naprednijim uglavnom istih karakteristika. To su prema funkciji, energetski transformatori koji su dizajnirani za pretvorbu električne energije između različitih naponskih razina, te je potrebna njihova zamjena zbog dotrajalosti s čime se umanjuje stabilnost i pouzdanost sustava.



*Slika 3.1. Zastarjeli energetski transformatori koje je potrebno zamijeniti*

Glavna funkcija energetskih transformatora je povećanje ("step-up") ili smanjenje ("step-down") električnog napona u elektroenergetskim mrežama kako bi omogućili pouzdan i efikasan prijenos i distribuciju električne energije proizvodnih postrojenja do krajnjih potrošača. Noviji transformatori imaju smanjene gubitke, odnosno omogućuju transformaciju uz minimalne gubitke

energije kroz proces elektromagnetske indukcije, koristeći namote primarnog i sekundarnog namotaja oko magnetske jezgre.

Više je razloga zašto se koriste energetske transformatori u transformatorskim stanicama TS 10(20)/0,4 kV, a to su:

1. Prilagodba napona za distribuciju
2. Efikasnost i pouzdanost
3. Prilagodljivost i regulacija
4. Sigurnost i zaštita
5. Standardizacija i usklađenost s regulativama.

Kako bi se prilagodio napon za distribuciju u transformatorskim stanicama kao što su TS 10(20)/0,4 kV, koriste se energetske transformatori koji smanjuju visoki napon 10 kV ili 20 kV na niži napon od 0,4 kV koji je prikladan za lokalnu distribuciju električne energije do kućanstva, industrijskih objekata i drugih korisnika. Ova vrsta transformacije je ključna za sigurnost i efikasnost, jer niži naponi smanjuju rizik od oštećenja električnih uređaja kod krajnjih korisnika.

Efikasnost i pouzdanost se postiže upotrebom novijih, odnosno modernijih energetskih transformatora, poput onih koje proizvode tvrtka Končar. Oni su napravljeni za rad s visokom efikasnošću i smanjenim gubitcima energije. Koristeći najnovije materijale i tehnologije, ovi transformatori pomažu u smanjenju operativnih troškova elektroenergetske mreže i podržavaju održivost sustava.

Nadalje, energetske transformatori su značajni zbog svoje prilagodljivosti i regulaciji, te su pogodni za korištenje u transformatorskim stanicama TS 10(20)/0,4 kV, jer su opremljeni za ručnu regulaciju napona, čime se omogućava operaterima da fino prilagode izlazni napon prema trenutnim potrebama mreže. Ovo je jedna od bitnih karakteristika energetskih transformatora i osobito važna u područjima gdje postoje varijacije u potrošnji električne energije koje mogu utjecati na stabilnost mreže.

Osim osnovnih funkcija, bitna stavka energetskih transformatora su zaštita i sigurnost. Noviji energetske transformatori su opremljeni s dodatnim sigurnosnim značajkama kao što su sigurnosni ventili za ulje i otvori za nalijevanje ulja, te termoprotektor za zaštitu od pregrijavanja. Ove značajke osiguravaju duži vijek trajanja transformatora i smanjuju rizik od kvarova ili velikih havarija.

Energetski transformatori su izrađeni u skladu s međunarodnim i nacionalnim normama (HRN EN 50180, HRN EN 60076), osiguravajući njihovu pouzdanost, sigurnost i performanse, što je temeljno za usklađenost s pravilima elektroenergetske industrije. Time se postiže standardizacija i usklađenost sa zadanim regulativama.



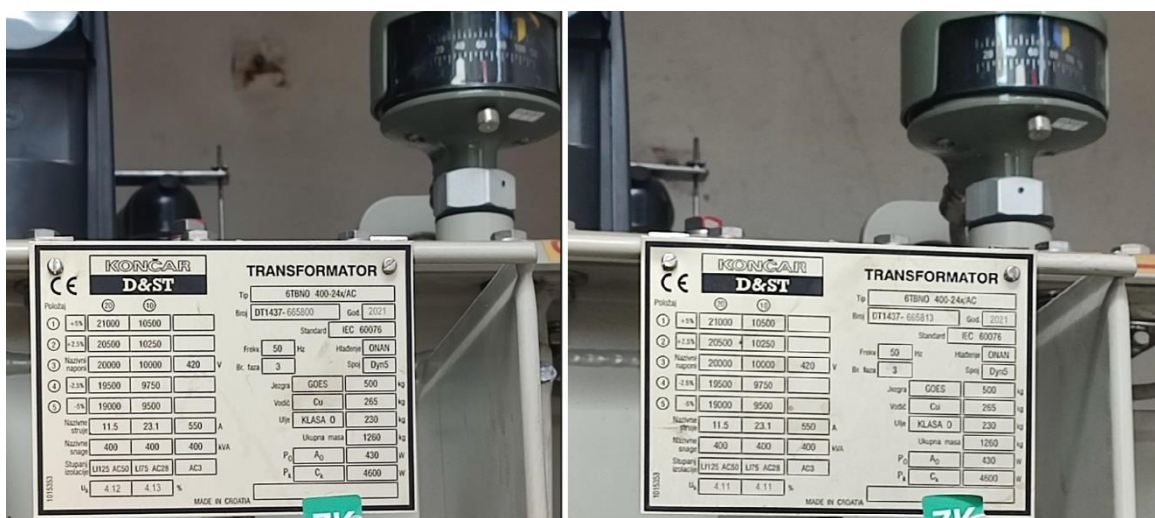
*Slika 3.2. Novo ugrađeni transformatori s moderniziranom tehnologijom*

Kako bi se odabrao energetski transformator kojim se može zamijeniti zastarjeli transformator u transformatorskim stanicama TS 10(20)/0,4 kV, potrebno je razmatrati bitne specifikacije energetskih transformatora koje se uzimaju u obzir za ispravan odabir kako bi se omogućio prikladan energetski transformator za distribuciju električne energije do krajnjih korisnika.

To su specifikacije koje se odnose na:

1. Nazivni napon – primarni napon može biti 10 kV ili 20 kV, dok je sekundarni napon standardno 0,4 kV

2. Nazivnu snagu – označava maksimalnu snagu koju transformator može prenijeti i mjeri se u kilovolt-amperima (kVA); transformatori u navedenim trafostanicama imaju snagu od 100 kVA pa do nekoliko MVA
3. Razinu izolacije – označava sposobnost transformatora da izdrži prenapone bez kvarova; specifikacija uključuje razinu izdržljivosti prema impulsnom i frekventnom naponu
4. Gubitke – gubitci se dijele na gubitke u praznom hodu (ovisni o magnetskoj jezgri) i gubitke pod opterećenjem (ovisni o otporu namota); manji gubici znače efikasniji rad transformatora
5. Vrstu hlađenja – transformatori mogu biti uljni koji koriste transformatorsko ulje za hlađenje i izolaciju ili mogu biti suhi gdje koriste zrak ili specijalne materijale za hlađenje
6. Regulaciju napona – mnogi transformatori imaju opciju regulacije napona, što omogućava prilagodbu sekundarnog napona promjenjivim uvjetima opterećenja
7. Spojna shema – transformatori u transformatorskim stanicama TS 10(20)/0,4 kV često koriste spojne sheme kao što su zvijezda-zvijezda (Y-Y), zvijezda-trokut (Y- $\Delta$ ) ili trokut-zvijezda ( $\Delta$ -Y) za različite primjene i stabilnost sustava.



3.3. Natpisne pločice novo ugrađenih transformatora

### 3.2. Srednjenaponsko postrojenje transformatorske stanice

Srednjenaponsko postrojenje transformatorske stanice je važan segment u elektroenergetskom sustavu koji služi za prijem, distribuciju i regulaciju električne energije na srednjim naponskim razinama, tipično između 1 kV i 35 kV.

Srednjenaponsko postrojenje omogućava kontrolirani prijenos električne energije između transformatorskih polja i krajnjih korisnika ili drugih dijelova elektroenergetske mreže, optimizirajući protok energije i osiguravajući stabilnost mreže.

Srednjenaponsko postrojenje se obično sastoji od:

- Sabirnica:
  - pružaju glavnu distribucijsku točku za energiju unutar postrojenja, povezujući različite izvore i opterećenja, odnosno služe za raspodjelu električne energije unutar postrojenja
- Prekidača i rastavljača:
  - to su sklopni aparati koji se koriste za kontrolu i zaštitu mreže, te omogućuju selektivno spajanje ili isključivanje dijelova elektroenergetske mreže za potrebe održavanja dijelova elektroenergetske mreže ili u slučaju kvara na elektroenergetskoj mreži
- Zaštitne opreme:
  - uključuje razne releje za zaštitu od preopterećenja, kratkih spojeva i zemljospojnih struja, te se smatraju bitnim za očuvanje integriteta elektroenergetske mreže
- Mjerni transformatori:
  - omogućuju točno i ispravno mjerenje struje i napona u mreži, ključni za nadzor i upravljanje energetske sustavom
- Upravljački sustav:
  - koriste se analogni ili digitalni sustavi koji omogućuju lokalno ili daljinsko upravljanje funkcijama postrojenja, osiguravajući sigurnost i optimalan rad mreže.



*Slika 3.4. Izgled srednjenaponskog sklopnog postrojenja koje je potrebno zamijeniti zbog zastarjelosti opreme*

Novija tehnologija je omogućila da se u srednjenaponskom postrojenju transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV koje imaju zastarjelu opremu, zamjene s novim srednjenaponskim blokom koji je izveden kao kompaktni sklopni blok. Sklopni blok je poznat još po nazivu Ring Main Unit (RMU).

Srednjenaponski blok je okarakteriziran s visokim stupnjem integracije, sljedećih specifikacija:

1. Konstrukcija:

- u novijim ili obnovljenim transformatorskim stanicama srednjenaponsko postrojenje izvedeno je kao kompaktni sklopni blok izoliran s plinom SF<sub>6</sub>, poznat pod nazivom Ring Main Unit (RMU)
- ova vrsta postrojenja je potpuno oklopljena i dizajnirana da bude zaštićena od slučajnog dodira s dijelovima pod naponom, što je čini izuzetno sigurnom za rad u urbanim i gustim područjima, te smanjuje rizik za radnike koji moraju vršiti održavanje postrojenja

## 2. Izolacija SF6:

- RMU koristi sumpor heksafluorid SF6 plin za izolaciju i lomljenje luka, što osigurava izvrsnu izolacijsku sposobnost i vrlo malu potrebu za održavanjem
- SF6 plin je izuzetno potentan izolacijski medij, a njegovom upotrebom se pomaže smanjiti fizičke dimenzije uređaja

## 3. Sigurnost i pouzdanost:

- RMU postrojenja su visoko pouzdana s minimalnom potrebom za održavanjem, osim redovitih inspekcija za provjeru funkcionalnosti i otkrivanje mogućih nepravilnosti
- zbog svoje konstrukcije i izolacijskih karakteristika (SF6 plin), RMU je idealno za primjenu u sredjenaponskim distribucijskim mrežama

## 4. Modularni dizajn:

- omogućava fleksibilnost u konfiguraciji, s mogućnošću dodavanja novih modula za vodna polja ili transformatorska polja bez potrebe za značajnim prepravkama postrojenja

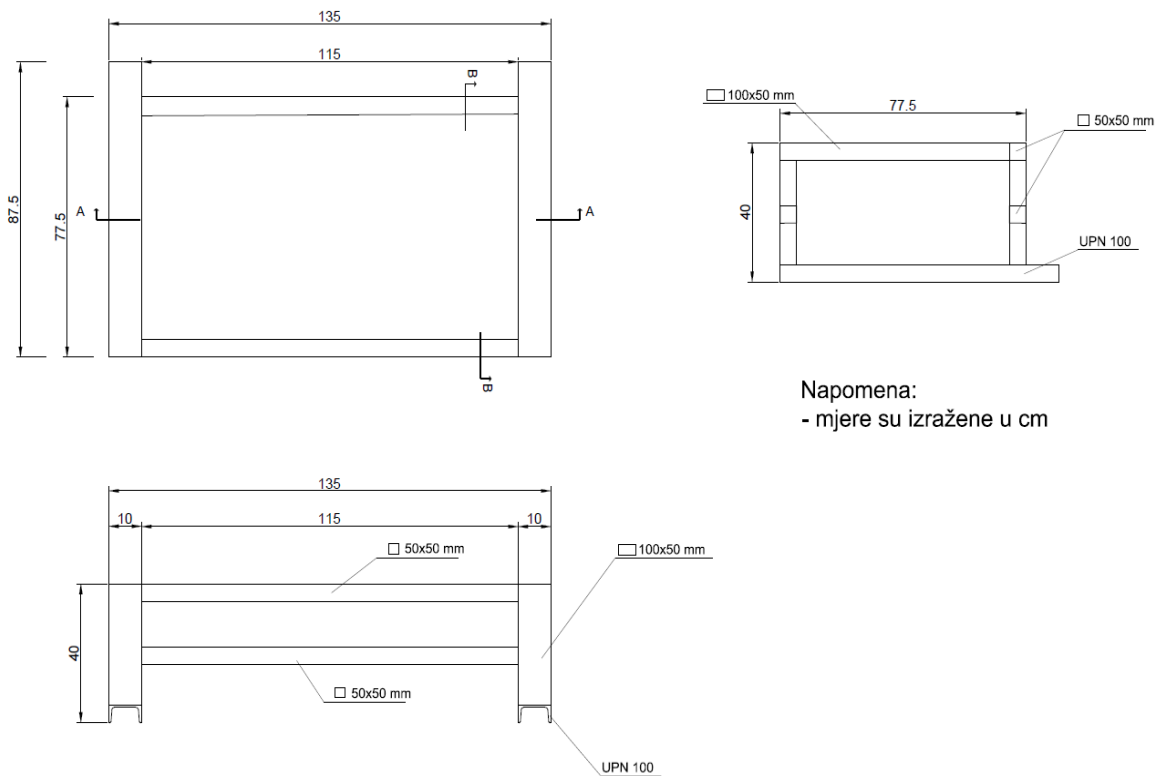
## 5. Automatizacija i nadzor:

- upravljanje postrojenjem može biti ručno s pomoću poluge za sklapanje i tipkala na prednjoj strani, čime se prekidači i rastavljači napinju i upravljaju iz sigurnosnih razloga bez izravnog kontakta s električnim dijelovima smanjujući rizik od električnih udara
- upravljanje može biti daljinsko ako je postrojenje s integriranim sustavima za daljinsko upravljanje i dijagnostiku, gdje RMU jedinice pružaju napredne mogućnosti za automatizaciju i stalan nadzor stanja mreže, što doprinosi brzom otkrivanju i rješavanju problema

## 6. Jednostavnost instalacije:

- RMU blok se na gradilište dostavlja potpuno opremljen, postavlja se na unaprijed pripremljene temelje ili podesta i povezuje s vanjskim kabelskim ulazima
- sklopni blok se pričvršćuje s pomoću vijčanih spojeva, a svi kabeli se uvode odozdo iz kabelskog kanala.





Napomena:  
- mjere su izražene u cm

*Slika 3.5. Skica postolja srednjenaponskog postrojenja*

Sa stajališta implementacije i operativnih aspekata, instalacija RMU u blok se isporučuje kao kompletno sastavljena jedinica, što znatno skraćuje vrijeme potrebno za montažu i integraciju u postojeću infrastrukturu. Jednom kada je blok postavljen i pričvršćen, povezuje se s vanjskim kabelima kroz posebno dizajnirane ulaze koji omogućuju laku instalaciju i održavanje.

Sustav je dizajniran s naglaskom na sigurnost, uključujući mehaničke blokade i kontrolne mehanizme koji sprečavaju pogrešnu manipulaciju i osiguravaju operativnu pouzdanost. Također, RMU jedinice su opremljene s visokokvalitetnim komponentama koje zadovoljavaju sve relevantne međunarodne i nacionalne standarde, uključujući HRN EN 62271-1 za srednjenaponska sklopna postrojenja.

Upotrebom novijih i naprednijih tehnologija kao što je RMU u srednjenaponskim postrojenjima u transformatorskim stanicama TS 10(20)/0,4 kV predstavlja moderno, sigurno i efikasno rješenje za distribuciju električne energije, osiguravajući stabilnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava na srednjenaponskoj razini.



Slika 3.6. Izgled novog SN bloka



Slika 3.7. Natpisna pločica sa specifikacijama novog SN bloka

### 3.3. Niskonaponsko postrojenje transformatorske stanice

Niskonaponsko postrojenje u transformatorskoj stanici ima važnu ulogu u distribuciji električne energije na naponima ispod 1 kV, što ga čini završnim segmentom u lancu opskrbe električnom energijom.

Niski napon se odnosi na napon koji se tipično koristi u stambenim, komercijalnim i industrijskim objektima za krajnju potrošnju. Niskonaponsko postrojenje osigurava da električna energija proizvedena na višim naponima sigurno i efikasno bude prenesena do krajnjih korisnika.

Niskonaponsko postrojenje se obično sastoji od sljedećih komponenti:

1. Niskonaponske sabirnice:
  - glavni distribucijski vodiči koji povezuju izlaze iz transformatora sa svim niskonaponskim izlazima transformatorske stanice
  - u niskonaponskom postrojenju sabirnice su napravljene da podnesu velike struje
2. Prekidači i rastavljači:
  - ove komponente omogućuju kontrolu protoka električne energije, te omogućuju izolaciju određenih dijelova sustava za sigurno održavanje ili u slučaju kvara
  - specifično za niskonaponsko postrojenje, često su dimenzionirani da mogu podnijeti velike struje s relativno niskim naponskim zahtjevima
3. Osigurači:
  - važna komponenta za zaštitu postrojenja i priključene opreme od preopterećenja i kratkih spojeva
  - u niskonaponskom postrojenju koriste se visokoučinkoviti osigurači koji mogu brzo prekinuti strujni krug u slučaju kvara ili nekih anomalija
4. Mjerne i zaštitne komponente:
  - uključuje mjerne instrumente poput ampermetara i voltmetara koji nadgledaju opterećenje i napon u realnom vremenu, te zaštitne releje koji reagiraju na prekomjerne struje i napone
5. Upravljački sustavi:
  - opremljeni su sučeljima za ljudske operatere ili automatizirane sustave koji mogu nadgledati i upravljati funkcijama postrojenja.

Nadalje, u nastavku su napisane bitne stavke koje se odnose na izvedbu niskonaponskog postrojenja u transformatorskim stanicama 10(20)/0,4 kV:

#### 1. Kompaktni sklopni blok:

- niskonaponski blok izrađen je u formi kompaktnog sklopnog bloka, obično izoliranog zrakom, što pruža dobru ventilaciju i smanjuje rizik od pregrijavanja
- blok je samostojeći i montira se direktno na pod prostorije, pritom koristeći pričvrstne elemente za stabilnost sklopnog bloka

#### 2. Materijal i zaštita:

- niskonaponski sklopni blok izrađen je od čeličnog lima debljine 1,5 do 2,5 mm, zaštićen plastificiranjem za otpornost na koroziju i mehanička oštećenja, što pruža dugotrajnost i pouzdanost u radu

#### 3. Konfiguracija bloka:

- niskonaponski sklopni blok uključuje dovodno polje smješteno na vrhu, koje je opremljeno osnovnim upravljačkim i mjernim uređajima, te uključuje brojna odvodna polja za distribuciju električne energije prema potrošačima
- polja su opremljena osiguračima i rastavljačima koji omogućuju lako održavanje i zamjenu u slučaju potrebe

#### 4. Sigurnosne značajke:

- uključuje različite sigurnosne mehanizme kao što su kratkospojnici za uzemljenje i zaštitni uzemljenja, te visokoučinkoviti osigurači koji pružaju zaštitu u slučaju preopterećenja ili električnih kvarova

#### 5. Norme i regulative:

- svi elementi niskonaponskog postrojenja trebaju biti dizajnirani i izvedeni u skladu s važećim međunarodnim i nacionalnim normama (HRN EN 61439-1, IEC 61439-1), što osigurava njihovu pouzdanost, sigurnost i kompatibilnost sa standardima elektroindustrije.

Sa stajališta instalacije i operativne izvedbe niskonaponskog bloka, ono se postavlja na posebno pripremljenu podlogu unutar transformatorske stanice, a svi kabeli i veze su pažljivo dizajnirani da omogućuju laku dostupnost za održavanje. Niskonaponski sklopni blok je opremljen sustavom za brzo spajanje i odspajanje, što omogućava brze intervencije bez potrebe za dugotrajnim radovima. Kompletna konfiguracija postrojenja omogućava optimizaciju prostora i efikasnost u raspodjeli električne energije, smanjujući ukupne troškove operacija i održavanja.

Uz sredjenaponsko postrojenje, niskonaponsko postrojenje predstavlja važnu komponentu transformatorske stanice osiguravajući pouzdanu, sigurnu i efikasnu distribuciju električne energije, posebno dizajnirano da zadovolji tehničke i operativne zahtjeve modernih elektroenergetskih sustava.



*Slika 3.8. Prikaz otvorenog tipa NN sklopnog bloka s ručnom sklopkom*



*Slika 3.9. Prikaz novijeg NN sklopnog bloka – kompaktni oblik [3]*

### **3.4. Konstrukcija transformatorske stanice**

Konstrukcija transformatorske stanice, odnosno betonsko kućište predstavlja infrastrukturni element u distribucijskom sustavu električne energije, osmišljen da smjesti transformatorsku opremu za transformaciju i distribuciju električne energije iz srednjenaponske u niskonaponsku mrežu.

Kao slobodnostojeća građevina, transformatorska stanica je dizajnirana da udovolji tehničkim i operativnim zahtjevima elektroenergetskog sustava, pružajući sigurno i efikasno okruženje za smještaj vitalne opreme.

U nastavku je opisano kakve konstrukcije treba biti transformatorska stanica i od kojeg materijala treba biti sačinjena:

1. Armiranobetonsko montažno kućište:

- glavni materijal korišten za izgradnju transformatorske stanice je armirani beton, ojačan čeličnom armaturom
- kućište je montažno, što znači da su svi elementi kao što su zidovi, podna ploča, krov i temeljna kada, predgotovljeni i spajaju se na licu mjesta ili se sklapaju kao kompaktna cjelina u tvornici prije transporta na određenu lokaciju

2. Temeljna kada i zidovi:

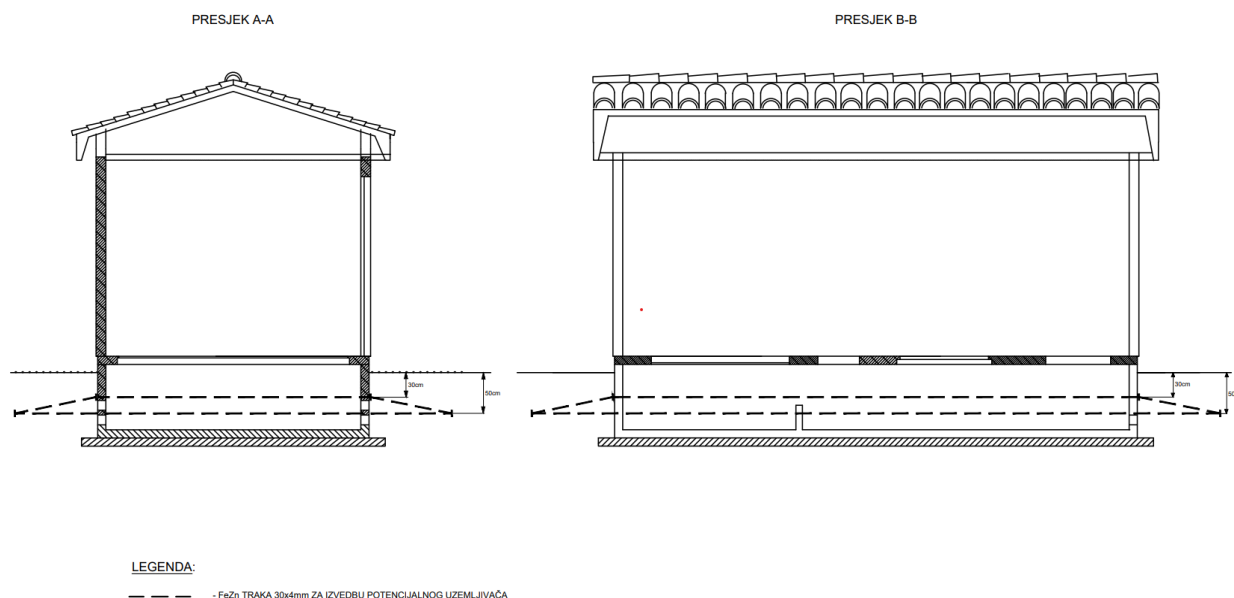
- temeljna kada služi kao osnovni temelj i kao zaštitna barijera za prihvatanje ispušnog ulja iz transformatora; odvojena je od ostatka armiranobetonskim zidom i izrađena je tako da osigurava vodonepropusnost i izdržljivost
- zidovi transformatorske stanice su također armiranobetonski, debljine 8 cm, s vanjskim ploham zaštićenim plastificiranim slojem i unutarnjim ploham obojenim bijelom disperzivnom bojom

3. Krovna konstrukcija:

- krov je izrađen od armiranog betona s promjenjivom debljinom od 6 do 11 cm, što omogućava odvodnju vode s krova
- krovna ploča je premazana hidroizolacijskim premazom u dva sloja kako bi se osigurala potpuna vodonepropusnost

4. Posebna oprema:

- uvođenje kabela u građevinu realizirano je preko vodonepropusnih uvodnica, što omogućuje sigurno i efikasno spajanje vanjskih kabela s unutarnjom opremom
- uvodnice su tvornički zabrtvljene i opremljene mehanizmima za lako otključavanje i pristup



*Slika 3.10. Izgled konstrukcije transformatorske stanice*

Što se tiče izvedbe i montaže, transformatorska stanica projektirana je s ciljem efikasne i brze montaže. Predgotovljeni elementi omogućuju brzu izgradnju na licu mjesta s minimalnim građevinskim radovima, što značajno skraćuje vrijeme potrebno za postavljanje i puštanje stanice u rad. Galvanska povezanost svih metalnih dijelova osigurana je putem varenja i poluge za izjednačavanje potencijala, čime se poboljšava strukturna integritet i elektromagnetska kompatibilnost cijele transformatorske stanice.

Bitno je posvetiti pažnju vodonepropusnosti i zaštiti transformatorske stanice, odnosno vodonepropusnosti krova i temeljne kade. Ove komponente se pojedinačno testiraju kako bi se osiguralo da ne dolazi do prodiranja vode ili drugih tekućina u unutrašnjost transformatorske stanice. Ova zaštita je važna za održavanje suhog i sigurnog okruženja za električnu opremu, posebno u područjima s mogućim ekstremnim vremenskim uvjetima.





*Slika 3.11. Vanjski izgled starije transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV s ravnim krovom*



*Slika 3.12. Vanjski izgled nove i modernije transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV*

## 4. UKLJUČIVANJE U SUSTAV DALJINSKOG VOĐENJA

U suvremenom upravljanju elektroenergetskim mrežama, automatizacija i daljinsko vođenje transformatorskih stanica uključuje daljinsko upravljanje i nadzor nad transformatorskim stanicama i rastavnim sklopkama.

Glavni cilj integracije transformatorskih stanica u sustav daljinskog vođenja jest omogućiti daljinsko upravljanje sklopkama i drugom opremom, čime se značajno skraćuje vrijeme potrebno za detekciju i lokalizaciju kvarova. Ovo vrstom modernizacije direktno se doprinosi smanjenju radova na terenu i redukciji neisporučene električne energije, što rezultira boljom uslugom za krajnje korisnike i manje gubitaka električne energije.

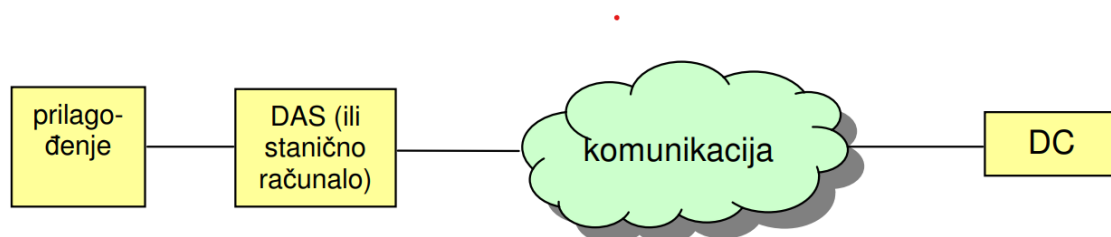
Na području distribucijskog pogona Elektroprimorja Rijeka, 2001. godine je započeto postupno uključivanje transformatorskih stanica u postojeći sustav daljinskog upravljanja. Korištenje naprednih daljinskih stanica, omogućeno je efikasno upravljanje i nadzor nad stanjem elektroenergetske mreže. Ujedno, 2006. godine su se počele uvoditi dodatne daljinske stanice i tehnologija za SCADA sustave kako bi se proširili kapaciteti za upravljanje i integraciju u šire mrežne operacije.

Da bi automatizacijski sustav radio neometano, potrebno je da sadrži bitne elemente kao što su:

1. Sklopni blokovi s elektromotornim pogonima:
  - omogućavaju automatizirano upravljanje sklopkama unutar mreže, što uključuje rastavljanje i spajanje dijelova mreže bez potrebe za fizičkim odlaskom na lokaciju
2. Daljinske stanice:
  - postavljene na strateškim točkama unutar elektroenergetske mreže, daljinske stanice služe kao središta za prikupljanje i obradu podataka, te za izvršavanje upravljačkih komandi dobivenih iz nadređenih SCADA sustava
3. Indikatori kvara:
  - uređaji koji pružaju trenutačne informacije o statusu elektroenergetske mreže, omogućujući brzu reakciju na anomalije i kvarove, što je ključno za održavanje neprekidnosti napajanja
4. Sustav komunikacije:
  - temelji se na radio-vezama koje koriste postojeće govorne 2-metarske kanale, te ova metoda omogućuje pouzdano i kontinuirano komuniciranje unutar elektroenergetske mreže

## 5. SCADA sustav:

- sustav za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka (SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition) su "srce" sustava automatizacije, pružajući centralizirano sučelje kroz koje operateri mogu nadzirati i upravljati cjelokupnom mrežom.



*Slika 4.1. Struktura opreme u daljinskom vođenju sustava*

### 4.1. Oprema u transformatorskoj stanici za daljinsku komunikaciju

Transformatorske stanice je potrebno opremiti nizom specijaliziranih uređaja koji omogućuju daljinsko upravljanje i komunikaciju, što znatno poboljšava operativnu sigurnost i učinkovitost.

Da bi se omogućilo daljinska komunikacija potrebno je uvesti daljinsku stanicu - RTU ("Remote Terminal Unit"), koja predstavlja "srce" daljinskog upravljanja transformatorskim stanicama. Opremljene su komunikacijskim protokolima kao što su ADLP-80 (SINDAC) i IEC60870-5 (IEC101 i IEC104), koji omogućuju komunikaciju s centralnim SCADA sustavom. Uloga daljinskih stanica je da prikupljaju podatke o sklopnim blokovima, indikatorima stanja i mjernih uređaja, te da te prikupljene podatke šalju nadređenim kontrolnim sustavima na daljnju obradu.

No, uz daljinsku stanicu, da bi se moglo daljinski upravljati transformatorskim stanicama, ugrađuju se sklopni blokovi opremljeni elektromotornim pogonima koji omogućuju njihovo daljinsko upravljanje. To uključuje operacije kao što su uključivanje ili isključivanje napajanja, kontrola nad rastavnim sklopkama i slično, a sve se izvršava na daljinu.

Bitna stavka u opremi daljinskog sustava su indikatori stanja i mjerni pretvornici. U tu opremu spadaju indikatori kvarova i drugi senzorski uređaji koji pružaju informacije o pogonskom stanju unutar transformatorske stanice. Mjerni pretvornici se koriste za transformaciju primarnih vrijednosti napona i struje iz mreže u standardizirane niske vrijednosti (npr. 0-10 V ili 4-20 mA), koje su prikladne za digitalnu obradu i prijenos podataka.

Nadalje, komunikacija između RTU i SCADA sustava temelji se na komunikacijskim protokolima koji osiguravaju pouzdan prijenos podataka, često putem radio-veza kako bi se pokrila geografski raspršena područja. Komunikacijski sustavi moraju biti robusni i pouzdani, često koristeći redundantne kanale za osiguranje neprekidnog nadzora i upravljanja. Ti sustavi ujedno koriste softverska i hardverska sučelja kao što su terminali polja ili stanična računala koja omogućuju lokalno i daljinsko upravljanje putem grafičkih korisničkih sučelja. Takvi uređaji pružaju operaterima lako razumljive vizualne prikaze mrežnih operacija, alarmnih stanja i upravljanje u realnom vremenu.

#### **4.2. Daljinska stanica i stupna daljinska stanica**

Daljinska stanica, poznata i pod nazivom RTU, je važan dio u modernim i naprednijim elektroenergetskim sustavima za daljinsko upravljanje i nadzor nad elektroenergetskim postrojenjima. Ujedno, omogućuje centralizirano nadziranje i kontroliranje rada elektroenergetskih mreža, što uključuje transformatorske stanice, rasklopna postrojenja i druge kritične točke distribucijskog sustava.

Glavna zadaća daljinske stanice je:

1. Prikupljanje podataka:
  - prikupljaju potrebne i vitalne informacije od raznih senzora i mjernih uređaja raspoređenih po postrojenju, uključujući strujna i naponska mjerenja, stanja sklopki i druge operativne parametre
2. Lokalno upravljanje:
  - napredniji modeli daljinskih stanica omogućuju ne samo daljinsko, već i lokalno upravljanje preko ugrađenih tipkala, pružajući dodatnu fleksibilnost operaterima na terenu
3. Komunikacijske funkcije:
  - osim prikupljanja podataka, daljinske stanice služe kao središnje točke za konverziju protokola i komuniciranje s nadređenim SCADA sustavima
  - posjeduje sposobnost iniciranja periodičnog prozivanja za obnavljanje podataka u realnom vremenu
4. Upravljanje događajima:

- ima mogućnost evidencije lokalnih događaja unutar samih transformatorskih stanica, čime povećava njihovu funkcionalnost u dijagnostici i brzom reagiranju na promjene ili kvarove u elektroenergetskoj mreži



*Slika 4.2. Stanica za daljinsko upravljanje*



Slika 4.3. Zaslom upravljačkog signalnog terminala - daljinsko upravljanje

Stupna daljinska stanica predstavlja specijaliziranu verziju RTU-a, prilagođenu za kontrolu i nadzor rastavnih sklopki na električnim stupovima, obično u distribucijskim mrežama visokog napona. Ove stanice integriraju kontrolne funkcije koje su prethodno bile rezervirane za centralne daljinske stanice, što omogućava decentraliziraniju kontrolu i upravljanje.

Funkcionalnost i karakteristika stupne daljinske stanice je:

1. Integrirana kontrola:
  - stupne daljinske stanice su opremljene s integriranim funkcijama za upravljanje rastavnim sklopkama, što uključuje motorni pogon i senzore za mjerenje struje i napona
2. Otpornost na vremenske uvjete:
  - sve komponente su smještene u robusne ormare montirane na stupovima, dizajnirane da izdrže ekstremne klimatske uvjete
3. Komunikacijske sposobnosti:
  - opremljene su naprednim komunikacijskim tehnologijama koje omogućuju upravljanje i nadzor iz centralnog sustava upravljanja.

### 4.3. Periferne i centralne jedinice

U modernim sustavima daljinskog upravljanja transformatorskim stanicama, razlikujemo dvije vrste jedinica, a to su periferne i centralne jedinice. Svaka ima svoje osobine i specifične funkcionalnosti koje omogućuju pouzdano upravljanje, nadzor i komunikaciju unutar elektroenergetskog sustava.

Periferne jedinice su uređaji koji su direktno povezani s terenskom opremom u transformatorskoj stanici i služe za lokalno prikupljanje podataka, lokalnu kontrolu i signalizaciju. One su prva linija u procesu daljinskog upravljanja i igraju važnu ulogu u operativnom nadzoru transformatorskih stanica.

Periferne jedinice se sastoje od:

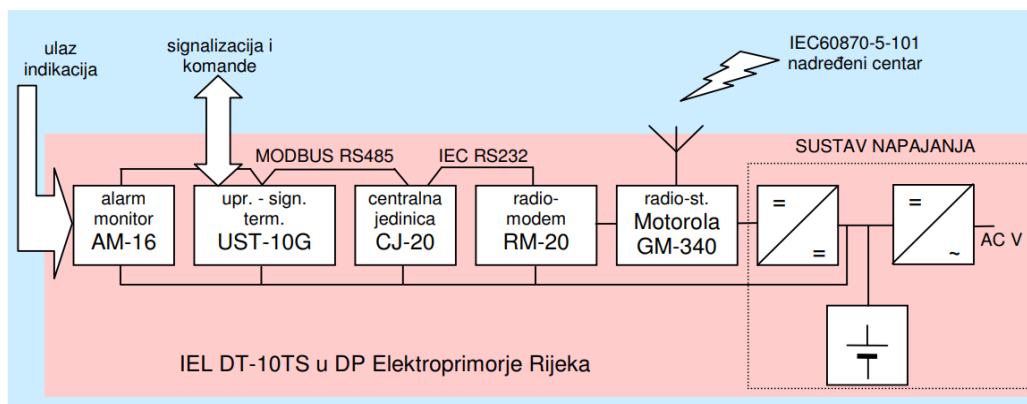
1. UST-10G (Upravljačko-signalni terminal):
  - a. Funkcije – prima uklopna stanja iz različitih polja transformatorske stanice (npr. 4 vodna i trafo-polje) i prikazuje stanja 8 indikacija preko svog zaslona
  - b. Lokalno upravljanje – opremljena sredstvima za lokalno upravljanje sklopnim blokom s prednje ploče uređaja, što omogućava operaterima na terenu da interveniraju bez potrebe za centralnim naredbama
2. AM-16 (Alarmni monitor):
  - a. Funkcije – služi za nadzor i prikaz stanja do 16 različitih kanala preko LED indikatora, koristeći uobičajene alarmne sekvence za upozorenja
  - b. Prilagodba – omogućava grupiranje signala, podešavanje i promjenu sekvence alarmiranja.

Za razliku od perifernih jedinica, centralne jedinice služe kao središnji čvor za prikupljanje i obradu podataka dobivenih od perifernih jedinica, te za upravljanje komunikacijom prema nadređenom SCADA sustavu.

Funkcionalnost centralne jedinice je da:

1. Prikuplja i obrađuje podatke:
  - prikuplja podatke iz perifernih jedinica, obrađuje te podatke i priprema ih za slanje prema centralnom nadzornom sustavu
2. Vršiti konverzaciju protokola:

- ovisno o zahtjevima centralnog sustava, odgovorna je za konverziju komunikacijskih protokola



Slika 4.4. Blok shema korištenih daljinskih stanica

Komunikacija u centralnim jedinicama se odvija u obliku takozvanog "master-slave" odnosa tako da u postavkama gdje centralna jedinica djeluje kao "slave", čeka na upite i zahtjeve od centralnog sustava ("master") i odgovara s ažuriranim informacijama. U nekim konfiguracijama, može i inicirati komunikaciju u slučaju važnih događaja ili promjena stanja. Ujedno, centralna jedinica može raditi u modu periodičnog prozivanja, gdje između dva prozivanja može samo poslati zahtjev za prozivanjem ako to situacija zahtijeva.

#### 4.4. Komunikacija u daljinskom sustavu elektroenergetske mreže

Upravljanje elektroenergetskim sustavima odvija se komunikacijom između objekta i nadređenih kontrolnih sustava kako bi se postigla sigurnost i pouzdanost operacija. Potrebno je koristiti naprednu komunikacijsku infrastrukturu osiguravajući stabilnu vezu između različitih dijelova elektroenergetske mreže, posebno u izoliranim ili teško dostupnim područjima.

Komunikacija se ostvaruje putem postojeće analogne radio-mreže na 2-metarskim frekvencijama, koristeći simplex kanale koji nisu namijenjeni za govorne komunikacije. Ovako uspostavljena mreža omogućuje prijenos podataka koristeći radio-stanice Motorola GM340, koje su pouzdane i prilagođene zahtjevima industrijske upotrebe. No, zbog geografskih i infrastrukturnih ograničenja, neki objekti unutar elektroenergetske mreže nemaju direktnu radio-vezu s nadređenim sustavima. Kako bi se takvi izazovi prevladali, implementiraju se digipitori, odnosno repetitori, koji



omogućuju proširenje doseg komunikacijske mreže. Ovi uređaji rade po principu "store and forward", gdje primaju poruke i ponavljaju ih prema specifičnim adresama objekata unutar elektroenergetske mreže. Ovaj sustav pomaže u održavanju neprekidne i jasne komunikacije čak i u složenim mrežnim topologijama.

Krajnja oprema unutar elektroenergetske mreže napravljena je tako da samostalno upravlja potencijalnim duplikatima poruka koje mogu biti primljene izravno ili preko digipitora. Ova funkcionalnost osigurava da informacije koje stižu u kontrolni sustav budu točne i bez nepotrebnih redundancija, što je važno za brzo reagiranje na incidente, kvarove ili promjene unutar elektroenergetske mreže. Također, svaki digipitor je opremljen indikacijama za samodijagnostiku, uključujući moguće kvarove na napajanju. Ove indikacije se šalju u središnji kontrolni sustav, omogućavajući daljnje akcije održavanja ili intervencije ako je potrebno.

Digipitori se mogu implementirati kao samostalni uređaji ili integrirani u postojeće daljinske stanice, koristeći centralne jedinice za upravljanje komunikacijama. Ujedno, modularnost i fleksibilnost u dizajnu omogućavaju prilagodbu sustava specifičnim potrebama ili zahtjevima i okolnostima unutar elektroenergetske mreže.

#### **4.5. Nadređeni SCADA sustav u elektroenergetskim sustavima**

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sustavi imaju važnu ulogu u modernim i novijim elektroenergetskim mrežama, pružajući centralizirani nadzor i kontrolu nad različitim aspektima mrežnog upravljanja. Njihovo djelovanje omogućuje operatorima da nadziru, kontroliraju i optimiziraju operacije u realnom vremenu, što je ključno za pouzdanost i sigurnost distribucijskog sustava.

Funkcionalnosti i karakteristike nadređenih SCADA sustava su:

1. Centralizirani nadzor i kontrola:
  - nadređeni SCADA sustavi služe kao središnje točke za prikupljanje podataka iz cijele elektroenergetske mreže, omogućujući operatorima da dobiju cjelovit pregled stanja infrastrukture
  - uključuje nadzor nad transformatorskim stanicama, rastavljačkim sklopkama i drugim kritičnim komponentama elektroenergetske mreže
2. Komunikacija i protokoli:

- koriste napredne komunikacijske protokole za komunikaciju s daljinskim stanicama i terminalnom opremom
  - protokoli omogućavaju pouzdanu dvosmjernu komunikaciju, uključujući trajno i periodičko prozivanje, te spontane dojave iz daljinskih stanica koje poboljšavaju brzinu i pouzdanost odziva na incidente ili kvarove
3. Integracija s drugim sustavima:
- SCADA sustavi su često integrirani s drugim informacijskim i operativnim sustavima, omogućujući proširene funkcionalnosti poput Distribution Management System (DMS) funkcija
  - te funkcije uključuju dinamičko prikazivanje elektroenergetske mreže, proračune padova napona, analizu kratkih spojeva, prognoze opterećenja, te mogućnosti za postavljanje privremenih prekida ili uzemljenja na elektroenergetskoj mreži
4. Optimizacija i automatizacija:
- nadređeni sustavi pružaju alate za automatizaciju rutinskih zadataka i optimizaciju mrežnih operacija
  - uključuje automatsko upravljanje pogonima, brzu detekciju i lokalizaciju kvarova, te implementaciju kontrolnih strategija koje minimiziraju prekide i poboljšavaju opću učinkovitost elektroenergetske mreže
5. Prijelaz na naprednije sustave:
- prijelaz sa starijih sustava na naprednije platforme osiguravaju bolju integraciju, veću fleksibilnost u upravljanju i proširene analitičke sposobnosti, što dovodi do bolje informiranosti i sposobnosti odlučivanja kod operatora.

Nadređeni SCADA sustavi su vitalni za pouzdano upravljanje suvremenim elektroenergetskim mrežama. Oni ne samo da osiguravaju centralizirani nadzor i kontrolu nad širokim spektrom operacija u elektroenergetskoj mreži, već i omogućuju naprednu analitiku i automatizaciju procesa, čime se značajno povećava operativna efikasnost i sigurnost elektroenergetskog sustava.

#### **4.6. IEC 61850 – Integrirano upravljanje informacijama u elektroenergetskim sustavima**

IEC 61850 norma predstavlja međunarodni standard koji je razvijen s ciljem unapređenja upravljanja i komunikacije unutar elektroenergetskih sustava, posebno u područjima poput transformatorskih stanica i distribucije energije. Standard je posebno dizajniran za potrebe

modernih elektroenergetskih mreža, pružajući napredne opcije za upravljanje informacijama, interoperabilnost aplikacija i učinkovitiju komunikaciju.

Ključne karakteristike IEC 61850 norme uključuju:

1. Standardizirani informacijski modeli:
  - IEC 61850 norma definira unificirane informacijske modele koji omogućuju jedinstvenu komunikaciju i konfiguraciju preko različitih proizvođača opreme
  - omogućuju konzistentno znanje o sustavu u stvarnom vremenu
2. Samoopisivost i meta podatci:
  - uređaji kompatibilni s IEC 61850 mogu sami opisati svoje funkcije i podatke, što olakšava validaciju i integraciju sustava bez potrebe za specifičnim konfiguracijskim datotekama proizvođača
3. Prilagodljiva komunikacija:
  - podržava različite komunikacijske modele, uključujući GOOSE i Sampled Values za stvarno-vremensku razmjenu podataka, kao i tradicionalnije SCADA usluge
4. Jezik za konfiguraciju sustava (SCL – "System Configuration Language"):
  - SCL omogućava detaljnu konfiguraciju sustava, uključujući uređaje i mrežne veze, što automatski pojednostavljuje procese projektiranja i implementacije
5. Visoka razina aplikativne interoperabilnosti:
  - za razliku od tradicionalnih SCADA protokola koji se fokusiraju na interoperabilnost na razini razmjene podataka, IEC 61850 norma omogućava interoperabilnost na razini aplikacija, pružajući modele specifične za domene primjene, što omogućuje bolje razumijevanje i korištenje podataka.

IEC 61850 norma je globalno prihvaćena i široko se primjenjuje u različitim segmentima elektroenergetskih mreža, uključujući transformatorske stanice, distribucijske sustave i obnovljive izvore energije. Standard omogućuje pouzdano upravljanje procesnim informacijama i razmjenu informacija, što ga čini kompetitivnim rješenjem za buduću arhitekturu telekomunikacijske kontrole.

U konačnici, IEC 61850 norma predstavlja temelj za budući razvoj elektroenergetskih mreža, omogućujući visoku razinu automatizacije, bolje upravljanje distribucijskim mrežama, te poboljšanu sigurnost i pouzdanost u svakodnevnom radu. [4]

## 5. TEHNIČKI PRORAČUN

Izrada tehničkog proračuna predstavlja ključnu fazu u procesu planiranja, odabira i instalacije opreme unutar transformatorske stanice. Ovi proračuni omogućuju inženjerima da precizno procijene potrebe transformatorske stanice te odaberu opremu koja ne samo da zadovoljava specifične zahtjeve operativnih karakteristika, već i optimizira performanse cijelog elektroenergetskog sustava. Detaljni tehnički proračuni osiguravaju da se za svaku komponentu, od transformatora do zaštitnih sustava, odabere najprikladnija opcija koja podržava efikasnost, pouzdanost i dugovječnost infrastrukture.

Proračuni uključuju analizu opterećenja, određivanje kapaciteta, procjenu termičkih performansi i analizu kompatibilnosti s postojećom mrežom. To omogućava inženjerima da predvide moguće scenarije opterećenja i da odaberu opremu koja može izdržati predviđena opterećenja bez rizika od preopterećenja ili kvara.

Osim toga, pravilno izvedeni tehnički proračuni pomažu u minimiziranju energetske gubitaka kroz sustav, što direktno doprinosi ekonomičnosti i održivosti operacija. Proračuni također uključuju evaluaciju sigurnosnih aspekata, osiguravajući da sva oprema zadovoljava najstrože sigurnosne standarde i regulative, što je ključno za zaštitu kako opreme tako i osoblja koje s njom rukuje.

Kroz integraciju naprednih analitičkih alata i softvera, inženjeri mogu simulirati rad transformatorske stanice pod različitim operativnim uvjetima, što dodatno pridonosi preciznosti proračuna i omogućava proaktivno upravljanje potencijalnim izazovima. Ovo strateško planiranje i proračun su neophodni za osiguranje da transformatorska stanica može efikasno i pouzdano distribuirati električnu energiju, podržavajući tako potrebe sve većeg broja korisnika i tehnološki napredniju potrošnju.

### 5.1. Proračun kratkog spoja na srednjenaponskom postrojenju

Proračun kratkog spoja u srednjenaponskim postrojenjima važan je za sigurnost i stabilnost elektroenergetske mreže. Razmatra se više aspekata, uključujući maksimalne struje kratkog spoja, termičko naprezanje na sklopnu aparaturu i dinamički utjecaj na opremu. Ovaj proračun pomaže u odabiru odgovarajuće zaštitne opreme i pravilnom dimenzioniranju instalacija.

Osnovna formula tropolne struje kratkog spoja računa se prema izrazu (5.1):

$$I''_k = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_d} \quad (5.1)$$

gdje je:

$I''_k$  – efektivna vrijednost struje kratkog spoja u trenutku nastanka, izražena u kiloamperima (kA)

$U$  – efektivna vrijednost nazivnog linijskog napona mreže pogonske frekvencije, izražena u kilovoltima (kV)

$Z_d$  – direktna impedancija kratkospojnog strujnog kruga, izražena u omima ( $\Omega$ ).

Ukupna impedancija kratkospojnog kruga računa se prema izrazu (5.2):

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (5.2)$$

Ovi parametri, odnosno komponenta  $R$  (otpor) i  $X$  (reaktancija) su ključni za određivanje ukupne impedancije strujnog kruga.

Nadalje, udarna struja kratkog spoja računa se korištenjem faktora  $x$  koji ovisi o omjeru  $R/X$ , a izračunava se prema izrazu (5.3):

$$I_{ku} = x \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k \quad (5.3)$$

gdje je  $x$  faktor koji uzima u obzir dinamičke karakteristike strujnog kruga.

Uz udarnu struju kratkog spoja, potrebno je izračunati termičku struju kratkog spoja koja je važna za određivanje termičkog naprezanja na sklopnu aparaturu i izračunava se prema izrazu (5.4):

$$I_{ekv} = I''_k \cdot \sqrt{m + n} \quad (5.4)$$

gdje su:

$m$  – član određen istosmjernom komponentom struje kratkog spoja

$n$  – član određen izmjeničnom komponentom udarne struje.

Vrijednosti  $m$  i  $n$  određuju se iz dijagrama ovisno o trajanju kratkog spoja i faktoru  $x$ , te karakteristikama elektroenergetske mreže.

Ovim proračunom se omogućava precizno dimenzioniranje i izbor zaštitnih elemenata u srednjenaponskim postrojenjima, osiguravajući njihovu pouzdanost i sigurnost u slučaju kratkih spojeva. Također, podatci iz proračuna koriste se za testiranje i verifikaciju sklopne i zaštitne opreme prije puštanja postrojenja u rad.

## 5.2. Proračun kratkog spoja na niskonaponskom postrojenju

Kako i proračun kratkog spoja u srednjenaponskom postrojenju, tako i proračun kratkog spoja u niskonaponskom postrojenju je važan za ispravno dimenzioniranje zaštitne opreme i osiguranje sigurnosti i stabilnosti elektroenergetske mreže. Ovim proračunom uzimaju se u obzir otpori i reaktancije kako transformatora tako i mreže, kako bi se odredile maksimalne struje kratkog spoja koje mogu prolaziti kroz sustav.

Osnovni koraci u proračunu su:

1. Odrediti početnu struju kratkog spoja prema izrazu (5.5):

$$I''_k = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (5.5)$$

gdje je:

$I''_k$  – početna struja kratkog spoja

$U$  – nominalni linijski napon

$Z$  – ukupna impedancija mreže i transformatora na niskonaponskoj strani.

2. Izračun impedancije mreže i transformatora:

- nadomjesna impedancija mreže i transformatora izračunava se zbrajanjem njihovih pojedinačnih impedancija prema izrazima (5.6) i (5.7):

$$Z_M = \frac{1.1 \cdot U^2}{\sqrt{3} \cdot I_{k3} \cdot U_n} \quad (5.6)$$

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U^2}{100 \cdot P_n} \quad (5.7)$$

- otpor i reaktancija transformatora i mreže mogu se preračunati na niskonaponski razinu koristeći omjere transformacije

3. Izračun udarne struje kratkog spoja prema izrazu (5.8):

$$I_{ku} = x \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k \quad (5.8)$$

gdje je  $x$  faktor koji se određuje na temelju omjera R/X.

4. Izračun ukupnog otpora i reaktancije transformatora, tako da se izračuna radni i induktivni otpor transformatora prema izrazima (5.9) i (5.10):

$$R_t = \frac{P_{Cu}}{3 \cdot I_{2n}^2} \quad (5.9)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (5.10)$$

- da bi se dobio ukupan otpor i reaktancija potrebno je izraze (5.9) i (5.10) zbrojiti s nadomjesnim otporima mreže preračunatim na naponsku razinu 0,4 kV

5. Izračun ekvivalenta termičke struje kratkog spoja prema izrazu (5.11):

$$I_{ekv} = I''_k \cdot \sqrt{m + n} \quad (5.11)$$

gdje  $m$  i  $n$  faktori zavise o trajanju kratkog spoja i razlike između početne i trajne struje kratkog spoja

- ovi faktori pomažu u utvrđivanju stvarne termičke izloženosti opreme tijekom kratkog spoja.

S pomoću navedenih proračuna omogućuje se precizno određivanje zahtjeva za zaštitom i dimenzioniranje u niskonaponskim postrojenjima, osiguravajući tako njihovu dugotrajnost i pouzdanost u radu.

### 5.3. Izbor srednjenaponskog sklopnog bloka

Pri odabiru srednjenaponskog sklopnog bloka za transformatorsku stanicu, važno je osigurati da specifikacije opreme odgovaraju zahtjevima pogonskih i sigurnosnih parametara postrojenja.

Bitne stavke i specifikacije koje je potrebno promatrati prilikom odabira srednjenaponskog sklopnog bloka jesu:

1. Nazivni napon:
  - 24 kV, primjenjiv i na 12 kV mreže, što omogućava fleksibilnost u različitim pogonskim uvjetima
2. Nazivna struja sabirnica:
  - mora biti veća od nazivne struje transformatora tako da osigurava adekvatan kapacitet za normalan rad i moguće širenje kapaciteta transformatorske stanice
3. Izolacija:
  - upotreba SF6 plina koji osigurava visoku razinu izolacijske sposobnosti i pouzdanost u radu
4. Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon:
  - napon od 125 kV i nazivni jednominutni podnosivi napon od 50 kV, što pruža robusnu zaštitu protiv napona prouzročenih atmosferskim uvjetima
5. Nazivna kratkotrajna podnosiva struja i vršna vrijednost:
  - 16 kA za 1 sekundu i vršna vrijednost od 40 kA, što osigurava da sklopni blok može izdržati visoke struje kratkog spoja bez oštećenja, štiteći tako opremu i osoblje.

Da bi sve odgovaralo, srednjenaponski sklopni blok mora zadovoljavati po svome kapacitetu u kompatibilnosti s elektroenergetskom mrežom, tako da odabrani sklopni blok mora biti sposoban nositi maksimalno očekivane operativne struje i napon, kao što je naznačeno strujom transformatora i potencijalnom nadogradnjom postrojenja.

Također, treba se pridržavati sigurnosti u slučaju kvara, tako da sklopni blok mora zadovoljavati ili premašivati minimalne zahtjeve za kratkospojnu struju, kako je navedeno u tehničkim specifikacijama i normama. To uključuje sposobnost brzog prekidanja struje kvara i izdržljivost prema udarnim strujama. Ujedno, oprema mora biti u skladu s relevantnim lokalnim i međunarodnim standardima, osiguravajući pridržavanje najboljih praksi i zakonskih zahtjeva.

#### **5.4. Izbor niskonaponskog sklopnog bloka**

Pri odabiru niskonaponskog sklopnog bloka za transformatorsku stanicu važno je osigurati da sklopni blok zadovoljava zahtjeve kako za normalan rad tako i za situacije kratkog spoja.



Bitne specifikacije prilikom odabira niskonaponskog sklopnog bloka su:

1. Nazivni napon:
  - 400/230 V, što je standard za niskonaponske distribucijske mreže
2. Nazivna frekvencija:
  - 50 Hz, u skladu s europskim standardima za električnu energiju
3. Nazivna struja:
  - nazivna struja treba biti veća od nazivne struje transformatora, što omogućava pouzdan rad i potencijalnu nadogradnju sustava
4. Nazivna kratkotrajna podnosiva struja:
  - treba biti veća od struje kratkog spoja tako da pruža visoku razinu sigurnosti u slučaju kvara
5. Nazivna podnosiva vršna vrijednost struje:
  - treba biti veća od udarne struje kratkog spoja, osiguravajući dodatnu sigurnost pri ekstremnim opterećenjima
6. Stupanj zaštite:
  - ukazuje na potrebu zaštite smještaja sklopnog bloka

Odabrani niskonaponski sklopni blok mora zadovoljavati po kapacitetu i sigurnosti, tako da premašuje nazivne i maksimalne struje koje mogu proći kroz transformator kako bi se osiguralo nesmetano funkcioniranje i zaštita opreme.

Također, sklopni blok treba imati visoku otpornost na kratkotrajno podnosive struje i vršne vrijednosti struje koje mogu nastati tijekom kratkog spoja, kako bi se izbjeglo oštećenje opreme i potencijalne opasnosti, te je potrebno da oprema bude u skladu s relevantnim industrijskim normama i regulativama kako bi se osigurali visoki standardi kvalitete i sigurnosti.

### **5.5. Proračun veze srednjenaponski sklopni blok – transformator na kratki spoj**

Kod izbora kabela za povezivanje srednjenaponskog sklopnog bloka i energetskog transformatora, važno je osigurati da kabel može izdržati termička naprezanja koja se javljaju tijekom kratkog spoja.

Sposobnost otpora na kratki spoj procjenjuje izračunom minimalno potrebnog presjeka kabela prema izrazu (5.12):

$$A_{min} = C_1 \cdot I_{ef} \cdot \sqrt{t} \quad (5.12)$$

gdje je:

$C_1$  – faktor termičke čvrstoće za kabel od umreženog polietilena

$I_{ef}$  – efektivna vrijednost struje kratkog spoja

$t$  – maksimalno vrijeme trajanja kratkog spoja odnosno maksimalno vrijeme isklopa SN prekidača.

Efektivna struja kratkog spoja o kojoj ovisi odabir minimalnog presjeka kabela izračunava se prema izrazu (5.13):

$$I_{ef} = I''_k \cdot \sqrt{m + n} \quad (5.13)$$

gdje su  $m$  i  $n$  čimbenici koji ovise o trajanju kratkog spoja, udarnom faktoru  $x$ , te omjeru početne i trajne struje kratkog spoja. Ovi čimbenici uzimaju u obzir komponente kratkog spoja koje utječu na termičko naprezanje kabela.

Pravilnim izborom se osigurava pouzdanost i sigurnost kabela u ekstremnim uvjetima rada, te se time potvrđuje njegova primjerenost za korištenje u transformatorskoj stanici.

## 5.6. Proračun veze niskonaponski sklopni blok – transformator na kratki spoj

Prilikom projektiranja veze između niskonaponskog sklopnog bloka i transformatora u transformatorskoj stanici, važno je osigurati da kablenska veza može izdržati kako redovna operativna opterećenja tako i potencijalne ekstremne uvjete poput kratkog spoja.

U nastavku je navedeno kako se može izračunati i ocijeniti ispravnost kabela za takve uvjete:

1. Izračun nazivne struje transformatora se dobiva prema izrazu (5.14):

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (5.14)$$

gdje je  $S_n$  nazivna snaga transformatora i  $U_n$  nazivni napon transformatora

- formula daje nazivnu struju koja prolazi kroz transformator pod normalnim radnim uvjetima

## 2. Odabir kabela:

- za povezivanje treba odabrati kabel koji može izdržati minimalno izračunatu struju  $I_n$
- preporučuje se odabir kabela s većom nazivnom strujom od izračunate kako bi se osigurala dodatna sigurnost i pouzdanost

## 3. Provjera termičke izdržljivosti kabela pri kratkom spoju:

- kabel mora biti sposoban izdržati termička naprezanja generirana tijekom kratkog spoja
- termička izdržljivost kabela pri kratkom spoju se obično provjerava prema izrazu (5.15):

$$I_{ks} = C \cdot I_{ef} \cdot \sqrt{t} \quad (5.15)$$

gdje je:

$C$  – faktor specifičan za materijal kabela koji uzima u obzir njegovu termičku otpornost

$I_{ef}$  – efektivna struja kratkog spoja

$t$  – vrijeme trajanja kratkog spoja

## 4. Izračun efektivne struje kratkog spoja:

- efektivna struja kratkog spoja se računa prema izrazu (5.16):

$$I_{ef} = I''_k \cdot \sqrt{m + n} \quad (5.16)$$

gdje je  $I''_k$  početna struja kratkog spoja, a faktori  $m$  i  $n$  ovise o trajanju kratkog spoja, udarnom faktoru i omjeru početne i stalne struje kratkog spoja; ovi faktori se često iščitavaju iz dijagrama ili tablica specifičnih za svaki projekt

## 5. Usporedba s tehničkim uvjetima:

- nakon što se dobije izračunata dopuštena struja kratkog spoja, uspoređuje se s tehničkim uvjetima za transformatorsku stanicu
- kabel mora moći izdržati više od izračunate efektive struje kratkog spoja kako bi se osigurala sigurnost sustava

Kroz navedene korake osigurava se da odabrani kabeli zadovoljavaju sve zahtjeve kako za normalni rad tako i za ekstremne uvjete kao što su kratki spojevi. Ovi proračuni su ključni za dizajniranje sigurnih i pouzdanih elektroenergetskih sustava.

## 5.7. Proračun uzemljenja

Proračun uzemljenja transformatorskih stanica važan je aspekt projektiranja koji osigurava sigurnost i funkcionalnost elektroenergetskog sustava. Ovdje je opisana općenita metodologija proračuna uzemljenja, primjenjiva na bilo koju transformatorsku stanicu:

### 1. Određivanje maksimalne dopuštene vrijednosti otpora uzemljenja:

- napojnom stanicom se definira izvor napajanja i njegove karakteristike kao što su nazivni napon i tip uzemljenja
- maksimalni dopušteni otpor uzemljenja računa se prema izrazu (5.17):

$$R_{zdr} \leq \frac{F \cdot U_d}{r \cdot I_{1k}} \quad (5.17)$$

gdje je:

$F$  – faktor izjednačenosti potencijala, tipično 2 za niskonaponske sustave

$U_d$  – dopušteni napon dodira, koji ovisi o trajanju struje zemljospoja

$I_{1k}$  – ukupna struja jednopolnog kratkog spoja

$r$  – redukcijски faktor, koji ovisi o karakteristikama napojnog voda.

### 2. Proračun otpora uzemljenja:

- geometrijskom konfiguracijom i materijalom definira se uzemljivač koji se koristi u postrojenju
- otpor rasprostiranja računa se prema izrazu (5.18):

$$R_p = r_r \cdot \rho \quad (5.18)$$

gdje je  $\rho$  specifični otpor tla, a  $r_r$  relativna otpornost rasprostiranja, koja ovisi o geometrijskoj konfiguraciji uzemljivača

### 3. Integracija i optimizacija uzemljenja:

- dodatni uzemljivači koji uključuju dodatne komponente kao što su metalne trake ili drugi uzemljivači koji se mogu koristiti za poboljšanje ukupnog otpora uzemljenja

- upotreba kombiniranog otpora tako da se izračunati ukupni otpor uzemljenja koristi paralelno, povezivanjem s različitim uzemljivačima i njihovim otporima

#### 4. Verifikacija i usklađenost s normama:

- osigurati da izračunati otpor uzemljenja zadovoljava lokalne i međunarodne norme
- potrebno izvršiti terenska mjerenja za verifikaciju teorijskih proračuna, te ako izmjerene vrijednosti premašuju izračunate, poduzeti mjere za smanjenje otpora uzemljenja.

Upotrebom ove metodologije osigurava se da uzemljenje transformatorske stanice zadovoljava sve tehničke i sigurnosne zahtjeve, čime se minimizira rizik od električnih nesreća i osigurava stabilnost rada elektroenergetskog sustava.

### 5.8. Proračun hlađenja transformatora

Proračun hlađenja transformatora važan je za osiguranje njegovog pouzdanog i sigurnog rada. Osnovni cilj je osigurati adekvatnu ventilaciju kako bi se odvela toplina generirana gubitcima u transformatoru. Ovaj se proces temelji na prirodnoj konvekciji, gdje hladni zrak ulazi kroz donje žaluzine, a zagrijani zrak izlazi kroz gornje otvore.

Osnovne komponente proračuna hlađenja su:

#### 1. Parametri:

- $P_g$  – toplinski gubici transformatora izraženi u kW
- $\tau$  – koeficijent otpora prolazu zraka
- $\Theta$  – maksimalno dozvoljena temperaturna razlika između ulaznog i izlaznog zraka u kelvinima
- $h$  – visinska razlika između ulaznih i izlaznih otvora izražena u metrima

#### 2. Proračun površine ulaznih otvora $S_1$ :

- površina ulaznih otvora se izračunava prema izrazu (5.19):

$$S_1 = k \cdot P_g \cdot \sqrt{\frac{\tau}{h \cdot \Theta^3}} \quad (5.19)$$

gdje je  $k$  faktor koji se određuje eksperimentalno ili standardizirano za specifične uvjete instalacije

### 3. Proračun površine izlaznih otvora $S_2$ :

- izlazni otvori moraju imati površinu veću od ulaznih kako bi se osigurao učinkovit protok zraka i odvodnja topline, a to je vidljivo prema izrazu (5.20):

$$S_2 > 1,1 \cdot S_1 \quad (5.20)$$

- ova vrijednost može biti korigirana za faktore kao što su otpor mrežice ili žaluzina ako je primjenjivo

### 4. Verifikacija i korekcija:

- ako postoji dodatni otpor zraku zbog žaluzina ili mrežica, potrebno je povećati izračunate površine za preporučeni postotak kako bi se osigurao adekvatan protok zraka.

Ovi izračuni osiguravaju da konfiguracija otvora za zrak zadovoljava termičke zahtjeve transformatora u svim operativnim uvjetima, uključujući ekstremne temperature okoline, čime se osigurava pouzdanost i dugotrajnost opreme.

## 6. MJERNA INFRASTRUKTURA

Mjernu infrastrukturu čine mjerni uređaji ugrađeni unutar transformatorskih stanica i unutar mjernih mjesta samih potrošača. Mjerni uređaji su temelj za praćenje, prikupljanje i upravljanje potrošnjom električne energije, a njihovim podacima se upravlja kako bi se osigurala točnost obračuna i efikasnost distribucijskog sustava. Mjerni podatci koji se prikupljaju, omogućuju detaljnu analizu i izračun ukupne potrošnje električne energije svakog potrošača. Na temelju tih podataka izrađuju se precizni obračuni koji se koriste za naplatu potrošnje električne energije.

Ovisno o kategoriji potrošnje i specifikacijama brojila, postoje dvije vrste podataka. To su obračunski mjerni podatci i neobračunski mjerni podatci. Obračunski mjerni podatci se prikupljaju za potrebe obračuna, odnosno zbog naplate potrošačima za utrošenu električnu energiju. Uz obračunske mjerne podatke postoje neobračunski mjerni podatci koji služe za razne analize, provjere i usporedbe koje nisu potrebne za obračun, a služe za tehničke analize, praćenje trendova potrošnje, sumarno mjerenje i monitoring sustava u realnom vremenu.

Obračunsko mjerno mjesto se razlikuje prema kategoriji potrošača (kućanstvo i poduzetništvo – potrošači na SN i NN mreži), prema opremljenosti obračunskog mjesta, te prema tarifnom modelu (plavi, bijeli, crveni, žuti), a to se odražava na različite cjenovne modele ovisno vremenu potrošnje električne energije.

Dužnost operatora distribucijskog sustava je prikupiti mjerodavne mjerne podatke vezane za obračunska mjerna mjesta potrošača, koje naposljetku evaluira i provjerava njihovu ispravnost.

Kako je dužnost operatora distribucije električne energije prikupiti potrebne podatke, tako su potrošači dužni omogućiti nesmetani prilaz obračunskom mjernom mjestu kako bi taj dio poslovanja bio što učinkovitiji i efikasniji. Između korisnika mreže i operatora distribucijskog sustava postoje opće odredbe o korištenju mreže, odnosno opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom. Na temelju tih općih uvjeta određeno je način prikupljanja mjernih podataka i kako se ona obrađuju i obračunavaju.

Razlikujemo više vrsta mjernih uređaja kojima se prikupljaju mjerni podatci. To su mehanička brojila koja su zastarjela tehnologija i polako se napušta njihova upotreba. Glavni razlog je njihova limitiranost u prikupljanju podataka i da bi se izvršilo prikupljanje podataka, potrebno ih je neposredno očitati prije obračuna od strane ovlaštenog djelatnika ili samog potrošača. Uz mehanička brojila, postoje još elektronska brojila koja imaju više mogućnosti u prikupljanju

podataka, a njihovim umrežavanjem s komunikatorom moguće je prikupljati te podatke na daljinu. Zadnja vrsta brojila su daljinska brojila koja imaju najveći spektar mogućnosti oko prikupljanja podataka i njima je najlakše manipulirati. Imaju najjednostavniju upotrebu i najučinkovitiji su način pristupanja podatcima zbog njihove daljinske komunikacije.

Kao što je navedeno, prednost daljinskih brojila je prikupljanje podataka daljinskim putem, te nije potrebno vršiti fizički očitavanja na mjernom mjestu. Moguće je daljinski limitirati brojila, za one kupce koji prekoračuju zakupljenu snagu, te je moguće daljinski isključiti kupce koji ne podmiruju svoje obveze na vrijeme. Također, lakše se otkrivaju krađe, jer brojilo bilježi manipulaciju s poklopcem, ako ga netko skida i bilježi ako brojilo vrti u suprotnom smjeru.

Program kojim se vrši kontrola daljinskih brojila i u kojem se mogu vidjeti svi prikupljeni podatci s daljinskih brojila zove se SEP2W System. Trenutno u sustavu daljinskog očitavanja ima preko 58000 brojila. Područja koja su u sustavu daljinskog očitavanja, a spadaju pod Elektroprimorje Rijeka, prikazani su u sljedećoj tablici i iz nje se može uvidjeti koliko ima daljinski brojila po područjima:

*Tablica 6.1. broj mjernih mjesta u AMR sustavu – kolovoz 2024. godine*

SEP/SAP		RIJEKA	SKRAD	CRIKVENICA	OPATIJA	CRES- LOŠINJ	RAB	KRK	UKUPNO
BROJ MM U AMR SUSTAVU	KUĆANSTVO	23464	1946	4350	3841	3495	1765	4433	43294
	PODUZETNIŠTVO	7221	1297	1462	2159	1312	711	1463	15625
	UKUPNO	30685	3243	5812	6000	4807	2476	5896	<b>58919</b>

## 6.1. Optička veza

Upotreba optičke veze u transformatorskim stanicama ključan je faktor u optimizaciji elektroenergetskog sustava, pružajući značajne prednosti u efikasnosti, sigurnosti i pouzdanosti. Optička veza omogućuje ultrabrz prijenos podataka zahvaljujući svojoj impresivnoj širini pojasa i otpornosti na elektromagnetske smetnje. Ova svojstva su od neprocjenjive važnosti u modernim elektroenergetskim sustavima gdje stabilnost i kontinuitet upravljanja i nadzora moraju biti zajamčeni bez obzira na vanjske utjecaje.



Jedna od ključnih prednosti optičkih veza je njihova sposobnost da pružaju izuzetnu sigurnost u prijenosu podataka. Za razliku od tradicionalnih bakrenih vodova, optička vlakna su imuna na sve vrste elektromagnetskih i radio-frekvencijskih smetnji, što osigurava čist i neometan prijenos signala. Ova karakteristika je kritična u elektrotehničkim okruženjima gdje takve smetnje mogu uzrokovati ne samo tehničke probleme već i sigurnosne rizike.

Također, uz sigurnost u prijenosu podataka, ekonomičnost optičkih veza ima značajnu ulogu u njihovoj sve većoj popularnosti. Njihova lagana i tanka konstrukcija zahtijeva manje prostora za instalaciju i omogućuje lakšu manipulaciju, što rezultira smanjenjem troškova instalacije i održavanja. Ujedno, optička vlakna su dugotrajna i izdržljiva, što minimizira potrebu za čestim zamjenama i popravcima.

Integracija naprednih tehnologija poput PLC (Power Line Communication) i SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sustava preko optičkih veza omogućuje operatorima mreža da u realnom vremenu prate i analiziraju stanje mreže. Ovo ne samo da pomaže u optimizaciji distribucije energije, već i omogućuje brzo reagiranje na bilo kakve anomalije ili kvarove, što može znatno smanjiti potencijalne gubitke i povećati sigurnost i pouzdanost sustava.

Nadalje, optička veza je izuzetno sigurna za korištenje u potencijalno opasnim okruženjima zahvaljujući svojoj sposobnosti da pružaju električnu izolaciju. To je osobito važno u situacijama gdje visoke struje ili naponi mogu predstavljati rizik od električnih udara ili požara. Zahvaljujući svojim izolacijskim svojstvima, optička veza omogućuje siguran prijenos podataka čak i kroz područja gdje postoje visoki potencijalni razlike, bez straha od iskrenja ili drugih opasnosti. Time primjena optičkih veza u transformatorskim stanicama nije samo tehnološki napredak već i strategijska odluka koja povećava efikasnost, smanjuje operativne troškove i poboljšava ukupnu sigurnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava. [5]



*Slika 6.1. Položene PEHD cijevi za zaštitu optičkog voda*

## **6.2. GPRS veza**

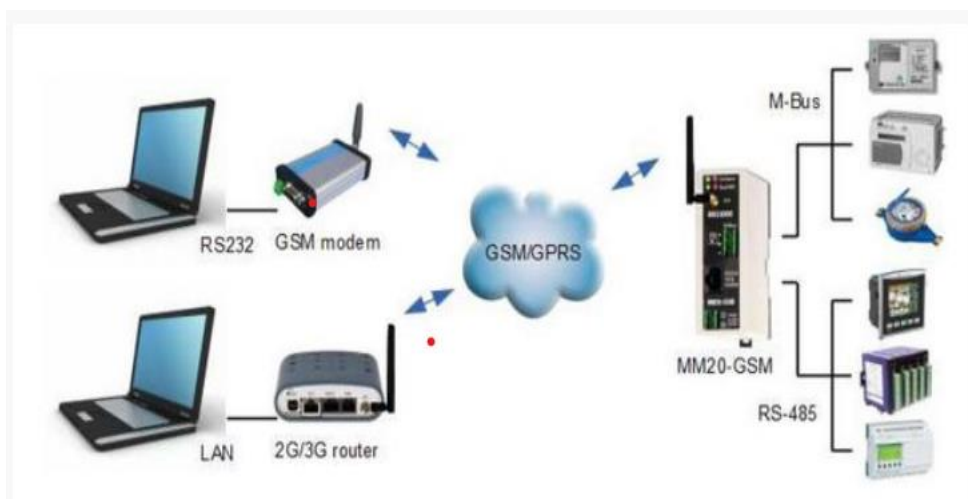
GPRS ("General Packet Radio Service") veza ima važnu ulogu u modernizaciji transformatorskih stanica, posebice u sustavima upravljanja i nadzora pametnih brojila. Zahvaljujući svojoj sposobnosti da koristi postojeće mobilne mreže, GPRS omogućuje efikasan i ekonomičan prijenos podataka, što je posebno korisno u područjima gdje nije praktično instalirati optičke kablove.

Glavna prednost GPRS-a u transformatorskim stanicama je njegova široka dostupnost i niska infrastrukturna potreba, što omogućuje brzu implementaciju i niske troškove instalacije. Ova tehnologija omogućuje pouzdan prijenos podataka između pametnih brojila i centralnih

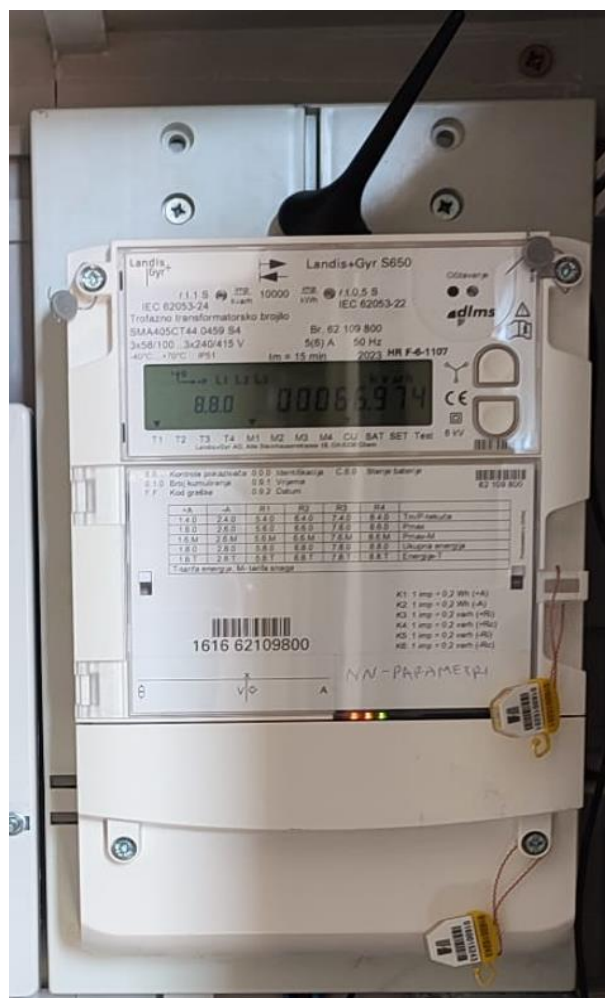
upravljačkih sustava, što je ključno za realno vrijeme nadzora i analize potrošnje energije. GPRS veza također podržava daljinsko očitavanje i upravljanje pametnim brojilima, omogućavajući energetske tvrtke da brzo i efikasno reagiraju na promjene u potrošnji, identificiraju i rješavaju kvarove, te provode potrebne mjere bez fizičke prisutnosti na terenu.

Osim toga, fleksibilnost i skalabilnost GPRS mreža omogućava lako širenje mreže pametnih brojlara, prilagođavajući se rastućim potrebama bez značajnih početnih investicija. GPRS veza je idealna za ruralna i izolirana područja gdje bi postavljanje klasične infrastrukture bilo neisplativo.

Ukratko, upotreba GPRS veze u transformatorskim stanicama modernizira način nadzora i upravljanja distribucijom električne energije, čime se doprinosi povećanju efikasnosti, smanjenju operativnih troškova i poboljšanju pouzdanosti elektroenergetskog sustava. [7]



*Slika 6.2. Prikaz GPRS komunikacije [6]*



Slika 6.3. Brojilo s GPRS komunikacijom i antenom za pojačanje signala

### 6.3. Radio veza

Radio veza igra važnu ulogu u operacijama transformatorskih stanica, omogućavajući pouzdanu i fleksibilnu komunikaciju između pametnih brojila i centralnih sustava za upravljanje energijom. Korištenje elektromagnetskih valova za prijenos podataka čini radio veze idealnim za područja gdje postavljanje fizičke infrastrukture nije izvedivo ili je preskupo.

Glavne prednosti radio veze uključuju njenu sposobnost brze i jednostavne implementacije, što je čini privlačnom opcijom za izolirana i teško dostupna područja. Osim toga, radio sustavi zahtijevaju minimalno održavanje, što značajno smanjuje operativne troškove, posebno u velikim i razvedenim energetske mrežama.

Radio veza također omogućuje pokrivanje širokih područja i može uspostaviti komunikaciju preko prirodnih prepreka bez potrebe za skupim infrastrukturnim radovima. To je ključno za povezivanje

udaljenih brojila s centralnim upravljačkim sustavima, omogućujući kontinuirani nadzor i upravljanje potrošnjom energije.

Međutim, radio veze imaju određena ograničenja, uključujući osjetljivost na smetnje koje mogu utjecati na stabilnost i pouzdanost prijenosa podataka. Osim toga, radio frekvencije imaju ograničeni domet, što može biti problem u vrlo velikim ili fizički zahtjevnim područjima.

Unatoč ovim izazovima, radio veze ostaju važan alat u modernizaciji i održavanju efikasnosti operacija unutar transformatorskih stanica, nudeći vitalnu tehnologiju za energetske sustave koji mogu pružiti usluge čak i u najudaljenijim područjima. Kroz napredne tehnike i poboljšanja, kao što su repetitori i mreže s više pristupnih točaka, radio veze nastavljaju osiguravati da transformatorske stanice ostaju povezane, optimizirajući distribuciju energije i unaprjeđujući ukupnu energetska sigurnost. [8]



*Slika 6.4. Antena na transformatorskoj stanici za poboljšanje radio veze*

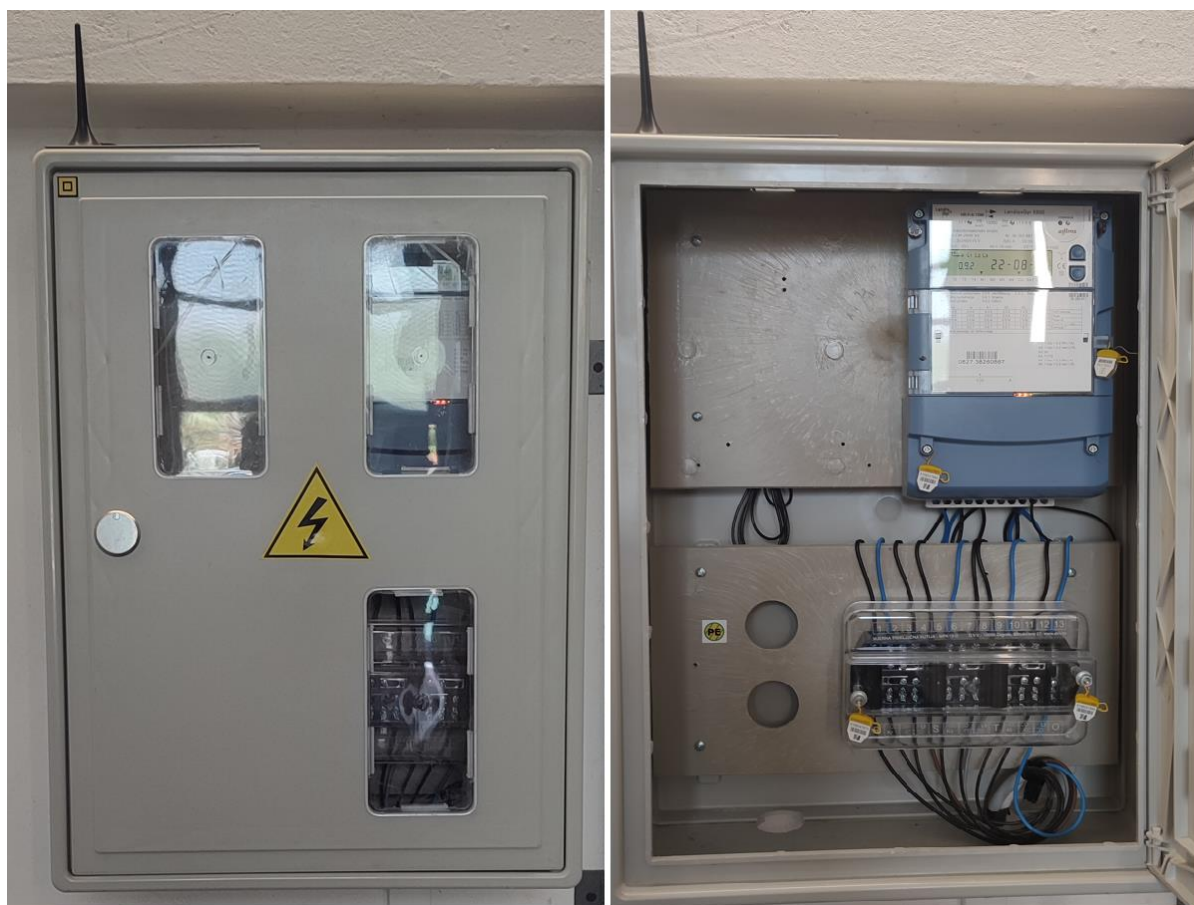
#### **6.4. Sumarno mjerenje u transformatorskim stanicama**

Daljinska brojila opremljena komunikatorima omogućuju automatizaciju procesa očitavanja potrošnje električne energije i pružaju mnoge prednosti u upravljanju i nadzoru potrošnje. Za funkcionalnost daljinskog očitavanja, komunikatori se moraju opremiti GPRS modulima, koji zahtijevaju umetanje SIM kartice mobilnog operatera i precizno konfiguriranje GPRS postavki. Ovaj postupak uključuje unos potrebnih parametara u komunikator, što se obično obavlja korištenjem softvera kao što je MAP110. Zbog olakšanja instalacije i smanjenja potrebnog vremena za montažu, preporučljivo je ove postavke konfigurirati prije same instalacije komunikatora na mjernom mjestu.

Jednom kada su komunikatori ispravno postavljeni, brojilo i komunikator se povezuju na internet preko dobivenih IP adresa, omogućujući nadzornim sustavima pristup podacima u realnom vremenu. Ti podaci uključuju dnevna očitavanja struje, napona, potrošnje energije, opterećenja transformatora, faktora snage i druge vitalne informacije koje omogućuju detaljnu analizu i bolje upravljanje elektroenergetskom mrežom.

Sumarna brojila su specijalizirani uređaji namijenjeni za mjerenje ukupne predane električne energije iz transformatora do niskonaponskog razvoda transformatorske stanice i direktno potrošačima. Ovi uređaji su ključni za praćenje i optimizaciju distribucije električne energije, jer registriraju vitalne parametre kao što su struja i napon po fazama, ukupnu količinu distribuirane električne energije, te opterećenje i efikasnost transformatora. Osim toga, sumarna brojila pomažu u identifikaciji gubitaka energije unutar elektroenergetske mreže i pružaju podatke potrebne za poboljšanje kvalitete isporučene električne energije, usklađene s europskom normom EN 50160.

Instalirajući sumarna brojila u razvodne ormare, i povezujući ih na niskonaponsku stranu transformatora, omogućuje se neposredan pristup podacima o stanju u elektroenergetskoj mreži. Ovo ne samo da povećava pouzdanost i sigurnost opskrbe električnom energijom, već omogućava i operatorima mreže da brzo reagiraju na promjene u potrošnji i potencijalne probleme u elektroenergetskoj mreži, čime se povećava opća efikasnost energetskog sustava.



*Slika 6.5. Razvodni ormar s ugrađenim sumarnim brojilom – izgled nakon rekonstrukcije*

U transformatorskim stanicama, uz sumarna brojila, često se koriste strujni mjerni transformatori za precizno mjerenje protoka električne energije. Ovi transformatori su ključni za pouzdano mjerenje struje, a njihova instalacija varira ovisno o konfiguraciji same transformatorske stanice. Strujni mjerni transformatori se instaliraju direktno na sabirnice koje povezuju niskonaponski razvod s transformatorom ili transformatorima. Ovaj aranžman omogućuje efikasno praćenje i regulaciju distribucije električne energije između transformatora i krajnjih korisnika.

Odabir strujnih mjernih transformatora izravno ovisi o nazivnoj snazi transformatora koji se koristi u transformatorskoj stanici. Važno je odabrati strujni mjerni transformator koji može adekvatno rukovati maksimalnim opterećenjem bez gubitka točnosti mjerenja. Osim toga, strujni mjerni transformatori moraju biti postavljeni u pravilnom smjeru kako bi osigurali točno mjerenje protoka energije. Pravilan smjer instalacije ključan je za poluizravna mjerenja, gdje mjereni podatci direktno utječu na obračun potrošnje električne energije.

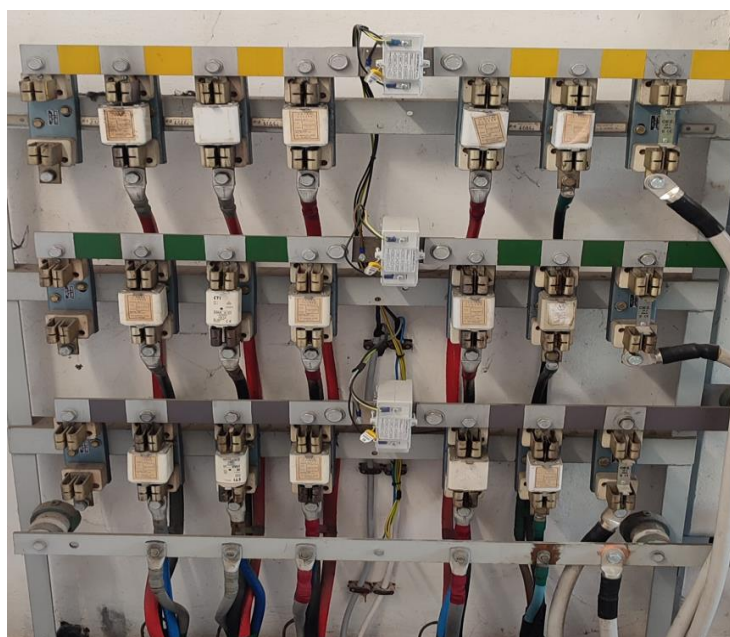
Korištenje strujnih mjernih transformatora u kombinaciji sa sumarnim brojilima omogućuje sveobuhvatno mjerenje i analizu potrošnje, što je od izuzetne važnosti za energetske kompanije za

optimizaciju distribucije i smanjenje gubitaka u mreži. Precizno mjerenje omogućava operatorima da učinkovito upravljaju opterećenjem i održavaju stabilnost elektroenergetske mreže. Također, pruža važne podatke za planiranje kapaciteta i unapređenje infrastrukture, osiguravajući da se energetske resursi koriste na najučinkovitiji mogući način.

Ugradnja i pravilna upotreba ovih uređaja doprinose ne samo preciznosti mjerenja, već i povećanju sigurnosti i pouzdanosti cijelog elektroenergetskog sustava, što je od presudne važnosti za održavanje visoke razine usluge za sve korisnike.



*Slika 6.6. Strujni mjerni transformator [9]*



*Slika 6.7. Strujni mjerni transformatori ugrađeni na sabirnicama niskog napona*

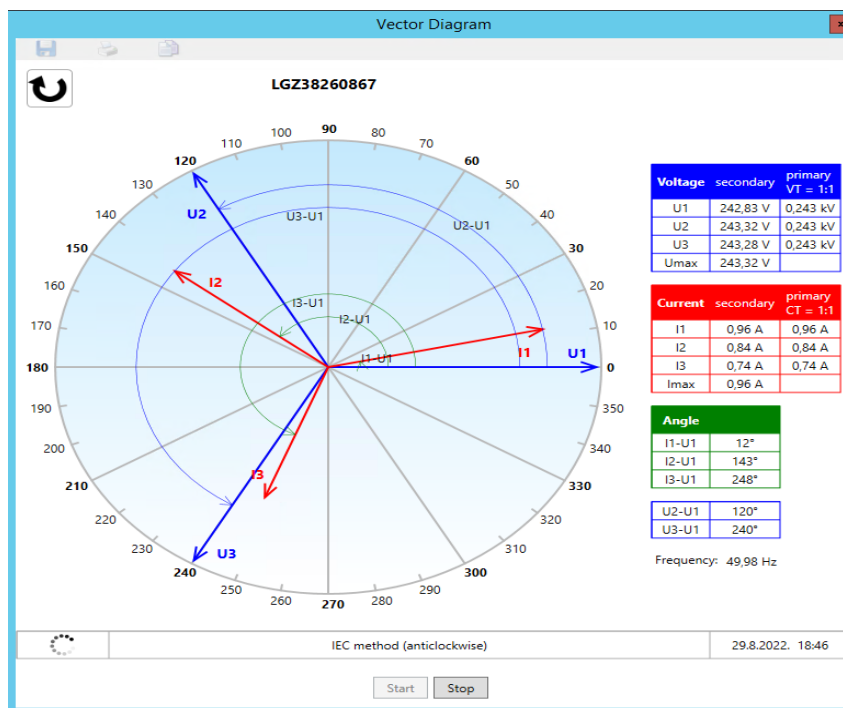


Nakon što se završi instalacija mjernih uređaja, posebice daljinskih brojila, postupak ne završava samo montažom. Slijedi važan korak u kojem je tehničar obavezan stupiti u kontakt s Odjelom za mjerne podatke kako bi se osiguralo da je daljinska komunikacija uspostavljena ispravno i da svi sustavi rade kako treba. Ovaj korak uključuje niz provjera kako bi se verificirala funkcionalnost i točnost novoinstaliranog brojila.

Provjere uključuju testiranje komunikacijskih veza brojila kako bi se osiguralo da su sve komponente povezane i da nema prekida u prijenosu podataka. Također, važno je provjeriti vektorski dijagram kako bi se osiguralo da su fazni kutovi ispravno konfigurirani, što je ključno za točno mjerenje električne energije.

Sinkronizacija brojila također se mora provjeriti kako bi se osiguralo da se vremenski podatci i očitavanja brojila podudaraju s aktualnim vremenom i standardima elektroenergetske mreže. Ovo je važno za osiguranje točnosti očitavanja koje će se koristiti za obračune potrošnje električne energije.

Nakon što su sve ove provjere uspješno obavljene, djelatnik može formalno završiti instalaciju mjernog uređaja. Posljednji korak u procesu je plombiranje brojila, što je standardni postupak za sprječavanje neovlaštenih manipulacija s uređajem. Plombiranje brojila služi kao dodatna mjera sigurnosti, koja osigurava integritet mjerenih podataka i sprječava bilo kakvu neautoriziranu upotrebu ili promjenu postavki.



Slika 6.8. Vektorski dijagram sumarnog brojila

U slučaju kada su sva mjerna mjesta koja se napajaju iz određene transformatorske stanice opremljena daljinskim brojilima, to omogućuje precizno i automatsko očitavanje ukupne količine električne energije koju potrošači koriste. Ova tehnologija omogućava kontinuirano praćenje i analizu potrošnje, što je važno za efikasno upravljanje distribucijskom mrežom. Daljinska brojila, zahvaljujući svojim naprednim funkcionalnostima, omogućuju agregaciju podataka o potrošnji električne energije u stvarnom vremenu.

Prikupljeni podatci s pojedinačnih brojila se zatim uspoređuju s podacima iz sumarnog brojila, koje mjeri ukupnu količinu električne energije isporučene iz transformatorske stanice u niskonaponsku mrežu. Analizom razlike između predane energije u mrežu i ukupno potrošene energije kod krajnjih korisnika, moguće je identificirati gubitke unutar niskonaponske mreže.

Ova metoda je izuzetno korisna za detekciju tehničkih gubitaka, koji mogu nastati zbog starenja opreme, loših veza, ili neadekvatne izolacije. Također, analiza može ukazati na neovlaštenu potrošnju, gdje pojedinci ili organizacije koriste električnu energiju bez odgovarajuće registracije ili plaćanja. U slučaju značajnih odstupanja ili gubitaka većih od očekivanih, to može signalizirati i potrebu za daljnjim tehničkim pregledom i potencijalnim popravcima u elektroenergetskoj mreži kako bi se osigurala njezina pouzdanost i smanjili operativni troškovi.

Dakle, upotreba daljinskih brojila u kombinaciji sa sumarnim mjerenjima pruža ne samo temeljit uvid u trenutno stanje potrošnje električne energije unutar elektroenergetske mreže, već i važan alat za upravljanje infrastrukturom, poboljšanje energetske efikasnosti i zaštitu prihoda od električne energije. Ovo je posebno važno u kontekstu sve većih zahtjeva za energetskom efikasnošću i smanjenjem loših ekoloških utjecaja koje donosi upotreba električne energije.

## 6.5. G3 PLC koncentratori

PLC ("Power Line Carrier") koncentratori su napredni komunikacijski uređaji koji se koriste u energetskim sustavima za učinkovitu komunikaciju i prijenos podataka preko postojeće niskonaponske distribucijske mreže. Ovi uređaji omogućuju povezivanje s većim brojem brojila bez potrebe za dodatnim ožičenjem, koristeći frekvenciju od 40 Hz za prijenos signala. Ključna prednost ovog sustava je njegova sposobnost da prikuplja velike količine podataka iz mjernih uređaja rasprostranjenih po elektroenergetskoj mreži, što doprinosi točnosti i pouzdanosti očitavanja potrošnje električne energije.



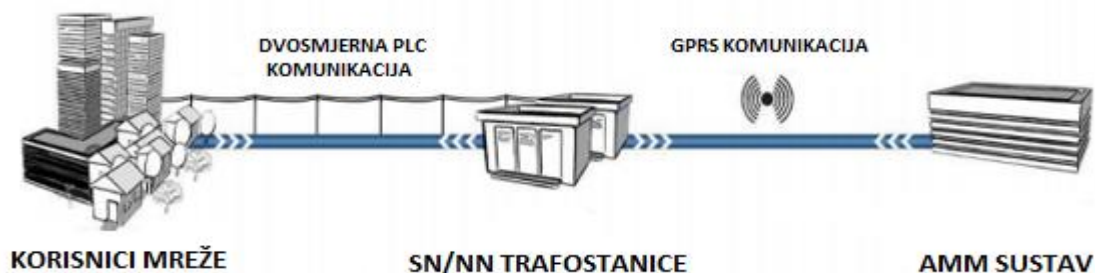
Slika 6.9. Koncentrator AC750 proizvođača Iskraemeco [10]

Instalacija PLC koncentratora tipično se vrši unutar transformatorskih stanica ili u razvodnim ormarima, gdje su oni povezani s niskonaponskom mrežom. To omogućava kontinuiranu

komunikaciju sa svim povezanim brojilima, uključujući i sumarna brojila, koja prate ukupnu potrošnju električne energije unutar određenog područja. Povezivanje s daljinskim sustavom upravljanja postiže se kroz integraciju komunikacijskih modula koji koriste GPRS tehnologiju, često uz korištenje SIM kartica mobilnih operatera. Ova funkcionalnost omogućuje operatorima sustava da daljinski pristupaju podacima, provode analize i upravljaju mrežom u realnom vremenu.

Osim prikupljanja i prijenosa podataka o potrošnji električne energije, PLC tehnologija pruža brojne dodatne prednosti, kao što su optimizacija rada mreže, smanjenje tehničkih i nefinancijskih gubitaka i poboljšanje kvalitete opskrbe električnom energijom. Korištenjem PLC koncentratora, distribucijska poduzeća mogu također olakšati implementaciju pametnih mreža, što omogućava bolje upravljanje potražnjom i integraciju obnovljivih izvora energije.

U kontekstu unaprjeđenja infrastrukture, PLC koncentratori su značajan korak prema modernizaciji distribucijskih sustava električne energije.



*Slika 6.10. Prikaz komunikacije i strukture PLC protokola*

Za učinkovitu implementaciju PLC komunikacijske tehnologije u distribucijskim mrežama, ključno je osigurati optimalno raspoređivanje PLC brojila unutar dometa odgovarajućeg koncentratora. Preporučuje se ugradnja brojila na mjerna mjesta unutar granice od približno jednog kilometra od samog koncentratora ugrađenog u transformatorsku stanicu kako bi se osigurala pouzdana komunikacija. Ovo ograničenje distance je bitno, jer preko navedene udaljenosti može doći do gubitka signala, čime bi se onemogućilo prijavljivanje brojila na koncentrator.



*Slika 6.11. PLC brojila proizvođača Iskraemeco [11]*

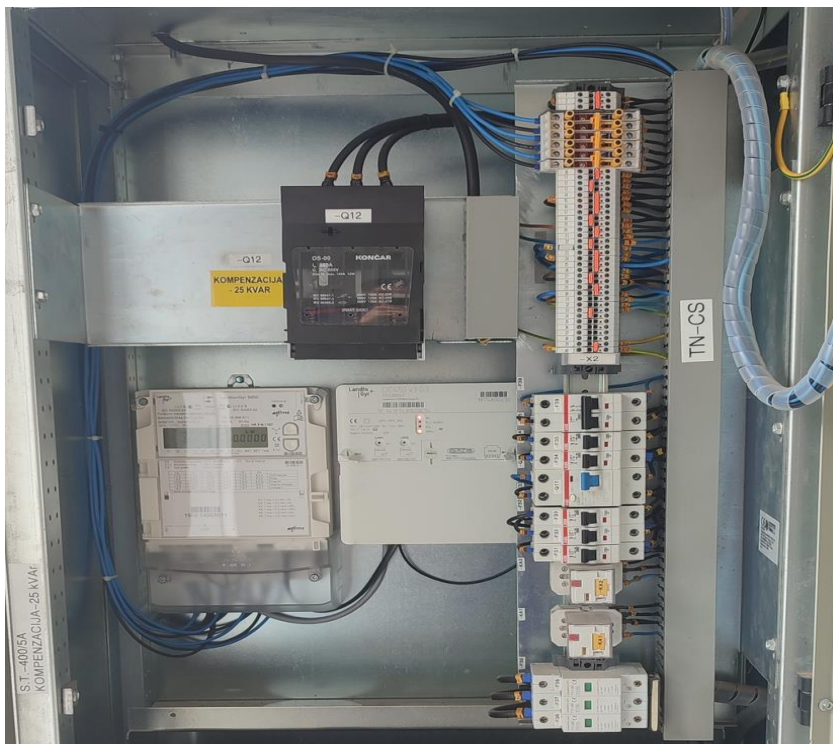
Smatra se da jedan koncentrator može učinkovito upravljati do maksimalno 500 brojila, što omogućava masovno prikupljanje podataka i optimizaciju troškova povezanih s očitanjem. Komunikacijski protokol omogućava koncentratoru da šalje upite do pojedinih brojila koristeći najefikasniju i najbližu dostupnu putanju, koja može uključivati preskakanje signalom s brojila na brojilo. Ovakav način komunikacije ne samo da olakšava brzinu i pouzdanost prikupljanja podataka, već također smanjuje potrebu za fizičkim očitanjima.

Jedan od izazova s kojima se suočava PLC tehnologija jest prisutnost elektromagnetskih smetnji unutar elektroenergetske mreže, koje mogu značajno ometati komunikaciju. Instalacija odgovarajućih filtera na strateškim lokacijama može pomoći u minimiziranju ovih smetnji, poboljšavajući pouzdanost i stabilnost komunikacijskog sustava.

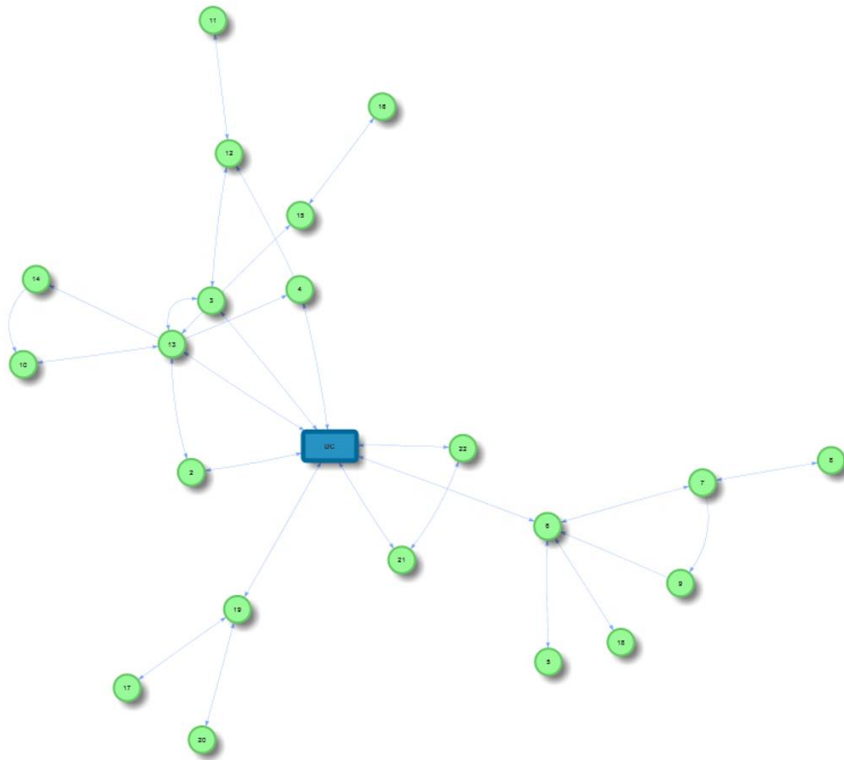
Uvođenje PLC koncentratora u transformatorske stanice predstavljalo bi značajan napredak u daljinskoj komunikaciji s potrošačima, omogućavajući prebacivanje svih potrošača na daljinsko očitavanje, ako su sva mjerna mjesta pokrivena PLC brojilima. Ovo bi doprinijelo ne samo smanjenju operativnih troškova povezanih s očitanjem potrošnje, već bi također omogućilo preciznije praćenje i upravljanje gubitcima unutar elektroenergetske mreže. Daljinsko praćenje omogućava

detekciju i lokalizaciju problema u realnom vremenu, čime se poboljšava efikasnost i pouzdanost opskrbe električnom energijom.

Sveukupno, integracija PLC tehnologije u distribucijske mreže predstavlja ključni korak prema modernizaciji infrastrukture i optimizaciji procesa upravljanja potrošnjom električne energije.



*Slika 6.12. Prikaz izgleda mjernog mjesta s ugrađenim sumarnim brojiлом i koncentradorom*



*Slika 6.13. Prikaz topologije koncentratora – način prijave brojila na koncentrator*

## 7. ZAKLJUČAK

U svrhu poboljšanja uvjeta i infrastrukture, operatoru distribucije je u cilju poboljšati elektroenergetski sustav na potrebnu razinu. Kako bi to postigao, potrebna je kontinuirana kontrola transformatorskih stanica, te provjera elemenata i uređaja koji su ugrađeni unutar transformatorskih stanica. Time se smanjuje rizik od mogućih kvarova ili havarija do kojih može doći zbog dotrajalosti opreme u transformatorskim stanicama. Cilj toga je napraviti potrebne rekonstrukcije i zamjene dotrajale opreme kako bi se preveniralo od tih mogućih scenarija. Osim toga, bitno je omogućiti i osigurati potrošačima neometani rad i što manje gubitka napajanja, pogotovo u vremenu kada velika većina toga u svijetu ovisi o električnoj energiji.

Rekonstrukcija transformatorskih stanica s dotrajalom opremom je jedan od načina poboljšanja elektroenergetskog sustava. A da bi se elektroenergetski sustav podigao na višu razinu, potrebno je uvesti naprednu mjernu infrastrukturu. To se postiže ugradnjom daljinskih brojila u što većoj količini, korištenjem PLC tehnologije i sumarnih brojila. Upotrebom PLC tehnologije, samo jednim konzentраторom se može pokriti područje s daljinskim očitanjem od 500-ak mjernih mjesta čime se drastično smanjuju poslovi očitavanja, limitiranja snage i isključenja koje bi trebao odrađivati monter, već to odrađuje osoba zadužena za daljinski sustav. Ujedno, tako se postižu značajne uštede u radu.

Ugradnja sumarnih brojila uvelike pomaže u kontroliranju predane energije u mrežu i mogućih smanjenja gubitaka u mreži, uspoređujući predanu energiju i utrošenu energiju. Time se može ustanoviti koliko iznose gubitci u području koje opskrbljuje transformatorska stanica što uvelike pomaže u otklanjanju uzroka koji su doveli do tih gubitaka.

Prvenstveno je cilj operatora distribucije omogućiti nesmetano napajanje krajnjih potrošača, a da pritom u što većoj količini smanji troškove i električne gubitke, te da uvođenjem napredne mjerne infrastrukture i izvođenjem rekonstrukcija dovede elektroenergetski sustav na pouzdaniju i kvalitetniju razinu. To ne samo da unaprjeđuje kvalitetu usluge za krajnje korisnike, već i doprinosi održivosti resursa i optimizaciji energetskeg sektora u cjelini.



## 8. LITERATURA

- [1] HEP vjesnik, Bilten broj 246: "TEHNIČKI UVJETI ZA OBRAČUNSKA MJERNA MJESTA U NADLEŽNOSTI HEP ODS-a", Zagreb, listopad 2011.
- [2] NN 74/2018, 52/2020.: "MREŽNA PRAVILA DISTRIBUCIJSKOG SUSTAV", HEP – Operator distribucijskog sustava d.o.o., 17.8.2018. i 07.05.2020.
- [3] Sokdić Ž.: "ISKUSTVA U PROVOĐENJU MJERENJA STRUJNIH I NAPONSKIH PRILIKA NA NISKONAPONSKOJ MREŽI U CILJU ODREĐIVANJA KRITERIJA NA SANACIJU NAPONSKIH PRILIKA NA PODRUČJU ELEKTRE KRIŽ", s interneta, <http://www.ho-cired.hr/wp-content/uploads/2013/06/SO2-14.pdf>, 13. kolovoza 2024.
- [4] Schwarz K.: "Comparasion of IEC 60870-5-101/-103/-104, DNP3, and IEC 60870-6-6TASE.2 with IEC 61850", s interneta, [https://content.nettedautomation.com/files/2019-02-10\\_154953/Comparison\\_DNP\\_60870\\_61850\\_2012-07-21\\_p.pdf](https://content.nettedautomation.com/files/2019-02-10_154953/Comparison_DNP_60870_61850_2012-07-21_p.pdf), 13. kolovoza 2024.
- [5] OFS – A Furukawa Company: "OPTICAL FIBER IN THE ELEKTRICAL SUBSTATION", s interneta, [https://www.ofsoptics.com/wp-content/uploads/OpticalFiberintheSubstation\\_WhitePaper-1.pdf?srltid=AfmBOopwJb7kcIR2yuVRth8H4c-pPqshr8gp\\_yT5dj52w5TzQyZg5Tvf](https://www.ofsoptics.com/wp-content/uploads/OpticalFiberintheSubstation_WhitePaper-1.pdf?srltid=AfmBOopwJb7kcIR2yuVRth8H4c-pPqshr8gp_yT5dj52w5TzQyZg5Tvf), 10. kolovoza 2024.
- [6] TDM katalog: "UREĐAJI ZA NADZOR I UPRAVLJANJE", s interneta, [https://tdm.rs/catalog.php?prodID=1763413&lng=srb#prettyphoto\[1763413\]/1/](https://tdm.rs/catalog.php?prodID=1763413&lng=srb#prettyphoto[1763413]/1/), 10. kolovoza 2024.
- [7] JUYING ELECTRONICS: "Distibution monitoring system based on GPRS communication", s interneta, <https://www.juyingele.com/en/news/1893.html>, 10. kolovoza 2024.
- [8] Cvjetković S. J.: " TELEKOMUNIKACIJE U ELEKTROENERGETSKIM SUSTAVIMA", s interneta, [https://www.oss.unist.hr/sites/default/files/file\\_attach/Telekomunikacije%20u%20elektroenergetskim%20sustavima%20-%20Slobodanka%20Jelena%20Cvjetkovi%C4%87.pdf](https://www.oss.unist.hr/sites/default/files/file_attach/Telekomunikacije%20u%20elektroenergetskim%20sustavima%20-%20Slobodanka%20Jelena%20Cvjetkovi%C4%87.pdf), 10. kolovoza 2024.

- [9] ELEKTROSKLOP d.o.o.: "Strujni mjerni transformatori", s interneta, <http://www.elektrosklop.hr/strujni-transformatori-naticnog-tipa-bez-primarnog-namota/>, 10. kolovoza 2024.
- [10] ISKRAEMECO: "OPREMA", s interneta, <https://www.iskraemeco.hr/proizvodi/oprema/>, 10. kolovoza 2024.
- [11] ISKRAEMECO: "BROJILA", s interneta, <https://www.iskraemeco.hr/proizvodi/>, 10. kolovoza 2024.

## **9. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLISKOM JEZIKU**

Transformatorske stanice imaju važnu ulogu u elektroenergetskom sustavu, služeći kao ključna čvorišta za transformaciju i distribuciju električne energije od proizvodnih postrojenja do krajnjih korisnika. Kako bi se osigurala efikasnost, pouzdanost i sigurnost opskrbe električnom energijom, ključno je redovito provoditi modernizaciju, revitalizaciju i održavanje infrastrukture transformatorskih stanica. Implementacija naprednih tehnologija poput PLC (Power Line Communication) i daljinskih brojlara znatno poboljšava upravljanje i nadzor potrošnje, što dovodi do smanjenja operativnih troškova i poboljšanja kvalitete usluge. Modernizacija uključuje i ugradnju sumarnih brojlara te naprednih sustava zaštite i upravljanja, čime se povećava kapacitet i efikasnost, te smanjuju gubitci u mreži. Ove inicijative su ključne za usklađenost s najnovijim standardima i regulativama, te osiguranje stabilne i pouzdane opskrbe električnom energijom u suvremenom društvu.

***Ključne riječi*** – transformatorske stanice, elektroenergetski sustavi, revitalizacija, modernizacija infrastrukture, PLC tehnologija, daljinska brojila, operativna efikasnost, sustavi zaštite, upravljanje potrošnjom, energetska sigurnost, redukcija gubitaka

Substations play a crucial role in the power grid, serving as key nodes for transforming and distributing electrical energy from generation plants to end users. To ensure efficiency, reliability, and safety in power supply, it is essential to regularly carry out modernization, revitalization, and maintenance of substation infrastructure. Implementing advanced technologies such as PLC (Power Line Communication) and remote metering significantly enhances the management and monitoring of consumption, leading to reduced operational costs and improved service quality. Modernization also includes the installation of summation meters and advanced protection and management systems, increasing capacity and efficiency, and reducing network losses. These initiatives are crucial for compliance with the latest standards and regulations, and for ensuring a stable and reliable electricity supply in modern society.

***Keywords*** – substations, power systems, revitalization, infrastructure modernization, PLC technology, remote metering, operational efficiency, protection systems, consumption management, energy security, loss reduction