



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in elektroinstalacije

**ZAMENJAVA LOČILNIH STIKAL S
KOMPAKTNIM STIKALNIM BLOKOM XIRIA
V PODEŽELSKI TRANSFORMATORSKI
POSTAJI**

Mentor: mag. Georgi Zlatarev, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Mojca P. Vaupotič, lektorica za slov. jezik

Kandidat: Matjaž Trop

Kranj, januar 2026

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Georgiju Zlatarevu, univ. dipl. inž. el. za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Mojci P. Vaupotič, prof., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Za vso pomoč in podporo pri študiju in izdelavi diplomskega dela se še posebej zahvaljujem partnerki Aniti in svoji družini.

IZJAVA

Študent Matjaž Trop izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Georgija Zlatareva univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V raziskavi tega diplomskega dela smo se osredotočili na prenovu podeželske transformatorske postaje, s poudarkom na zamenjavi dotrajanega srednjenapetostnega stikalnega bloka. Bistveni namen zamenjave stikalnega bloka v TP je bil povečati zanesljivost in varnost obratovanja distribucijskega omrežja ter omogočiti daljinsko vodenje izbranih stikalnih mest.

V teoretičnem delu so opisane osnovne značilnosti elektroenergetskega sistema, in sicer vloga ter delitev transformatorskih postaj in razvoj srednjenapetostne stikalne opreme. Poseben poudarek je namenjen sodobnim kompaktnim vakuumsko izoliranim stikalnim blokom, ki zagotavljajo večjo obratovalno varnost, minimalna vzdrževalna dela ter enostavno integracijo v sisteme daljinskega vodenja.

Praktični del diplomskega dela prikazuje postopek prenove izbrane transformatorske postaje. Opisani so pripravljalni in montažni postopki, demontaža obstoječega stikalnega bloka, vgradnja novega kompaktnega bloka tipa Xiria ter izvedba kabelskih priključkov.

Analizirani so prav tako kratkostični tokovi in dimenzioniranje zaščite distribucijskega transformatorja z zaščitnim relejem tipa WIC1. Rezultati potrjujejo, da prenova omogoča večjo odpornost sistema na obratovalne motnje, skrajša čas odprave napak ter zmanjšuje obratovalne stroške.

KLJUČNE BESEDE

- transformatorska postaja,
- srednjenapetostni stikalni blok,
- daljinsko vodenje,
- prenova

ABSTRACT

This thesis focuses on the refurbishment of a rural transformer substation, particularly the replacement of obsolete medium-voltage switchgear. The primary objective of this replacement is to improve the reliability and operational safety of the distribution network and to facilitate remote control of selected switching locations.

The theoretical part of the thesis describes the fundamental characteristics of the power system, the role and classification of transformer substations, and the development of medium-voltage switching equipment. Special emphasis is placed on modern compact vacuum-insulated switchgear, which ensures enhanced operational safety, minimal maintenance requirements, and straightforward integration into remote-control systems.

The practical part of the thesis presents the refurbishment process of the selected transformer substation. It describes the preparatory and installation procedures, the removal of the existing switchgear, the installation of the new compact Xiria-type switchgear, and the implementation of the cable connections.

Short-circuit currents and the protection design of the distribution transformer using a WIC1 protection relay are also analyzed. The results confirm that the refurbishment increases the system's resilience to operational disturbances, shortens fault-clearing times, and reduces operational costs.

KEYWORDS

- transformer substation,
- medium-voltage switchgear,
- remote control,
- refurbishment

KAZALO

1	UVOD	1
2	PREDSTAVITEV PROBLEMA	2
2.1	Cilji naloge.....	2
2.2	Predstavitev okolja	3
2.3	Predpostavke in omejitve	4
2.4	Metode dela	4
3	TEORETIČNE OSNOVE TRANSFORMATOSRKIH POSTAJ IN OPREME	5
3.1	Transformatorske postaje	5
3.1.1	Delitev transformatorskih postaj	5
3.1.2	Podeželska transformatorska postaja.....	6
3.1.3	Mestne – kabelske transformatorske postaje	6
3.1.4	Razdelilne transformatorske postaje	7
3.2	Sredjenapetostna stikala	7
3.2.1	Ločilnik.....	7
3.2.2	Odklopnik.....	8
3.2.3	Odklopni ločilnik	9
3.3	Opis stikalnega bloka XIRIA	9
3.4	Niskonapetostna plošča	10
4	OBSTOJEČE STANJE	11
4.1	Posnetek stanja.....	11
4.2	Kritična analiza.....	13
5	PRAKTIČNI DEL	14
5.1	Izračun in preverjanje ustreznosti opreme	14
5.1.1	Kratkostične razmere	14
5.1.2	Dimenzioniranje stikalnega bloka	16
5.1.3	Dimenzioniranje in preverjanje ustreznosti kabelske povezave med transformatorjem in SN stikalnim blokom	18
5.1.4	Zaščita	20
5.2	Postopek zamenjave sredjenapetostnega bloka	21
5.2.1	Pripravljalna dela.....	21
5.2.2	Demontaža obstoječega SN bloka	23
5.2.3	Priprava prostora za novi SN blok	24
5.2.4	Montaža novega SN bloka	24
5.2.5	Preizkusi in meritve	33
5.2.6	Ponovni vklop in predaja v obratovanje	33
5.3	Povzetek raziskave	34
6	ZAKLJUČEK	36
7	LITERATURA IN VIRI	37

KAZALO TABEL

Tabela 1: Kratkostični tokovi na SN in NN strani transformatorja.....	16
Tabela 2: Tehnični podatki SN stikalnega bloka XIRIA	17

KAZALO SLIK

Slika 1: Ločilnik	8
Slika 2: Odklopnik	8
Slika 3: Xiria	10
Slika 4: Geografska shema SN izvoda J19 DV 20 kV Središče	11
Slika 5: Transformatorska postaja Središče 1.....	12
Slika 6: Obstoječe SN stikališče	13
Slika 7: Parametri za zaščitno 400 kVA transformatorja	20
Slika 8: Postopek iznosa starega stikalnega bloka iz TP	24
Slika 9: Xiria nameščena na kovinskem nosilcu v TP	25
Slika 10: Oklopljeni ločljivi kotni konektor za skožnjik tipa »A«, 250A	26
Slika 11: Oklopljeni ločljivi T konektor za skožnjik tipa »C«, 630–1250A	27
Slika 12: Set orodja za obdelavo kabljskih koncev proizvajalca Intercable	28
Slika 13: Pripravljeni kabli za namestitev oklopljenih konektorjev	28
Slika 14: Nameščeni oklopljeni ločljivi T konektor	29
Slika 15: Nameščeni oklopljeni ločljivi kotni konektor.....	30
Slika 16: Nameščeni odvodniki prenapetosti za oklopljene ločljive konektorje	31
Slika 17: Objemni tokovni transformator nameščen na kable	31
Slika 18: Zaščitni rele WIC1	32

KRATICE IN AKRONIMI

NN – nizka napetost

RTP – razdelilna transformatorska postaja

SN – srednja napetost

SNO – srednje napetostno omrežje

TP – transformatorska postaja

VmkVmkVmkT – konfiguracija SN bloka

VN – visoka napetost

1 UVOD

Zanesljiva in kakovostna oskrba z električno energijo je temelj sodobne družbe, gospodarstva in tehnološkega razvoja. Ključni del elektroenergetskega sistema predstavljajo transformatorske postaje, ki omogočajo pretvorbo in distribucijo električne energije med različnimi napetostnimi nivoji.

Delovanje teh postaj mora biti varno, stabilno in usklajeno s sodobnimi tehničnimi, varnostnimi ter okoljskimi zahtevami. Zaradi staranja infrastrukture in napredka tehnologije je v številnih obstoječih postajah potrebna posodobitev srednjenapetostne opreme, ki omogoča učinkovitejše, varnejše in bolj nadzorovano obratovanje.

V okviru tega diplomskega dela je bila obravnavana prenova podeželske transformatorske postaje Središče 1, katere namen je bila zamenjava zastarelega srenjenapetostnega stikalnega bloka z novim, sodobnim in okolju prijaznim kompaktnim blokom Xiria.

Stari zračno izolirani blok ni več izpolnjeval zahtev sodobnih standardov in predpisov, zato je bilo treba izvesti tehnično in varnostno posodobitev postaje.

2 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V diplomskem delu prikazujemo prenovu transformatorske postaje in zamenjavo sredjenapetostnega bloka.

Elektroenergetski sistem predstavlja osnovno infrastrukturo sodobne družbe, saj omogoča zanesljivo in varno oskrbo z električno energijo. Ključno vlogo pri tem imajo transformatorske postaje, ki pretvarjajo napetostne nivoje ter omogočajo povezovanje in razvejitve distribucijskega omrežja. Posebej pomembne so podeželske transformatorske postaje, saj napajajo razpršene porabnike, in hkrati omogočajo vključevanje novih odjemalcev ter razpršenih virov energije.

V številnih transformatorskih postajah je še vedno vgrajena zastarela sredjenapetostna stikalna oprema, ki ne izpolnjuje več sodobnih zahtev glede varnosti, zanesljivosti in možnosti daljinskega vodenja. Vzdrževanje takšne opreme je oteženo, saj rezervni deli pogosto niso več na voljo, kar povečuje tveganje za izpade in podaljšane prekinitve napajanja.

V obravnavanem primeru je bila v podeželski transformatorski postaji vgrajena dotrajana stikalna oprema, ki ni zagotavljala potrebne stopnje obratovalne varnosti. Pojavljale so se težave z nezanesljivim delovanjem, obstoječi blok pa ni omogočal integracije sodobnih zaščitnih relejev in daljinskega vodenja. To je pomenilo, da v primeru okvar ni bilo mogoče izvajati hitrih manevrov in selektivnega izklopa na daljavo.

Problem, ki ga diplomsko delo obravnava, je torej potreba po zamenjavi dotrajane sredjenapetostne stikalne opreme z novim kompaktnim blokom tipa Xiria Eaton Holec 24 kV, ki izpolnjuje sodobne tehnične in varnostne zahteve. Ob tem je treba analizirati celoten postopek prenove ter utemeljiti pomen posodobitve omrežja z vidika večje zanesljivosti, varnosti in možnosti avtomatizacije distribucijskega sistema.

2.1 Cilji naloge

Cilj in namen diplomskega dela sta prikaz prenove podeželske transformatorske postaje z zamenjavo dotrajanega sredjenapetostnega bloka. Na osnovi praktičnega primera bo prikazan celoten potek dela ter utemeljena smiselnost uporabe sodobnih kompaktnih stikalnih blokov, ki zagotavljajo višjo raven varnosti in zanesljivosti obratovanja.

Glavni cilji diplomskega dela so:

- Analizirati obstoječe stanje transformatorske postaje ter izpostaviti težave, ki

so posledica zastarele srednjenapetostne opreme.

- Prikazati postopek zamenjave SN bloka po fazah: pripravljala dela, demontaža stare opreme, priprava prostora, montaža novega bloka, priklop kablov, ozemljitev, meritve in končna predaja v obratovanje.
- Opisati tehnične značilnosti novega SN bloka (tip Xiria Eaton Holec 24 kV) ter utemeljiti prednosti v primerjavi z dotrajano opremo.
- Pojasniti postopek priklopa kablov in montaže kabelskih konektorjev z natančnim opisom uporabljenih kablov NA2XS(F)2Y in konektorjev tipa C.
- Opraviti pregled meritev in preizkusov, ki so bili izvedeni za zagotovitev ustreznosti vgrajene opreme.
- Oceniti vpliv prenove na zanesljivost in varnost obratovanja transformatorske postaje.
- Izpostaviti možnosti avtomatizacije in daljinskega vodenja, ki jih omogoča sodoben SN blok, ter pomen tega za prihodnji razvoj distribucijskega omrežja.

Skozi obravnavo bo ta študija pojasnila, da zamenjava stare srednjenapetostne opreme ni zgolj nujen vzdrževalni ukrep, temveč pomembna posodobitev, ki prinaša višjo stopnjo obratovalne varnosti, manjše stroške vzdrževanja in omogoča integracijo sodobnih sistemov za daljinsko vodenje.

2.2 Predstavitev okolja

Obravnavana transformatorska postaja se nahaja v podeželskem okolju, kjer elektroenergetsko omrežje poteka večinoma po nadzemnih vodih, v katerega je vključenih tudi nekaj sončnih elektrarn. Njena naloga je oskrba večjega naselja in okoliških gospodinjstev ter zagotavljanje napajanja kmetijskih objektov in manjših lokalnih podjetij.

Za podeželske transformatorske postaje so značilni:

- razpršeni odjemalci, povezani z daljšimi daljnovodnimi vodi,
- večja izpostavljenost vremenskim razmeram (nevihte, veter, sneg),
- radialna zasnova omrežja, pri kateri izpad enega voda pomeni prekinitev napajanja več odjemalcev.

Obstoječa postaja je bila zgrajena v 30. letih prejšnjega stoletja kot tipski betonski objekt z zračno izoliranim stikalnim blokom. Skozi čas je oprema postala dotrajana in nezanesljiva, brez možnosti vgradnje sodobnih zaščit in daljinskega upravljanja. Zato je bila potrebna prenova, ki ne rešuje le tehničnih pomanjklivosti, temveč prispeva tudi k izboljšanju kakovosti oskrbe z električno energijo za lokalno skupnost.

2.3 Predpostavke in omejitve

Predpostavke:

- obravnavana postaja je tipična podeželska transformatorska postaja 20/0,4 kV,
- uporabljena oprema je skladna z veljavnimi standardi in predpisi,
- zaščitni rele (WIC1) je ustrezno nastavljen glede na nazivno moč transformatorja,
- meritve so izvedene v skladu z navodili proizvajalcev in smernicami distribucijskega podjetja,
- prenova obravnava zgolj sredjenapetostni del postaje, brez zamenjave transformatorja in nizkonapetostne plošče.

Omejitve:

- osredotočenost na sredjenapetostni del postaje,
- omejen dostop do podrobnih podatkov in nastavitvev zaradi varovanja informacij,
- vezanost na konkreten primer ene postaje (možna odstopanja pri drugih objektih),
- ekonomska analiza investicije ni predmet naloge.

2.4 Metode dela

Pri izdelavi diplomskega dela je za prikaz obstoječega stanja uporabljena opisna metoda, v praktičnem (raziskovalnem) delu pa analitična metoda, pri čemer smo upoštevali lastne izkušnje pri delu.

Ta raziskava temelji na kombinaciji teoretičnega pregleda literature in praktične analize prenove transformatorske postaje.

Uporabljene metode:

- pregled strokovne literature, tehnične dokumentacije in standardov,
- analiza projektnih načrtov in risb transformatorske postaje,
- neposredno opazovanje poteka prenove na terenu,
- pogovori z izvajalci del in strokovnjaki distribucijskega podjetja,
- primerjalna analiza prednosti novega kompaktnega SN bloka Xiria v primerjavi s staro opremo.

Tak metodološki pristop omogoča združevanje teoretičnega in praktičnega znanja ter zagotavlja strokovno utemeljene ugotovitve in zaključke, ki so uporabni tudi za prihodnje prenove podobnih objektov.

3 TEORETIČNE OSNOVE TRANSFORMATORSKIH POSTAJ IN OPREME

3.1 Transformatorske postaje

Transformatorske postaje so eni ključnih objektov v elektroenergetskem sistemu prenosnega in razdelilnega omrežja. Namenjene so pretvorbi nivoja napetosti glede na potrebe prenosnega ali distribucijskega omrežja, kar omogoča prenos in distribucijo električne energije od virov do končnega porabnika s čim manjšimi izgubami. Omogočajo nam tudi zbiranje in razdeljevanje električne energije, izvajanje stikalnih manipulacij in zaščito energetskega naprave. Prav tako nam omogočajo izvajanje meritev, krmiljenje in regulacije ter v nekaterih primerih kompenzacijo jalove energije.

Za izvajanje vseh funkcij, transformatorska postaja potrebuje več naprav.

Te naprave so naslednje:

- dovodi in odvodi,
- zbiralke,
- stikala,
- transformatorji,
- naprave za krmiljenje, regulacije, upravljanje,
- merilne naprave,
- naprave za zaščito.

Če v takem sistemu, poleg transformacije potekajo vse funkcije, so te postaje imenovane tudi stikališča (Razpet, 2001).

3.1.1 Delitev transformatorskih postaj

Transformatorske postaje delimo glede na položaj v omrežju in glede na način gradnje.

Glede na položaj v omrežju poznamo tri vrste transformatorskih postaj:

- Napajalne – te so povezane z visokonapetostnim prenosnim omrežjem in služijo kot vhodna točka za distribucijska omrežja. Njihova osrednja naloga je zniževanje visoke napetosti na SN raven, s čimer omogočajo nadaljnjo distribucijo. Nahajajo se v bližini generatorjev in prenosnih omrežij ter so ključne za povezavo med prenosnim in distribucijskim omrežjem.
- Prehodne – vršijo prilagajanje napetosti in napajanje prenosnih vodov (110/220/400 kV).

- Končne ali distribucijske – gre za postaje, ki se nahajajo na koncu distribucijskih linij in služijo kot zadnja točka za pretvorbo energije pred končnim porabnikom (110/35/20/10/0,4 kV). Locirane so neposredno v območjih, kjer se električna energija porablja.

Po načinu gradnje transformatorske postaje delimo na:

- podeželske transformatorske postaje (stolpne ali jamborske),
- mestne – kableske transformatorske postaje (klasično zidane, montažne, v objektih ali pod zemljo),
- razdelilne transformatorske postaje (Razpet 2001).

3.1.2 Podeželska transformatorska postaja

Stolpne (zidane) transformatorske postaje (dimenzije približno 2 x 2 metra) so prilagojene za neposredno priključitev na prosto zračno omrežje na SN 20 ali 10 kV in NN 0,4 kV. Grajene so za moči do 630 kVA.

Notranjost delimo na dva dela. Spodnji del je transformator in NN odvodi, ki potekajo preko razdelilnih zidnih omaric, do katerih imamo dostop na zunanji strani. Zgornji del pa je VN dovod (na zunanji strani je varovan pred prenapetostmi), ki poteka preko stikalnih naprav in VN varovalk. Stene TP so nosilni zidovi za namestitve stikalnih naprav in zbiralk.

Takšen način gradnje TP pomeni daljši čas gradnje, neekonomičnost in tudi izgled ni optimalen. V primerjavi z jamborsko izvedbo je ta TP bistveno dražja, pri čemer je vsa oprema vgrajena v prostor in tako zaščiten pred zunanjimi dejavniki. Slabost teh TP je v tem, da so po navadi postavljene izven težišča obremenitve, tj. ob robovih naselij.

Jamborska izvedba je najenostavnejša in najcenejša TP, saj je tipsko izdelana in zagotavlja hitro in preprosto montažo v obstoječe omrežje. Uporabljamo jo za napajanje manj zahtevnih uporabnikov.

Gradijo se do moči 250 kVA. Ker so vsi elementi izpostavljeni zunanjim dejavnikom okolja, morajo biti za taka okolja grajeni, kar pomeni, da gre pri tem za višje stroške vzdrževanja (Razpet, 2001).

3.1.3 Mestne – kableske transformatorske postaje

Zaradi neekonomičnosti, dolgotrajne izgradnje in velikosti opuščamo klasično zidane mestne – kableske TP. Njihova prednost je samo ta, da se bolje vključijo v okolico. Najpogosteje jih uporabljamo za moči do 1.000 kVA, lahko pa tudi do 4.000 kVA.

Zaradi hitrega razvoja elektrifikacije in koncentrirane porabe električne energije so se razvile montažne betonske in pločevinaste TP. Uporabljamo jih kot razdelilne v distribucijskem omrežju 10- in 20-kV ali kot končne postaje.

Pogosto se predvsem zaradi pomanjkanja prostora in estetskih zahtev odločamo za izgradnjo TP v že obstoječih objektih (v večjih blokih, trgovskih centrih ipd.). Za izgradnjo take TP potrebujemo določene pogoje, kot so dostopnost, hlajenje TP prostora ter protipožarna zaščita.

TP gradimo tudi pod zemljo, predvsem zaradi pomanjkanja razpoložljivih površin, vedno večjih cen zemljišč in estetskega videza. Zaradi tega morata biti omogočena ustrezna dostopnost za montažo ter izvedena odzračevanje in hlajenje, prav tako pa mora biti zagotovljena zaščita pred vdorom meteornih vod (Razpet, 2001).

3.1.4 Razdelilne transformatorske postaje

Razdelilne transformatorske postaje (RTP) služijo prilagajanju napetostnega nivoja posameznim omrežjem, zbiranju ter razdeljevanju električne energije.

RTP so v večini primerov grajene za napetosti nad 35k V in se najpogosteje nahajajo na prostem kot prostozračne ali kombinirane izvedbe, pri katerih je SN nivo v zgradbi, VN del pa na prostem (oprema uporabljena na prostem mora biti grajena za vse atmosferske vplive). Oprema je razvrščena v funkcionalne stikalne enote, imenovane stikalna polja. Celoten prostor okrog RTP je ograjen in nepooblaščenim osebam dostop ni dovoljen. Najpogosteje se nahajajo v primestnih območjih.

Na velikost in način gradnje RTP vpliva več dejavnikov, kot so višina napetosti, število transformatorjev, število dovodov in odvodov ter razpoložljivi prostor (Razpet, 2001).

3.2 Sredjenapetostna stikala

Sredjenapetostna stikala ločimo glede na izklopno zmogljivost na ločilnike, odklopnike in ločilne odklopnike. Izbiramo jih glede na nazivno napetost, izklopno zmogljivost in vrsto zaščite. Ta stikala so opremljena z ročnim, elektromotornim ali vzmetnim pogonom. Imajo indikacijo stanja položajev in so lahko daljinsko vodena (Bastian, 2013).

3.2.1 Ločilnik

Ločilnik je naprava, ki ga uporabljamo za vidno ločitev tokokrogov, da lahko s tem izoliramo določene dele stikalnih naprav od napetosti. V odprtem stanju zagotavlja ločilno razdaljo in ustreza izolacijskim zahtevam. Z ločilnikom ne smemo vklapljati ali

izklaplјati tokokrogov pod obremenitvijo, saj nima gasilne in obločne komore (Bastian, 2013).



Slika 1: Ločilnik

(Vir: TSN Tovarna stikalnih naprav, 2022)

3.2.2 Odklopnik

Odklopnik je naprava, ki lahko izklaplјa in vklaplјa tokokroge v normalnih in najzahtevnejših razmerah, npr. pri kratkem stiku. Odklopniki se pri nastavljenem preobremenitvenem toku samodejno izklopijo. Glede na način gašenja in vrsto gasilnega sredstva ločimo malooljne, plinske in vakuumske odklopnike (Bastian, 2013).



Slika 2: Odklopnik

(Vir: TSN Tovarna stikalnih naprav, 2017)

3.2.3 Odklopni ločilnik

Odklopni ločilnik združuje funkcije ločilnika in odklopnika, saj v navadnih obratovalnih pogojih vklaplja in izklaplja tokokroge pod obremenitvijo in določen čas prevaja kratkostične tokove, izklop v primeru kratkega stika pa ni mogoč. V odprtem stanju ustreza izolacijskim zahtevam, določenim za ločilnik (Razpet, 2001).

3.3 Opis stikalnega bloka XIRIA

Stikalni blok Xiria je Eatonov produkt, primeren za uporabo do 24 kV in do 1.000 m nadmorske višine (deluje od -25 °C do $+40\text{ °C}$). Odlikuje ga visoka stopnja obratovalne varnosti in uporabnost, je zelo kompakten in lahko deluje kot enojna enota ali kot blok. Primarni deli pod napetostjo in pogonski mehanizmi so nameščeni v popolnoma zatesnjenem ohišju, kar učinkovito ščiti pred zunanjimi vplivi okolja.

Xiria je zaradi varnosti osebja opremljena z nadzornimi okenci, ki omogočajo viden nadzor nad ločilno razdaljo med kablom in zbiralkami. Vidna kratkostična ozemljitev se izvede preko ločilnega stikala ali odklopnika.

Ima zelo visoko stopnjo kompaktnosti, kar nudi neposredne finančne koristi tako pri novogradnjah kot tudi pri rekonstrukciji že obstoječih transformatorskih postaj.

Stikalni blok Xiria je izdelan iz okolju prijaznih materialov, kar pomeni, da je izolacijski medij čist, zrak suh, stikalni medij pa vakuum. Enoto po izteku življenjske dobe lahko odstranimo, saj so uporabljeni materiali jasno označeni in se lahko ponovno uporabijo.

Xiria se uporablja v kompaktnih transformatorskih postajah za distribucijo električne energije in v napajalnih postajah v industriji. Idealna je tudi pri vetrnih elektrarnah, kjer gre za razpršeno proizvodnjo električne energije.



Slika 3: Xiria
(Vir: EATON, 2025)

3.4 Niskonapetostna plošča

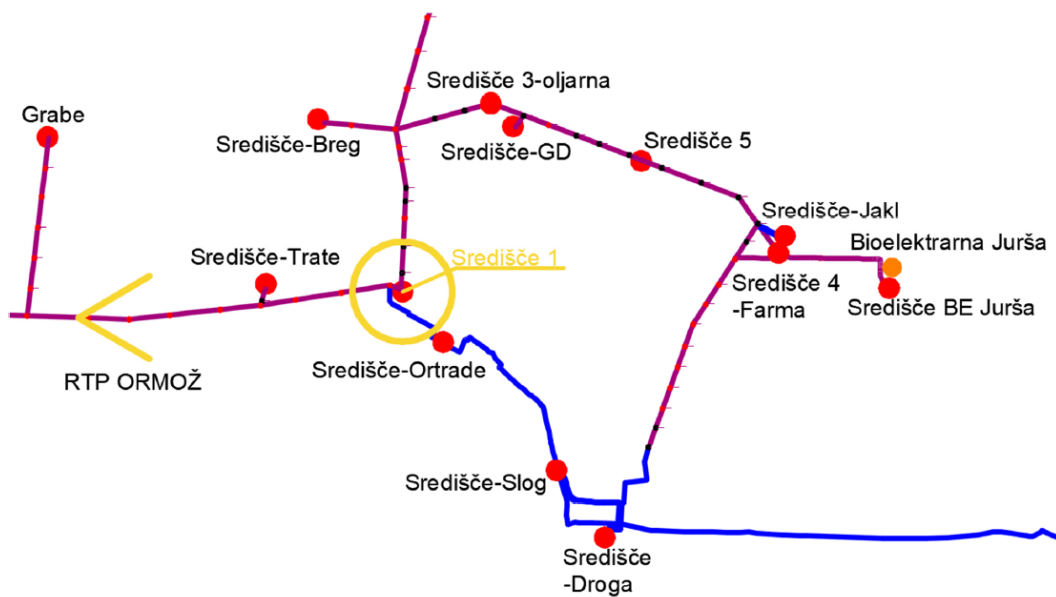
Niskonapetostna plošča je del TP, ki jo napaja sekundarni del transformatorja z napetostjo 0,4 kV. Sestavljena je iz transformatorskega dovoda in razvodnega polja. V transformatorskem polju so običajno ločilno stikalo ali avtomatsko zaščitno stikalo, tokovni merilni transformatorji ter merilne in zaščitne naprave za transformator. Razvodno polje je opremljeno z NN varovalkami, za vsak odvod posebej. V primeru, ko imamo več transformatorjev, poteka paralelno obratovanje na NN strani prek zveznega polja razdelilne plošče. Poleg naštetih uporabljamo tudi polje za pokrivanje javne razsvetljave, na katerem je oprema za meritve, krmiljenje in zaščito. Kompenzacijske naprave so po navadi nameščene ločeno ter so na NN-zbiralke priključene s kabli preko stikala oziroma varovalk. V distribucijskih TP je tudi oprema za skupinsko krmiljenje dvotarifnih števec.

4 OBSTOJEČE STANJE

4.1 Posnetek stanja

Transformatorska postaja, ki jo bomo v diplomskem delu obravnavali je vozliščna TP v naselju Središče ob Dravi.

TP 20/0,4 kV Središče 1 je zidana stolpna TP, ki je bila zgrajena leta 1926. Nahaja se v Središču ob Dravi. Napajanje obravnavanega območja je izvedeno iz RTP 110/20 kV Ormož po SN izvodu.



Slika 4: Geografska shema SN izvoda J19 DV 20 kV Središče
(Vir: Elektro Maribor, 2024)

Slika prikazuje geografsko shemo SN omrežja izvoda J19 DV 20 kV. Na območju transformatorske postaje Središče 1, so z rdečo barvo označeni nadzemni vodi SN omrežja, podzemni pa z modro.

Obravnavana TP 20/0,4 kV je vozliščna TP v naselju Središče ob Dravi in predstavlja pomembno točko za distribucijo električne energije na širšem območju tega naselja. Zaradi dotrajanosti obstoječih ločilnih stikal v TP in potrebe po samostojni vključitvi obstoječega kablovoda Središče 1 – Ortrade v SNO je potrebna zamenjava stikal z novim in naprednejšim stikalnim blokom. Obstoječa ločilna stikala bodo zamenjana z novim štiriceličnim kompaktnim stikalnim blokom Xiria, konfiguracije VmkVmkVmkT, ki omogoča zanesljivejše delovanje in vključuje možnost daljinskega vodenja.

Konfiguracija VmkVmkVmkT pomeni, da ima stikalni blok Xiria skupno štiri celice, in sicer tri vodne z vgrajenim vakuumskim ločilnim stikalom kot glavnim stikalnim aparatom v celici ter z ozemljitvenim ločilnikom in eno transformatorsko celico z vakuumskim odklopnikom kot glavnim stikalnim aparatom v celici ter ozemljitvenim ločilnikom.



*Slika 5: Transformatorska postaja Središče 1
(Lastni vir)*

Trenutno obstoječe SN stikališče TVzkVzk (TSN), ki vključuje eno transformatorsko celico s srednjenapetostnimi talilnimi vložki in dve vodni celici s kompresijskim ločilnim stikalom in ozemljitvenimi noži, bo zamenjalo novo SN stikališče VmkVmkVmkT (24 kV stikalni blok Xiria proizvajalca Eaton Industries).



Slika 6: Obstoječe SN stikališče
(Lastni vir)

4.2 Kritična analiza

Predvidena vgradnja novega kompaktnega stikalnega bloka je potrebna zaradi dotrajanosti obstoječih ločilnih stikal in potrebe po dodatni vodni celici.

Z vgradnjo novega stikalnega bloka Xiria konfiguracije VmkVmkVmkT bo omogočen daljinski nadzor in upravljanje TP Središče 1 ter avtomatizacija SN omrežja na širšem območju Središča ob Dravi.

Omogočeno bo naslednje:

- Izvajanje lokalnih in daljinskih stikalnih manipulacij v normalnem in okvarjenem stanju omrežja.
- Izboljšanje zanesljivosti napajanja obravnavane in sosednjih TP.
- Prenapajanje in izolacija okvare.
- Izboljšanje zanesljivosti oskrbe odjemalcev električne energije.
- Izboljšanje sistemskih kazalnikov SAIDI in SAIFI.
- Podaljšanje življenjske dobe objekta in njegove opreme.

5 PRAKTIČNI DEL

5.1 Izračun in preverjanje ustreznosti opreme

Obravnavana TP Središče 1 je napajana iz razdelilne transformatorske postaje RTP Ormož 110/20 kV preko SN izvoda J19, daljnovoda (DV) 20 kV Središče.

Na osnovi podatkov o konfiguraciji omrežja in ob upoštevanju impedance napajalnih SN vodov znaša kratkostična moč ob pojavu trifaznega kratkega stika na 20 kV zbiralkah v obravnavani postaji: $S_k = 66,6$ MVA po podatkih Elektra Maribor.

Iz vrednosti kratkostične moči je mogoče izračunati ustrezni kratkostični tok, ki predstavlja temeljni parameter za dimenzioniranje srednjenapetostne opreme v transformatorski postaji.

Ta vrednost služi kot vhodni podatek za preverjanje ustreznosti stikalnega bloka Xiria, kabelskih povezav in zaščitnih elementov glede na maksimalne električne obremenitve, ki se lahko pojavijo med obratovanjem ali ob napaki v omrežju.

V nadaljevanju poglavja so zato izvedeni:

- izračuni nazivnih in kratkostičnih tokov na NN in SN strani transformatorja,
- preverjanje udarnih tokov in toplotne vzdržljivosti elementov,
- tehnično dimenzioniranje stikalnega bloka Xiria 24 kV,
- preverjanje ustreznosti kabelske povezave med transformatorjem in SN blokom ter
- analiza zaščitnega releja WIC1 glede na zahteve obratovalne varnosti in selektivne zaščite.

5.1.1 Kratkostične razmere

Začetni simetrični tok KS:

$$I_k'' = C \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_{20}},$$

kjer je:

I_k'' – začetni simetrični tok [A],

C – korekcijski faktor, ki upošteva napetostne tolerance in nihanja v omrežju,

U_N – nazivna napetost omrežja [V],

Z_{20} – ekvivalentna impedanca omrežja na mestu kratkega stika [Ω].

Izračun nazivnega toka na NN strani:

$$I_{n_{NN}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{400.000}{\sqrt{3} \cdot 400} \approx 577,35 \text{ A},$$

kjer je:

$I_{n_{NN}}$ – nazivni tok transformatorja na nizkonapetostni strani [A],

S_n – nazivna moč transformatorja [VA],

U_2 – nazivna napetost sekundarnega (NN) navitja [V].

Izračun kratkostičnega toka na NN strani:

$$I_{k_{NN}} = \frac{I_n}{U_k} = \frac{577,35}{0,0423} \approx 13,64 \text{ k},$$

kjer je:

$I_{k_{NN}}$ – začetni kratkostični tok na NN strani [A],

I_n – nazivni tok transformatorja [A],

U_k – kratkostična napetost transformatorja v relativni obliki [%/100].

Izračun udarnega toka KS na NN strani:

$$I_{udar_{NN}} = k \cdot I_{k_{NN}} = 2,5 \cdot 13,64 = 34,1 \text{ kA},$$

kjer je:

$I_{udar_{NN}}$ – udarni tok kratkega stika na NN strani [A],

f – faktor udarnega toka,

$I_{k_{NN}}$ – začetni kratkostični tok na NN strani [A].

Izračun nazivnega toka na SN strani:

$$I_{n_{SN}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{400.000}{\sqrt{3} \cdot 20.000} \approx 11,54 \text{ A},$$

kjer je:

$I_{n_{SN}}$ – nazivni tok transformatorja na sredjenapetostni strani [A],

S_n – nazivna moč transformatorja [VA],

U_1 – nazivna napetost primarnega (SN) navitja [V].

Izračun kratkostičnega toka na SN strani:

$$I_{k_{SN}} = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{66.600.000}{\sqrt{3} \cdot 20.000} = 1,92 \text{ kA},$$

kjer je:

$I_{k_{SN}}$ – začetni kratkostični tok na SN strani [A],

S_k – kratkostična moč omrežja na mestu TP [VA],

U_1 – nazivna napetost primarnega (SN) navitja [V].

Izračun udarnega toka KS na SN strani:

$$I_{udar_{SN}} = k \cdot I_{k_{SN}} = 2,5 \cdot 1,92 = 4,8 \text{ kA},$$

kjer je:

$I_{udar_{SN}}$ – udarni tok kratkega stika na SN strani [A],

k – faktor udarnega toka,

$I_{k_{SN}}$ – začetni kratkostični tok na SN strani [A].

TP 20/0,4 kV Središče1, 1 x 400 kVA		
Kratkostični tok:	SN stran	NN stran
Začetni izmenični kratkostični tok	1,92 kA	13,64 kA
Udarni tok kratkega stika	4,8 kA	34,1 kA
Trajni tok kratkega stika	1,92 kA	13,66 kA

Tabela 1: Kratkostični tokovi na SN in NN strani transformatorja

(Vir: Elektro Maribor, 2024)

Kratkostični tokovi so računani za primer obstoječega transformatorja moči 400 kVA.

5.1.2 Dimenzioniranje stikalnega bloka

Pri izbiri in vgradnji SN stikalnega bloka je ključno zagotoviti, da izbrana oprema ustreza izračunanim kratkostičnim pogojem in obratovalnim zahtevam na mestu vgradnje. Dimenzioniranje se izvaja na osnovi nazivnih podatkov transformatorja, kratkostične moči omrežja ter nazivnih zmogljivosti stikalnega bloka, ki jih določa proizvajalec.

Za obravnavano transformatorsko postajo TP Središče 1 je bil izbran kompaktni stikalni blok Xiria proizvajalca Eaton, konfiguracije VmkVmkVmkT, z nazivno napetostjo 24 kV in nazivnim tokom 630 A.

Tehnični podatki predvidenega SN bloka so prikazani v spodnji tabeli.

Splošno:	
Maksimalna obratovalna napetost (kV)	24
Zdržna atmosferska udarna napetost (kV)	125
Zdržna izmenična napetost (kV)	50
Odpornost na električni oblok (kA-s)	16-1

Zbiralke:	
Nazivni tok (A)	630
Nazivni kratkotrajni zdržni tok (kA-s)	16-3
Nazivni temenski zdržni tok (kA-s)	40

Odklopnik:	
Nazivni tok (A)	200
Nazivni izklopni tok (kA)	16
Vklopna zmogljivost (kA)	40
Nazivni kratkotrajni zdržni tok (kA-s)	16-3

Ločilno stikalo:	
Nazivni tok (A)	630
Nazivni izklopni tok pri $\cos \varnothing=0,7$ (A)	630
Vklopna zmogljivost (kA)	40
Nazivni kratkotrajni zdržni tok (kA-s)	16-3

Tabela 2: Tehnični podatki SN stikalnega bloka XIRIA
(Vir: Elektro Maribor, 2024)

Na podlagi izračunanih vrednosti kratkostičnih tokov v prejšnjem poglavju velja:

$$I_{ku}(\text{celice}) = 40 \text{ kA} > 4,8 \text{ kA}$$

$$I_{kt}(\text{celice}) = 16 \text{ kA} > 1,92 \text{ kA}$$

Iz navedenih neenačb je razvidno, da nazivna kratkostična zmogljivost stikalnega bloka Xiria večkratno presega dejanske obratovalne tokove, izračunane za obravnavano postajo. To pomeni, da je oprema ustrezno dimenzionirana in varno deluje znotraj dopustnih električnih in mehanskih obremenitev.

Poleg kratkostičnih zmogljivosti je bila preverjena tudi toplotna obremenitev zbiralk in kontaktov. Ker je nazivni tok bloka (630 A) višji od nazivnega toka transformatorja (11,5 A na SN strani), ni nevarnosti za pregrevanje ali prekoračitev dopustnih temperatur pri obratovanju.

Zasnova Xirie z vakuumskimi odklopniki dodatno zagotavlja visoko električno trdnost in minimalno obrabo kontaktov, kar podaljšuje življenjsko dobo naprave.

Kompaktni stikalni blok Xiria izpolnjuje zahteve standardov, ki določajo preskusne pogoje, nazivno izolacijsko raven in mehansko odpornost opreme. Ohišje bloka je hermetično zaprto, izolacijski plin je čist suh zrak, kar izključuje uporabo plinov SF₆ ter s tem zmanjšuje vpliv na okolje.

5.1.3 Dimenzioniranje in preverjanje ustreznosti kableske povezave med transformatorjem in SN stikalnim blokom

Pri načrtovanju in prenovi transformatorske postaje je potrebno ustrezno dimenzionirati kebeljske povezave, ki povezujejo SN stikalni blok in energetski transformator.

Izbor kablov mora zagotoviti mehansko, električno in toplotno odpornost, ki ustreza nazivni moči transformatorja ter pričakovanim razmeram na mestu priklopa.

Za povezavo med SN blokom Xiria in transformatorjem v TP Središče 1 je bil uporabljen enožilni SN kabel tipa NA2XS(F)2Y 1x70 RM/16 12/20 kV, proizvajalca NKT. Kabel je primeren za vgradnjo v zemljo, kableske kanale in znotraj objektov, kjer je zahtevana visoka stopnja električne trdnosti in mehanske zaščite.

Tehnični podatki kabla NA2XS(F)2Y 1x70 RM/16 12/20 kV so naslednji:

- Nazivna napetost $U_0/U = 12/20$ kV
- Prerez vodnika $S = 70$ mm²
- Material vodnika aluminij (Al)
- Nazivna obremenitev (v zraku) $I_z = 245$ A
- Največja dopustna temperatura vodnika $\Theta_{\max} = 90$ °C
- Odpornost vodnika pri 20 °C $R_{20} = 0,443$ Ω/km
- Minimalni polmer upogiba $12 \times D$

Nazivni tok transformatorja znaša:

$$I_{n_{SN}} = 11,54 \text{ A}$$

Tok v eni fazi transformatorja moči 400 kVA znaša:

$$I_f = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_m \cdot \cos\phi} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 0,95} = 12,2$$

Skupni dopustni tok ene faze, izvedene s kabli NA2XS(F)2Y 1x70RM/16 12/20 kV znaša:

$$I_{Sdop} = I_{dop} \cdot k = 255 \cdot 0,9 = 229,5 \text{ A},$$

kjer je:

I_f – tok ene faze

U_m – medfazna napetost

S – moč transformatorja

$\cos \varphi$ – faktor delavnosti

$I_{s_{dop}}$ – skupni dopustni tok kabla

I_{dop} – dopustni tok enega kabla

K – faktor polaganja za več kablov

Izpolnjen mora biti pogoj $I_{s_{dop}} > I_f$, kar je zagotovljeno.

Nazivni tok obremenljivosti kabla znaša:

$$I_z = 255 \text{ A.}$$

Ker velja: $I_z > I_{nSN}$,

lahko zaključimo, da kabel z vidika toplotne zmogljivosti več kot zadostuje za prenos nazivnega toka transformatorja. Temperatura vodnika pri nazivni obremenitvi ostaja bistveno pod mejno vrednostjo 90 °C, kar zagotavlja dolgo življenjsko dobo izolacijskega materiala XLPE.

Kabel mora poleg toplotne zmogljivosti prenesti tudi kratkostične obremenitve v primeru napake v omrežju.

Kratkostični tok na SN strani, izračunan v poglavju 5.2.1., znaša:

$$I_{kSN} = 1,92 \text{ kA.}$$

Toplotna vzdržljivost kabla za trajanje kratkega stika $t = 1 \text{ s}$ se izračuna po naslednji enačbi:

$$I_{k,term} = k \cdot S,$$

kjer je:

k – 143 (za aluminijaste vodnike z izolacijo XLPE)

S – 70 mm²

$$I_{k,term} = 143 \cdot 70 = 10,01 \text{ kA.}$$

Ker velja:

$$I_{k,term} = 10,01 \text{ kA} > 1,92 \text{ kA},$$

lahko zaključimo, da kabel zanesljivo prenaša kratkostični tok brez nevarnosti toplotne ali mehanske poškodbe.

5.1.4 Zaščita

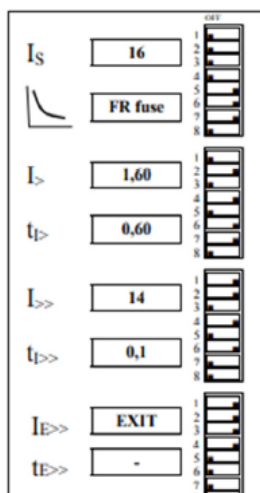
Z uvedbo sodobnih, z zrakom izoliranih SN stikalnih blokov, kot je Xiria proizvajalca Eaton, se v elektrodistribucijskih sistemih uveljavlja prehod na varovanje transformatorjev s pomočjo zaščitnih relejev in vakuumskih odklopnikov, namesto klasičnih visokonapetostnih varovalk. Tak sistem omogoča natančnejše in prilagodljive nastavitve zaščite, s čimer se poveča zanesljivost obratovanja ter zaščita ljudi in opreme.

V TP Središče 1, kamor je vgrajen transformator moči 400 kVA, se za zaščito uporablja zaščitni rele tipa WIC1, ki omogoča simulacijo delovanja klasičnih varovalk. Na osnovi priročnika proizvajalca releja je mogoče nastaviti mikro stikala za zaščitne karakteristike, ki ustrezajo delovanju varovalk z nazivnim tokom 25 A ali 32 A. Takšna nastavitve zagotavlja selektivnost in ustrezno zaščito transformatorja pred kratkimi stiki in preobremenitvami, hkrati pa omogoča kasnejšo nadgradnjo sistema z možnostjo daljinskega upravljanja in nadzora.

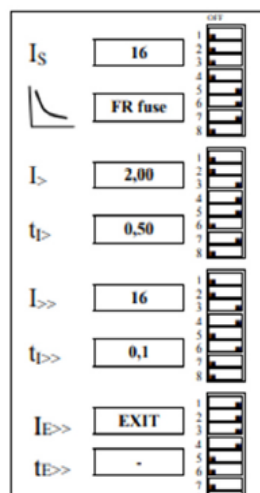
400 kVA — 20/0,4 kV

Tokovni instrumentni transformatorji W2

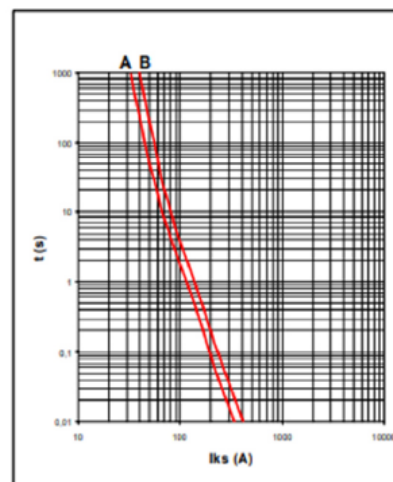
A. varovalka 25 A



B. varovalka 32 A



Zaščitna karakteristika:



Slika 7: Parametri za zaščitno 400 kVA transformatorja
(Vir: Žnidarič, 2012)

Zaščitni rele WIC1 je razvit posebej za SN stikalne naprave z odklopniki in vključuje naslednje zaščitne funkcije:

- tri fazna pretokovna in kratkostična zaščita z variabilno časovno nastavitvijo,
- tri fazna pretokovna zaščita z možnostjo izbire inverzne časovne karakteristike in časovno nastavljiva kratkostična zaščita,
- časovno nastavljiva zemeljska zaščita (opcija).

Zaščitni rele WIC1 v kombinaciji z odklopnikom nadomešča kombinacijo odklopnega ločilnika in VN varovalk pri zaščiti transformatorjev in kabelskih vodov v kompaktnih stikalnih napravah.

5.2 Postopek zamenjave srednjenapetostnega bloka

5.2.1 Pripravljalna dela

Pred začetkom zamenjave srednjenapetostnega (SN) bloka je bilo treba urediti zunanji dostop v nadstropje transformatorske postaje. Demontirano je bilo obstoječe okno, na njegovo mesto pa so bila vgrajena vrata, ki so omogočila varen iznos starega in vnos novega SN bloka. Sočasno je bila izvedena priprava novih SN kabelskih povezav za transformator ter za SN vode (DV Ormož in DV Jastrepci). Uporabljeni so bili kabli tipa NA2XS(F)2Y 1x70 RM/16 12/20 kV za transformator in NA2XS(F)2Y 1x150 RM/16 12/20 kV za SN vode, ki zagotavljajo ustrezno mehansko trdnost ter električno zaščito.

Zagotavljanje varnega dela

Pred začetkom del je bilo izdano naročilo za izklop, s katerim je bila obratovalna služba seznanjena s predvidenim potekom del ter s potrebo po vstavitvi breznapetostnega stanja na elektroenergetskem postroju. Na osnovi naročila je obratovalna služba pripravila delovni program, ki je vseboval natančen opis poteka del, zaporedje stikalnih manipulacij ter izvedbo zaščitnih in varnostnih ukrepov. Delovni program je služil kot osnova za pripravo delovnega naloga, ki ga izda odgovorna oseba distribucijskega podjetja.

Delovni nalog je uradni dokument, ki dovoljuje izvajanje del na elektroenergetskih postrojih, v skladu z delovnim programom. V njem so določeni:

- točen kraj in čas izvajanja del,
- odgovorne osebe (odgovorna oseba za vzpostavitev breznapetostnega stanja, vodja delovne skupine, koordinator programskih del, koordinator preklopitev),
- opis posega in zaporedje del,
- seznam pooblaščenih izvajalcev,
- varnostni ukrepi (izklop, ozemljitev, varovanje delovišča),

- posebna opozorila in omejitve.

S podpisom delovnega naloga in predajo dovoljenja za delo odgovorna oseba potrdi, da so izpolnjeni vsi pogoji za varno delo. Izvajanje del brez veljavnega delovnega naloga in dovoljenja za delo ni dovoljeno.

Pred pričetkom del je bilo treba izvesti vrsto stikalnih manipulacij, zaščitnih ter varnostnih ukrepov, s katerimi se zagotovi varno delovno okolje. Manipulacije so se izvajale po pisnem navodilu (t. i. stikalnem programu) in pod neposrednim nadzorom odgovorne osebe. Pri vzdrževanju in upravljanju SN naprav je obvezna uporaba zaščitne opreme, ustreznega orodja in predpisanih osebnih zaščitnih sredstev. Vsa vzdrževalna dela se lahko izvajajo izključno na osnovi veljavnih dokumentov za varno delo, kot so delovni program, delovni nalog ter dovoljenje za delo.

Pred začetkom del je bilo treba zagotoviti breznapetostno stanje transformatorske postaje in vseh pripadajočih sredjenapetostnih vodov z izvedbo stikalnih manipulacij, ločevanjem tokovnih lokov in ozemljitvijo. Vsa dela pod napetostjo so prepovedana. Pri zagotavljanju breznapetostnega stanja je bilo upoštevanih pet osnovnih varnostnih pravil (pet zlatih pravil), ki so naslednja:

- izklopiti in vidno ločiti napravo z vseh strani,
- preprečiti ponovni vklop,
- preveriti breznapetostno stanje,
- izvesti ozemljitev in kratkostičenje,
- ograditi in označiti sosednje naprave, ki so pod napetostjo.

V obravnavanem primeru so bile opravljene stikalne manipulacije in izvedeni zaščitni ukrepi v dveh dneh; prvi dan 48 točk, drugi dan pa 53 točk. Med osrednjimi postopki so bili:

- izklop daljnovodov iz vseh smeri na določenih ločilnih mestih, s čimer je bila prekinjena dovodna napetost proti obravnavani TP,
- prenapajanje drugih TP na širšem območju, ki so v sredjenapetostni zanki,
- ločevanje tokovnih lokov,
- odklop transformatorja v postaji (odklop SN odklopnika oziroma ločilnika),
- vidna ločitev vseh vodov (odprt ločilnik, ločen tokovni lok), s čimer je bil zagotovljen fizični razmik,
- preverjanje breznapetostnega stanja s preizkuševalcem napetosti, ki je bil predhodno preizkušen na znanem napetostnem viru,
- ozemljitev in kratkostičenje vseh SN vodov z ustreznimi ozemljitvenimi napravami in kratkostičnimi spojkami,
- namestitev varnostnih znakov,
- merjenje sofaznosti.

Vse manipulacije so bile zabeležene v stikalnem programu, ki ga je potrdil dispečer v centru vodenja. Po izvedbi vseh varnostnih ukrepov je bila izvedena zamenjava SN bloka, po zaključku del pa so bile manipulacije opravljene v obratnem vrstnem redu in smislu (odstranitev ozemljitev, zapiranje ločilnikov, vklop odvodov, spajanje tokovnih lokov, merjenje sofaznosti, vzpostavitve normalnega obratovalnega stanja) – vse ob soglasju dispečerja in vodje del.

Zamenjava stikalnega bloka je bila izvedena v dveh delovnih dneh, pri čemer so bili izklopi 20 kV omrežja skrbno načrtovani. Časovni raspored del je bil prilagojen zahtevnosti postopka, zagotavljanju breznapetostnega stanja ter varnostnim zahtevam pri delu na elektroenergetskih postrojih.

Prvi dan izklopa sta bili izvedeni demontaža starega in montaža novega SN bloka ter priklop ene vodne celice (DV Ormož) in transformatorske celice, ki zagotavlja povezavo med SN-blokom in transformatorjem. Transformator in SN blok sta bila začasno priključena.

Drugi dan izklopa je bil izveden priklop preostalih dveh vodnih celic (DV Jastrebcu in KB Ortrade) ter izvedene meritve in preizkusi zaščite.

Del 20 kV omrežja je bil v času izklopov prenapajan preko DV Jastrebcu iz RTP Ljutomer.

5.2.2 Demontaža obstoječega SN bloka

Demontaža obstoječega SN bloka je potekala po vnaprej določenem zaporedju korakov, skladno z delovnim programom in varnostnimi postopki, ki jih je potrdil delovodja.

V začetni fazi so bili izvedeni odklopi vseh obstoječih kablov proti transformatorju, DV Ormož in DV Jastrebcu. Vsak odklopljen kabel je bil ustrezno označen z identifikacijskimi oznakami, kar je omogočilo pravilno zaporedje priklopa novih kablov.

Po končanem odklopu kablov je sledila fizična demontaža in iznos starega stikalnega bloka iz prostora transformatorske postaje. Zaradi velike mase in nerodnih dimenzij opreme je bilo pri demontaži treba uporabiti dvižno opremo in avtodvigalo, kar je zagotavljalo varno in nadzorovano premikanje elementov. Poseg je potekal pod strogim nadzorom vodje delovne skupine, ob upoštevanju vseh varnostnih ukrepov in uporabi zaščitne opreme.



*Slika 8: Postopek iznosa starega stikalnega bloka iz TP
(Lastni vir)*

5.2.3 Priprava prostora za novi SN blok

Po uspešno opravljeni demontaži starega SN bloka je sledila priprava prostora za namestitev novega kompaktnega bloka Xiria.

V prostor transformatorske postaje je bil nameščen kovinski nosilec, prilagojen konstrukcijskim zahtevam novega bloka, s čimer je bila zagotovljena mehanska stabilnost.

Površina je bila natančno izravnana in očiščena, odstranjeni so bili vsi ostanki betona, prahu in kovinskih delcev, ki bi lahko vplivali na montažo in delovanje opreme.

Pred montažo je bila še enkrat izvedena kontrola dimenzij prostora in nosilne konstrukcije.

Po končani pripravi je bil prostor pregledan in potrjen s strani vodje del ter pripravljen za vnos in montažo novega SN bloka.

5.2.4 Montaža novega SN bloka

Montaža novega SN stikalnega bloka in priklop kablov sta potekala v več zaporednih korakih, ki so si sledili v naslednjem vrstnem redu: vnos in namestitev stikalnega

bloka, namestitvev kabelskih konektorjev in priklop kablov, montaža odvodnikov prenapetosti, montaža objemnih tokovnih transformatorjev, izvedba ozemljitev ter priklop zaščite.

1. Vnos in namestitvev bloka

Novi SN blok Xiria je bil s pomočjo avtodvigala in dvižne opreme previdno vnesen v objekt in nameščen na predhodno pripravljen kovinski nosilec.

Po postavitvi je bil blok natančno poravnan in mehansko pritrjen z jeklenimi vijaki, ki zagotavljajo stabilnost in varno obratovanje v vseh obratovalnih pogojih.



*Slika 9: Xiria nameščena na kovinskem nosilcu v TP
(Lastni vir)*

2. Namestitvev kabelskih konektorjev in priklop kablov

Za povezavo novega SN bloka so bili uporabljeni aluminijasti kabli proizvajalca NKT:

- NA2XS(F)2Y 1x70 RM/16 12/20 kV za transformatorsko celico,
- NA2XS(F)2Y 1x150 RM/25 12/20 kV za vodne celice.

Priključna oprema je bila proizvedena pri proizvajalcu Nexans. Za priklop transformatorja so bili uporabljeni oklopljeni ločljivi kotni konektorji tipa »A« (250 A), za priklop vodnih celic pa oklopljeni ločljivi T-konektorji tipa »C« (630–1250 A).

Za priključitev stikalnega bloka so bili uporabljeni kabli proizvajalca NKT, in sicer tipa NA2XS(F)2Y 1x70 RM/16 12/20 kV za transformatorsko celico in tipa NA2XS(F)2Y 1x150 RM/25 12/20 kV za vodne celice. Priključna oprema za priklop kablov je bila proizvedena pri proizvajalcu Nexans. Za priklop transformatorske celice je bil uporabljen oklopljeni ločljivi kotni konektor za skožnjik tipa »A«, 250 A, za priklop vodnih celic pa oklopljeni ločljivi T konektor za skožnjik tipa »C« 630–1250 A.



*Slika 10: Oklopljeni ločljivi kotni konektor za skožnjik tipa »A«, 250A
(Lastni vir)*



*Slika 11: Oklopljeni ločljivi T konektor za skozijski tipa »C«, 630–1250A
(Lastni vir)*

3. Priprava kablov:

Priprava kabljskih koncev je bila izvedena s specialnim orodjem proizvajalca Intercable, ki omogoča natančno odstranjevanje zunanega plašča in polprevodne plasti brez poškodb osnovne izolacije in vodnika.



Slika 12: Set orodja za obdelavo kablskih koncev proizvajalca Intercable
(Lastni vir)



Slika 13: Pripravljene kabli za namestitev oklopljenih konektorjev
(Lastni vir)

4. Montaža kableskega konektorja:

Na obdelane kable so bili nameščeni konektorji tipa »A« in »C«, pritrjeni v skladu z navodili proizvajalca ter predpisanim zaporedjem delovnih postopkov.



*Slika 14: Nameščeni okljopljeni ločljivi T konektor
(Lastni vir)*



*Slika 15: Nameščeni oklopljeni ločljivi kotni konektor
(Lastni vir)*

5. Montaža odvodnikov prenapetosti

Na konektorje tipa »C« so bili nameščeni kompatibilni odvodniki prenapetosti za oklopljene ločljive konektorje. Ti zagotavljajo učinkovito zaščito opreme pred atmosferskimi in stikalnimi prenapetostmi ter povečujejo zanesljivost obratovanja SN bloka.



*Slika 16: Nameščeni odvodniki prenapetosti za oklopljene ločljive konektorje
(Lastni vir)*

6. Montaža objemnih tokovnih transformatorjev

Na posamezne kable vodnih celic so bili za potrebe daljinskega vodenja nameščeni objemni tokovni transformatorji, ki služijo za merjenje tokov v posameznih fazah.

Ti transformatorji omogočajo posredno meritev električnih veličin brez neposrednega priklopa merilnih instrumentov na vodnike pod napetostjo, kar povečuje varnost in zanesljivost meritev.



*Slika 17: Objemni tokovni transformator nameščen na kable
(Lastni vir)*

7. Izvedba ozemljitev

Izvedba ozemljitve kabla, konektorjev in objemnih tokovnih transformatorjev:

Kovinski zaslon kabla (bakrene žice), ozemljitve od konektorjev, ozemljitve odvodnikov prenapetosti in ozemljitve objemnih tokovnih transformatorjev so bile povezane z ozemljitveno točko v SN-bloku s pomočjo kabelskih čevljev in ozemljitvenega vodnika. Na ta način je bila zagotovljena galvanska povezava z zaščitnim vodnikom stikalnega bloka.

Ozemljitveni vodnik in ohišje bloka je bilo dodatno povezano na skupni ozemljitveni vodnik transformatorske postaje.

8. Priklop zaščite

Izveden je bil priklop zaščitnega releja tipa WIC1, ki omogoča zaščito transformatorja pred preobremenitvami in kratkimi stiki ter nadomešča funkcijo visokonapetostnih varovalk. Rele omogoča tudi nastavitve zaščitnih karakteristik, prilagojenih moči in tipu transformatorja, pri čemer so bile te nastavitve predhodno ustrezno nastavljene in preizkušene.



Slika 18: Zaščitni rele WIC1
(Lastni vir)

5.2.5 Preizkusi in meritve

Po zaključeni montaži novega SN bloka so bili izvedeni vsi preizkusi in meritve, predpisani s standardom SIST EN 50110 in navodili proizvajalca opreme.

Meritve so potrdile ustreznost izvedenih del in pravilnost priklopa vseh električnih ter ozemljitvenih povezav.

Izvedeni so bili naslednji preizkusi:

- meritev galvanske povezave ozemljitvenega sistema,
- preizkus zaporedja faz po vklopu dovodov, ko je bila prisotna napetost na vodnih celicah,
- funkcionalni preizkus zaščitnega releja WIC1 (po priklopu transformatorske celice).

Rezultati vseh meritev so pokazali, da nova oprema deluje brezhibno in je v celoti skladna s tehničnimi zahtevami proizvajalca ter varnostnimi standardi.

5.2.6 Ponovni vklop in predaja v obratovanje

Po uspešno opravljenih meritvah in preizkusih je bila opravljena priprava na ponovni vklop ter predaja transformatorske postaje v redno obratovanje. Postopek je bil opravljen v skladu z obratovalnimi navodili distribucijskega podjetja, varnostnimi postopki ter pod neposrednim nadzorom odgovorne osebe in dispečerja centra vodenja.

Najprej so bile odstranjene vsečasne ozemljitve in kratkostične spojke, uporabljene med izvajanjem montažnih del. Nato so bili postoma zaprti ločilniki in odklopniki, pri čemer je bilo po vsakem vklopu preverjeno stanje napetosti in zaporednost faz. Postopno vklapljanje posameznih odvodov je omogočilo kontrolirano napajanje elektroenergetskega sistema, s čimer se je preprečilo morebitno prenapetostno obremenjevanje opreme.

Po preverjanju mehanske stabilnosti, električne povezave in pravilnega delovanja vseh zaščitnih funkcij je bil SN blok Xiria uspešno vključen v elektroenergetski sistem. Sledil je funkcionalni preizkus zaščitnega releja WIC1, ki je potrdil pravilno delovanje vseh nastavljenih zaščitnih funkcij. Po potrditvi ustreznega delovanja zaščite in komandnih vezij je bila transformatorska postaja uradno predana v redno obratovanje.

Celoten postopek ponovnega vklopa je bil zaključen po prejemu soglasja dispečerja, kar pomeni, da so bili izpolnjeni vsi pogoji za varno in zanesljivo vključitev transformatorske postaje v distribucijsko omrežje.

Z uspešno izvedbo zamenjave in ponovnim zagonom transformatorske postaje je bila dosežena polna funkcionalnost novega stikalnega bloka Xiria, ki omogoča zanesljivo obratovanje, višjo raven varnosti ter omogoča prihodnjo nadgradnjo z daljinskim nadzorom in vodenjem.

Tako prenovljena postaja bo v prihodnje prispevala k večji operativni učinkovitosti in stabilnosti lokalnega distribucijskega sistema.

5.3 Povzetek raziskave

Raziskava je bila osredotočena na prenovo podeželske transformatorske postaje Središče 1 z zamenjavo zastarelega sredjenapetostnega stikalnega bloka z novim kompaktnim blokom Xiria proizvajalca EATON. Namen raziskave je bil ugotoviti tehnične in obratovalne prednosti sodobnih vakuumsko izoliranih stikalnih blokov v primerjavi s starimi, zračno izoliranimi napravami ter preveriti njihov vpliv na zanesljivost, varnost in učinkovitost distribucijskega omrežja.

V prvem delu raziskave je bila izvedena analiza obstoječega stanja transformatorske postaje, ki je bila zgrajena leta 1926. Ugotovljeno je bilo, da obstoječa ločilna stikala ne ustrezajo več sodobnim tehničnim in varnostnim standardom ter da ne omogočajo vključitve naprednejših zaščitnih in komunikacijskih sistemov. Stara oprema je bila podvržena pogostim okvaram, vzdrževanje pa je bilo oteženo zaradi pomanjkanja nadomestnih delov. Zaradi tega je bila zamenjava SN stikalnega bloka nujna tako z vidika varnosti kot z vidika zanesljivosti obratovanja.

V praktičnem delu raziskave je bil natančno opisan celoten postopek prenove, ki je obsegal pripravljala dela, demontažo starega bloka, pripravo prostora, montažo novega bloka, priklop kablov, izvedbo ozemljitev, priklop zaščitnih elementov ter končne meritve in funkcionalne preizkuse. Pri izvedbi so bili uporabljeni sredjenapetostni kabli tipa NA2XS(F)2Y proizvajalca NKT in oklopljeni ločljivi konektorji tipa »A« in »C« proizvajalca Nexans, ki omogočajo varno in zanesljivo povezavo znotraj kompaktnega bloka. Za zaščito transformatorja je bil uporabljen zaščitni rele WIC1, ki omogoča nastavljive zaščitne karakteristike in funkcionalnost, primerljivo s klasičnimi sredjenapetostnimi varovalkami.

V raziskavi so bili opravljeni tudi izračuni in preverjanja elektrotehničnih parametrov, zlasti kratkostičnih razmer, dimenzioniranje stikalnega bloka ter ustreznosti kabljskih povezav. Rezultati izračunov so pokazali, da stikalni blok Xiria popolnoma izpolnjuje zahteve glede kratkostičnih zmogljivosti ($I_{ku} = 40 \text{ kA} > 4,8 \text{ kA}$ in $I_{ktr} = 16 \text{ kA} > 1,92 \text{ kA}$), kar potrjuje ustreznost izbrane opreme za obratovanje v danih omrežnih pogojih. Meritve galvanske povezave ozemljitvenega sistema in preizkusi delovanja zaščite so potrdili, da je izvedba skladna s standardi SIST EN 50110 in s priporočili proizvajalcev.

Rezultati prenove so prikazali več pomembnih tehničnih in obratovalnih izboljšav, kot so:

- Povečana zanesljivost delovanja in odpornost na obratovalne motnje.
- Izboljšana varnost osebja pri upravljanju in vzdrževanju.
- Možnost izvajanja daljinskih manipulacij in nadzora.
- Zmanjšani stroški vzdrževanja zaradi nižje potrebe po servisnih posegih.
- Podaljšana življenjska doba transformatorske postaje.

S prenovo je bila dosežena pomembna nadgradnja obstoječe infrastrukture, saj novi SN blok omogoča integracijo v sistem daljinskega vodenja, kar predstavlja temelj za avtomatizacijo distribucijskega omrežja. Daljinsko upravljanje omogoča hitrejše zaznavanje in odpravljanje napak ter zmanjšuje čas izpadov, kar pozitivno vpliva na kazalnike zanesljivosti oskrbe (SAIDI, SAIFI).

Sklepno lahko povzamemo, da raziskava potrjuje smiselnost in upravičenost zamenjave dotrajane sredjenapetostne opreme s sodobnimi kompaktnimi stikalnimi bloki. Prenova transformatorske postaje Središče 1 predstavlja primer dobre prakse v smeri modernizacije elektrodistribucijskega omrežja in sledi trendom digitalizacije ter daljinskega nadzora v elektroenergetiki. Ugotovitve so uporabne tudi pri načrtovanju prihodnjih prenov podobnih objektov, pri katerih je cilj povečati zanesljivost, varnost in učinkovitost distribucijskega sistema ob optimalni uporabi sodobne tehnologije.

6 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu je bila obravnavana prenova podeželske transformatorske postaje s poudarkom na zamenjavi dotrajanega srednjenapetostnega stikalnega bloka. Analiza je pokazala, da so starejši stikalni bloki zaradi svoje starosti, obrabe in tehnološke zastarelosti vse manj primerni za zanesljivo in varno obratovanje elektrodistribucijskega omrežja.

V teoretičnem delu so bile predstavljene osnovne značilnosti elektroenergetskega sistema ter vloga transformatorskih postaj. Izpostavljen je bil pomen srednjenapetostne opreme ter sodobnih rešitev, kot so kompaktni vakuumsko izolirani bloki. Ugotovljeno je bilo, da tovrstna oprema zagotavlja višjo stopnjo obratovalne varnosti, preprosto vzdrževanje in možnost nadgradnje z daljinskim vodenjem, kar je ključno za sodobne distribucijske sisteme.

Praktični del raziskave je prikazal celoten postopek prenove izbrane transformatorske postaje. Predstavljeni so bili pripravljalni in montažni postopki, izvedba kabelskih priključkov, ozemljitev in varnostni ukrepi.

Rezultati prenove potrjujejo, da sodobni stikalni bloki, kot je Xiria, pomembno izboljšujejo obratovalne pogoje in povečujejo odpornost sistema na motnje. Z vključitvijo daljinskega vodenja je omogočeno hitrejše odkrivanje in odpravljanje napak, kar prispeva k zmanjšanju izpadov ter večji zanesljivosti oskrbe odjemalcev.

Sklepno lahko ugotovimo, da je zamenjava zastarele stikalne opreme s sodobnimi kompaktnimi rešitvami smiselna tako z vidika varnosti kot tudi ekonomičnosti. Študija s tem potrjuje usmeritev distribucijskih podjetij k posodobitvam transformatorskih postaj in širši implementaciji daljinsko vodenih sistemov v elektrodistribucijskem omrežju.

7 LITERATURA IN VIRI

Bastian, P. (2013). *Elektrotehniški priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

EATON. (2025). *Xiria*. Pridobljeno 2.11.2025 z naslova <https://www.eaton.com/ae/en-gb/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/xiria.html>

Elektro Maribor. (2024). *Zamenjava SN in NN bloka* (interni vir). Maribor: Elektro Maribor.

GIZ. (2008). *Varnostna pravila za delo na elektroenergetskih postrojih*. Ljubljana: GIZ distribucije električne energije.

MR d.o.o. (2024). *Xiria 24kV Ring Main Unit*. Pridobljeno 20.5.2025 z naslova https://www.mr-ei.si/wp-content/uploads/2024/12/Brochure-XIRIA-2024_xcompressed.pdf

Pihler, J. (2003). *Stikalne naprave elektroenergetskega sistema*. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.

Razpet, A. (2001). *Elektroenergetski sistemi*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

TSN Tovarna stikalnih naprav. (2017). *Srednjenapetostni vakuumski odklopnik tip VO*. Pridobljeno 2.11.2025 z naslova <http://www.tsn.si/wp-content/uploads/2017/05/VO.pdf>

TSN Tovarna stikalnih naprav. (2022). *Stikalni aparati*. Pridobljeno 2.11.2025 z naslova <http://www.tsn.si/stikalni-aparati>

Žnidarič, M. (2012) *Zaščita distribucijskih transformatorjev z zaščitnimi releji WIC1MR*. Pridobljeno 2.11.2025 z naslova <https://www.mr-ei.si/wp-content/uploads/2019/03/Zascita-TR-z-WIC1.pdf>