



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

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

POSTAVITEV NOVE KTP ZARADI SLABIH NAPETOSTNIH RAZMER

Mentor: mag. Georgi Zlatarev, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Urška Vračun, prof. slov. in angl.

Kandidat: Sandi Blatnik

Kranj, marec 2026

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Georgiju Zlatarevu za pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala tudi Ivanu Kobetu iz podjetja Elektro Ljubljana za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Urški Vračun, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Predvsem se pa zahvaljujem Katarini za vso podporo tako pri študiju kot v življenju.

IZJAVA

Študent Sandi Blatnik izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Georgija Zlatareva.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole in v institucionalnem oz. nacionalnem repozitoriju (COBISS).

Dne: 6. 3. 2026

Podpis: _____

POVZETEK

Eden izmed najpogostejših izzivov v elektroenergetskih omrežjih so slabe napetostne razmere, ki se kažejo v odstopanjih napetosti od predpisanih mejnih vrednosti. To lahko povzroči različne nevšečnosti od zmanjšane učinkovitosti naprav do preobremenitve, kar lahko povzroči ekonomsko škodo distributerju in odjemalcem.

Po prejetju pritožbe odjemalca in opravljenih meritvah smo prišli do ugotovitve, da je rekonstrukcija omrežja nujno potrebna, saj ne ustreza predpisanim zahtevam. Analizirati je bilo treba obstoječe stanje in pripraviti najboljšo možno rešitev, ki bo delovala tudi za naslednjih nekaj let. Analiza je pokazala, da bo treba postaviti novo TP/K in s tem tudi vso pripadajočo kabelsko infrastrukturo. Pripravili smo pregled tehničnega poročila, ki vključuje izračun potrebne moči transformatorja. Predstavili bomo lokacijo in zaščito nove TP/K, nato pa prikazali potrebne izračune za določitev primerne kablove in njegovo polaganje. Opisali bomo tudi potek kablove NN in pripadajoče tokokroge. Sledi še dimenzioniranje ozemljitev in opis polaganja kablov.

KLJUČNE BESEDE

- slabe napetostne razmere
- rekonstrukcija
- nova transformatorska postaja
- kablovod 20 kV

SUMMARY

One of the most common challenges in power distribution networks is poor voltage conditions, which manifest as deviations of voltage from prescribed limit values. This can cause various issues, ranging from reduced device efficiency to overloads, potentially resulting in economic damage for both the distributor and the consumers.

After receiving a customer complaint and performing measurements, we concluded that network reconstruction is urgently required, as it does not meet the prescribed requirements. It was necessary to analyse the existing situation and prepare the best possible solution that will remain effective for several years. The analysis showed that a new transformer substation (TS/C) must be installed, along with all associated cable infrastructure. We prepared an overview of the technical report, which includes the calculation of the required transformer power. We will present the location and protection of the new TS/C, followed by the necessary calculations to determine a suitable cable line and its installation. We will also describe the route of the low-voltage cable line and its corresponding circuits. This is followed by grounding dimensioning and a description of cable installation.

KEYWORDS

- poor voltage conditions
- reconstruction
- new transformer substation
- 20 kV cable route

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev okolja	1
1.4	Predpostavke in omejitve	1
1.5	Metode dela	1
2	TEORETIČNE OSNOVE	2
2.1	Kakovost napetosti.....	2
2.2	Meritve	4
2.2.1	Uporabljena merilna oprema	4
2.2.2	Lokacija merjenja.....	4
2.2.3	Rezultati meritev.....	5
2.2.4	Zaključek	7
3	OBSTOJEČE STANJE	8
3.1	Analiza obstoječega stanja.....	8
3.2	Predlog tehnične rešitve in obseg investicije.....	8
4	TEHNIČNO POROČILO	12
4.1	Energetske osnove.....	12
4.1.1	Določitev konične moči.....	12
4.1.2	Izračun in izbira transformatorja	12
4.2	Izbira lokacije in transformatorske postaje.....	13
4.2.1	Lokacija TP/K	14
4.2.2	Opis nove TP/K	14
4.2.3	Zaščita TP/K in transformatorja	17
4.2.4	Zaščita TP/K pred delovanjem strele.....	19
4.3	20 KV kablovod	19
4.3.1	Splošno	19
4.3.2	Splošni podatki za 20 kV kabel NA2XS(FL) 2Y 1 x 150/25 mm ²	23
4.3.3	Križanja in približevanje SN kablovoda z ostalo infrastrukturo	24
4.4	Niskonapetostno omrežje	25
4.4.1	Splošno	25
4.4.2	Izračuni.....	27
4.5	Ozemljitve	29
4.5.1	Splošno	29
4.5.2	Zaščitna ozemljitev pri TP	29
4.5.3	Ozemljitve na NN omrežju.....	31
4.5.4	Polaganje ozemljitev.....	32
5	ZAKLJUČKI	33
6	LITERATURA IN VIRI	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Slika omrežja z mesti nastavljenih meritev.....	4
Slika 2: Omrežje s TP in merilnimi mesti.....	7
Slika 3: Obstoječe stanje.....	8
Slika 4: Nova TP/K.....	9
Slika 5: Trasa 20 kV kabla	9
Slika 6: Prerez jarka z EKK.....	10
Slika 7: Ocena razvoja porabe električne energije – DE KOČEVJE	13
Slika 8: Priključni vod 20 kV z novo TP/K	14
Slika 9: Shema sistema Ront.....	19
Slika 10: Shema bodočega stanja kablovoda	20
Slika 11: Impedanca.....	22
Slika 12: Podatki za kabel 150 mm ²	23
Slika 13: Prvi tokokrog	27
Slika 14: Drugi tokokrog.....	27
Slika 15: Tretji tokokrog.....	28
Slika 16: Četrty tokokrog.....	28

KAZALO TABEL

Tabela 1: Meje za NN omrežja.....	3
Tabela 2: Meje SN omrežja.....	3
Tabela 3: Predstavitev minimalnih, maksimalnih in povprečnih izmerjenih vrednosti napetosti in toka po posameznih fazah	5
Tabela 4: Predstavitev minimalnih, maksimalnih in povprečnih izmerjenih vrednosti napetosti in toka po posameznih fazah.....	6
Tabela 5: Predstavitev minimalnih, maksimalnih in povprečnih izmerjenih vrednosti napetosti in toka po posameznih fazah	6
Tabela 6: Jakost varovalnih vložkov	18
Tabela 7: Parametri 20 kV tokovodnikov	21
Tabela 8: Korekcijski faktor za zmanjšanje tokovne obremenljivosti	24
Tabela 9: Razporeditev udarov strel po jakosti udara.....	29
Tabela 10: Faktor k_t v odvisnosti od dolžine krakov	30

KRATICE IN AKRONIMI

EKK:	Elektro kabelska kanalizacija
KEE:	Kakovost električne energije
NN:	Nizka napetost
RTP:	Razdelilna transformatorska postaja
SN:	Srednja napetost
TP:	Transformatorska postaja
TP/K:	Kabelska transformatorska postaja

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Z izgradnjo novih objektov in rastjo porabe električne energije pri obstoječih odjemalcih prihaja tudi do slabšanja kakovosti napetosti. Ko kakovost napetosti na javnem omrežju upade, lahko pričakujemo pritožbe odjemalcev, kar vodi v razmislek o rekonstrukciji. Pred pripravo nadaljnjih projektov je treba narediti ustrezne meritve, ki nam pomagajo pri odločitvi o tem, kakšno rekonstrukcijo bomo izvedli. Pri tem imamo možnost nadgraditi obstoječe stanje ali pa postaviti nov objekt, ki bo pokrila potrebe po višji kakovosti napetosti tudi v prihodnje. Dobro premišljena rekonstrukcija bo tako zmanjšala število intervencij in slabih napetostnih razmer, ki vodijo v nezadovoljstvo odjemalcev.

1.2 Cilji naloge

Cilj diplomske naloge je predstaviti rekonstrukcijo omrežja zaradi pritožbe stranke. Prikazali bomo postopek meritev in analizo obstoječega stanja. Po preučitvi bomo predstavili izvedeno tehnično rešitev, tj. postavitev nove TP/K.

1.3 Predstavitev okolja

Omenjena rekonstrukcija je potekala v podjetju Elektro Ljubljana d. d., v katerem sem tudi sam zaposlen.

1.4 Predpostavke in omejitve

V urbanem naselju je izvedba kakršne koli rekonstrukcije lahko precejšen izziv, saj je težko predvideti vse okoliščine, ki se pojavijo med procesom izvedbe. Največjo težavo predstavlja pridobivanje služnostnih pogodb od lastnikov zemljišč, nato pa še za vso preostalo infrastrukturo, ki je položena v zemljo ob naši trasi ali pa jo celo prečka, npr. kanalizacija, plinovod, telefonsko omrežje ipd.

1.5 Metode dela

Pri izdelavi diplomske naloge smo uporabili več metod. Skozi diplomsko nalogo smo uporabili opisno metodo za pregled meritev in ključnih rešitev. Prikaz obstoječega stanja smo analizirali z analitično metodo in nato podali tudi izračune.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Kakovost napetosti

V diplomski nalogi je standard SIST EN 50160 (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2025) uporabljen kot osnovni referenčni dokument za ocenjevanje kakovosti napetosti v javnem distribucijskem omrežju. Standard opredeljuje značilnosti električne napetosti ter dopustne meje odstopanj v nizkonapetostnih in srednjenapetostnih omrežjih, zaradi česar se upošteva tudi na predajnih mestih v visokonapetostnem omrežju. Za operaterja distribucijskega omrežja predstavlja pomembno strokovno izhodišče pri presoji rezultatov meritev in zagotavljanju ustrezne kakovosti napetosti. Kljub temu je treba poudariti, da se kakovost napetosti zaradi vpliva različnih dejavnikov spreminja glede na čas in lokacijo v omrežju.

Z napredovanjem tehnologije se pojavlja tudi vedno več proizvodov, ki lahko povzročajo motnje v omrežju, zato se lahko sistemski operaterji ob ponavljajočih se motnjah odločijo za nameščanje inštrumentov, ki opravljajo nadzor nad nivojem motenj. Parametri kakovosti so tako odvisni tudi od naprav, ki so priključene v omrežje. Zahteve glede kakovosti napetosti dodatno pojasnjuje tudi regulator (Agencija za energijo, 2021).

Standard SIST EN 50160 (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2025) določa več merljivih parametrov, s katerimi se ocenjuje kakovost električne energije v distribucijskem omrežju. V nadaljevanju so navedeni ključni parametri, ki so relevantni tudi za obravnavani primer. Med te parametre sodijo odkloni napajalne napetosti, prekinitve napajanja (tako kratkotrajne kot dolgotrajne), upadi in porasti napetosti ter pojav harmonskih in medharmonskih napetosti. Poleg navedenega standard obravnava tudi fliker, ki se kaže kot utripanje oziroma migotanje svetil, neravnotežje napajalne napetosti ter prisotnost signalnih napetosti v omrežju. Terminologija in osnovne definicije s področja kakovosti električne energije so podane v mednarodnem elektrotehniškem slovarju (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2021).

Iz Tabele 1 so razvidne mejne vrednosti za NN omrežja (230 V).

ZNAČILNOSTI NAPETOSTI	INTEGRACIJSKA PERIODA	ČASOVNO MERILNO OBDOBJE	VERJETNOST NAHAJANJA ZNOTRAJ TOLERANCE	OVREDNOTENJE PARAMETRA - TOLERANCA
ODKLONI NAPAJALNE NAPETOSTI	10 minut	1 teden	95%	+/- 10%
	10 minut	1 teden	100%	+ 10% / - 15%
OMREŽNA FREKVENCA	10 sekund	1 teden/leto	99,50%	+/- 1%
	10 sekund	1 teden/leto	100%	+4% / -6%
FLIKER	2 uri	1 teden	95%	=< 1
HARMONIKI	10 minut	1 teden	95%	Sist en 50160
NERAVNOTEŽJE NAPAJALNE NAPETOSTI	10 minut	1 teden	95%	=< 2%
SIGNALNE NAPETOSTI	3 sekunde	1 dan	99%	Sist en 50160

Tabela 1: Meje za NN omrežja
(Vir: Elektro Primorska, 2025)

V Tabeli 2 so razvidne mejne vrednosti za SN omrežja.

DEFINICIJA	INTEGRACIJSKA PERIODA	ČASOVNO MERILNO OBDOBJE	VERJETNOST NAHAJANJA ZNOTRAJ TOLERANCE	OVREDNOTENJE ZNAČILNOSTI - TOLERANCA
ZNAČILNOST				
Odkloni napajalne napetosti	10 minut	1 teden	SN 99 %	£ ± 10 %
			SN 100 %	£ ± 15 %
Omrežna frekvenca	10 s	1 leto	99,5 %	£ ± 1 %
			100 %	£ + 4 %/- 6 %
Fliker	2 uri	1 teden	95 %	£ 1
Harmoniki	10 minut	1 teden	95 %	SIST EN 50160
Neravnotežje napajalne napetosti	10 minut	1 teden	95 %	£ 2 %
Signalne napetosti	3 sekunde	1 dan	99 %	SIST EN 50160

Tabela 2: Meje SN omrežja
(Vir: Elektro Primorska, 2025)

2.2 Meritve

V nadaljevanju diplomske naloge bomo prikazali potek rekonstrukcije omrežja, ki se je začelo po začetni pritožbi stranke nad kakovostjo dobavljene električne energije. Skladno z reklamacijo je podjetje Elektro Ljubljana d. d. zahtevalo meritev osnovnih parametrov kakovosti električne energije (KEE) na področju TP Sodražica Žaga KTP, Sodražica. Meritve so bile izvedene v smislu ugotavljanja KEE in obremenitve izvoda.

2.2.1 Uporabljena merilna oprema

Analizatorji kakovosti napetosti:

- Memobox 300, tov. št.: QR5 73295 EB Status: MP, datum umer.: 17. 9. 2014,
- Memobox 300, tov. št.: AT0 92142 OB Status: MP, datum umer.: 4. 9. 2015,
- Memobox 300, tov. št.: QR5 73296 EB Status: MP, datum umer.: 18. 9. 2014.

2.2.2 Lokacija merjenja

Meritve so bile izvedene na naslednjih merilnih mestih:

- Merilno mesto M1: TP Sodražica Žaga KTP, NN zbiralke, SN = 250 kVA, IN= 361 A.
- Merilno mesto M2: TP Sodražica Žaga KTP, TKG-1 – Vesel.
- Merilno mesto M3: Prezemno-predajno mesto: Vide Štupica, Kurirska cesta 7, Sodražica. Oddaljenost od TP je okvirno 650 m.



Slika 1: Slika omrežja z mesti nastavljenih meritev
(Lasten vir)

2.2.3 Rezultati meritev

Zakon o oskrbi z električno energijo (2021) opredeljuje splošne pogoje za dobavo in odjem električne energije iz distribucijskega omrežja. Pri strokovni presoji kakovosti napetosti se v praksi uporablja slovenski standard SIST EN 50160.

Standard SIST EN 50160 (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2025) temelji na statistični obravnavi izmerjenih vrednosti. Pri večini obravnavanih parametrov določa, da mora biti v okviru enotedenskega merilnega obdobja z desetminutnim integracijskim intervalom vsaj 95 % izmerjenih vrednosti znotraj predpisanih mej. Posledično standard dopušča, da manjši delež merilnih zapisov, in sicer do 5 % vseh desetminutnih intervalov, preseže dovoljene meje, kar v enotedenskem obdobju predstavlja skupno približno 8,4 ure. Posamezne izmerjene vrednosti se v času merilnega tedna obravnavajo kot medsebojno neodvisne časovne veličine.

Merilno mesto M1 (TP – zbiralke): Na podlagi opravljenih meritev je bilo ugotovljeno, da vsi obravnavani merljivi parametri kakovosti električne energije izpolnjujejo zahteve, določene v standardu.

Parameter	Faza	L1	L2	L3
	Vrednost			
Efektivne vrednosti napetosti [V]	Maksimalna ⁴	239,0	239,4	239,1
	Max po EN50160 ³	237,5	238,0	237,6
	Povprečna ⁶	234,3	234,6	234,0
	Min po EN50160 ⁷	229,6	229,8	229,3
	Minimalna ⁸	223,1	227,4	227,0
Efektivne vrednosti toka [A]	Maksimalna ⁹	253,9	269,6	291,8
	Max povprečna ¹⁰	215,8	236,4	258,1
	Povprečna ¹¹	138,6	145,5	167,5

Tabela 3: Predstavitev minimalnih, maksimalnih in povprečnih izmerjenih vrednosti napetosti in toka po posameznih fazah
(Vir: Elektro Ljubljana d. d., 2018)

Merilno mesto M2 (TKG-1 – Vesel): Na podlagi opravljenih meritev je bilo ugotovljeno, da vsi obravnavani merljivi parametri kakovosti električne energije izpolnjujejo zahteve, določene v standardu.

Parameter	Faza	L1	L2	L3
	Vrednost			
Efektivne vrednosti napetosti [V]	Maksimalna	239,0	239,4	239,0
	Max po EN50160	237,4	238,0	237,5
	Povprečna	234,2	234,5	233,9
	Min po EN50160	229,5	229,8	229,1
	Minimalna	222,7	227,3	227,0
Efektivne vrednosti toka [A]	Maksimalna	91,1	94,8	90,3
	Max povprečna	69,6	64,7	65,2
	Povprečna	33,1	38,3	35,8

Tabela 4: Predstavitev minimalnih, maksimalnih in povprečnih izmerjenih vrednosti napetosti in toka po posameznih fazah
(Vir: Elektro Ljubljana d. d., 2018)

Merilno mesto M3 (NNR Štupica): Rezultati meritev so pokazali, da vrednosti flikerja presegajo s standardom določene meje v vseh treh fazah, in sicer v fazi L1 za 56 %, v fazi L2 za 52 % ter v fazi L3 za 74 %. Poleg tega je bilo ugotovljeno odstopanje višjih harmonskih napetosti, pri čemer je bila pri 15. harmoniku v fazi L3 izmerjena vrednost, ki presega dovoljeno mejo za 10 %. Med meritvami je bilo zaznано tudi večje število upadov napetosti, ki so se razlikovali tako po amplitudi kot po trajanju. Takšna odstopanja kažejo na izrazito nestabilne napetostne razmere na obravnavanem odjemnem mestu, kar je bil eden izmed ključnih razlogov za nadaljnjo obravnavo tehnične rešitve.

Parameter	Faza	L1	L2	L3
	Vrednost			
Efektivne vrednosti napetosti [V]	Maksimalna	245,5	247,3	240,9
	Max po EN50160	237,3	236,5	237,1
	Povprečna	228,6	228,8	228,5
	Min po EN50160	222,1	221,4	222,8
	Minimalna	213,8	212,4	204,4
Efektivne vrednosti toka [A]	Maksimalna	10,4	11,0	41,3
	Max povprečna	5,5	1,5	10,3
	Povprečna	0,7	0,4	0,9

Tabela 5: Predstavitev minimalnih, maksimalnih in povprečnih izmerjenih vrednosti napetosti in toka po posameznih fazah
(Vir: Elektro Ljubljana d. d., 2018)

V standardu SIST EN 50160 (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2025) je fliker opredeljen kot pojav nestalnega vidnega zaznavanja, ki nastane zaradi časovnih sprememb svetlobnega dražljaja. Do pojava flikerja pride kot posledica napetostnih nihanj v omrežju, ki povzročajo spremembe svetilnosti svetlobnih virov, kar uporabniki zaznajo kot migetanje svetlobe. Intenzivnost motenja se povečuje z večanjem amplitude napetostnih sprememb, pri

čemer so posebej problematična nihanja nižjih frekvenc od osnovne frekvence omrežja 50 Hz. Ta frekvenčni razpon sovпада z območjem največje občutljivosti človeškega očesa, ki se giblje približno med 0,5 Hz in 25 Hz, z izrazitim vrhom zaznave okoli 8,8 Hz. Standard določa, da mora biti pri normalnih obratovalnih pogojih dolgotrajna jakost flikerja Plt v katerem koli tedenskem merilnem obdobju v najmanj 95 % časa manjša ali enaka vrednosti 1.



Slika 2: Omrežje s TP in merilnimi mesti
(Lasten vir)

2.2.4 Zaključek

Na podlagi opravljenih meritev je bilo ugotovljeno, da kakovost električne energije pri obravnavani odjemalki ne dosega zahtev, določenih v standardu SIST EN 50160 (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2025).

Zabeleženo je bilo večje število napetostnih upadov različnih amplitud in trajanj, kar lahko vpliva na nemoteno delovanje občutljivih električnih naprav in strojev. Po izvedeni sanaciji je potrebna izvedba kontrolnih meritev skladnosti kakovosti napetosti z zahtevami.

3 OBSTOJEČE STANJE

3.1 Analiza obstoječega stanja

Odjemalci na Kurirski ulici v Sodražici so napajani po razmeroma dolgem tokokrogu iz obstoječe TP/K Sodražica Žaga. Zaradi dolžine tokokroga in večjega števila odjemalcev prihaja na koncu tokokroga do nedovoljenih padcev napetosti.



Slika 3: Obstoječe stanje
(Lasten vir)

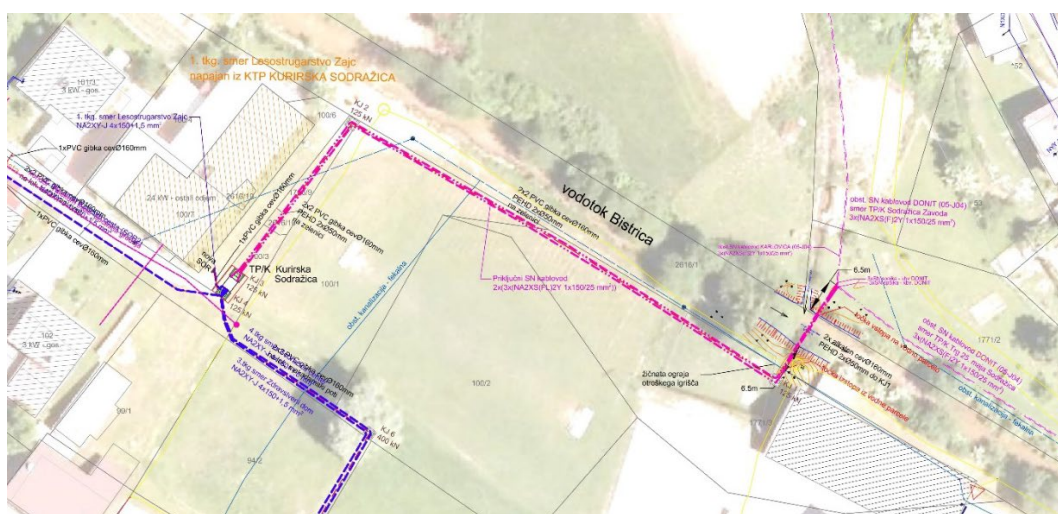
3.2 Predlog tehnične rešitve in obseg investicije

Za odpravo slabih napetostnih razmer bomo zgradili novo kabelsko transformatorsko postajo (TP/K). Postavili jo bomo ob lokalni cesti JP 852 131 na parceli št.: 100/3, katastrska občina 1619 Sodražica. Nova TP/K bo dimenzij 2,0 x 2,5 m, nadzemne višine 2,02 m, delno pa bo vkopana (0,805 m), tako da bo celoten transformator pod nivojem zemljišča. Ohišje postaje bo iz Al legure, ki bo na vkopanem delu še dodatno zaščiten. Korito ohišja, v katerem se nahaja transformator, bo nepropustno za tekočine in dovolj veliko, da zadrži celotno vsebino hladilne tekočine, ki bi ob morebitni okvari iztekla iz transformatorja.



Slika 4: Nova TP/K
(Lasten vir)

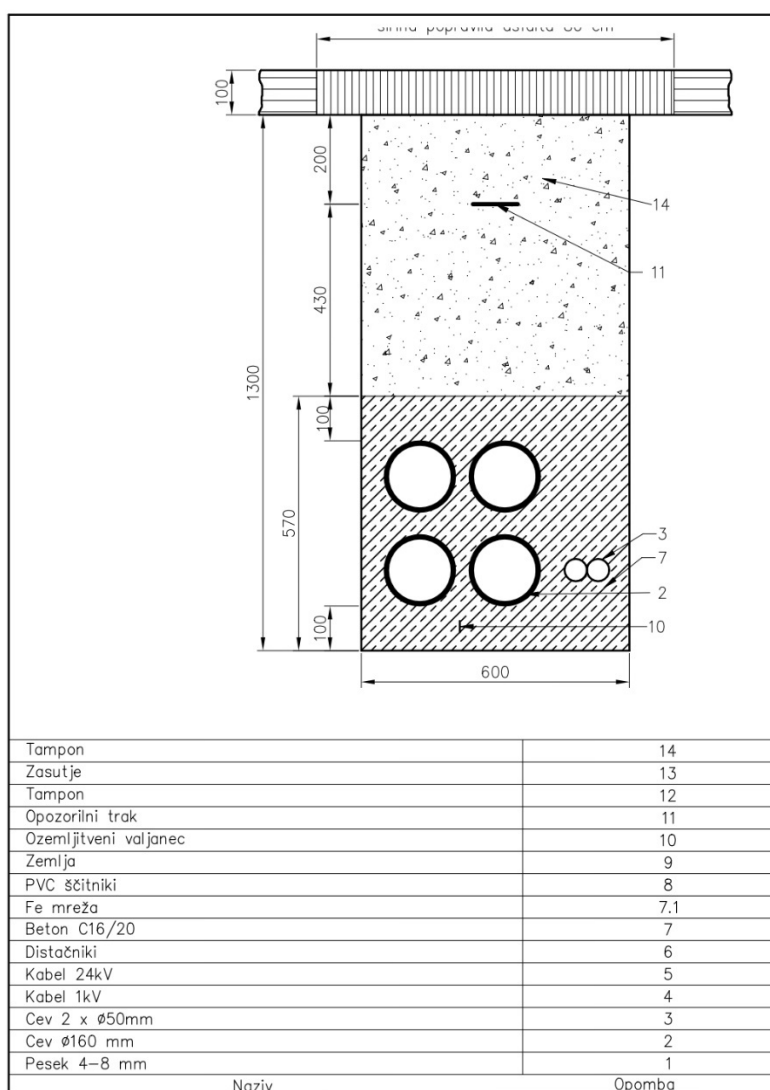
Nova TP/K bo prehodna, to pomeni, da bo imela SN dovod in odvod. Priključena bo kabelsko na obstoječi 20 kV kablovod Donit, napajan iz RTP Ribnica preko RP Sodražica. Za zankanje nove TP/K bomo položili priključni 20 kV kablovod $2 \times (3 \times (NA2XS(FL) 1 \times 150/25 \text{ mm}^2))$, ki ga bomo uvlekli v EKK. Odcep priključnega 20 kV kablovoda bomo izvedli ob vodotoku Bistrica na parceli št.: 1771/2, k. o. 1619 Sodražica. Trasa priključnega 20 kV voda bo dolga pribl. 150 m.



Slika 5: Trasa 20 kV kabla
(Lasten vir)

Priključni 20 kV kablovod bo potekal po parcelah št.: 1771/2, 2616/1, 1771/3, 100/1, 1766/9, 2616/16 in 100/3, vse k. o. 1619 Sodražica.

Za polaganje srednjenapetostnih (SN) in nizkonapetostnih (NN) kablov bomo zgradili ustrezno elektro kabelsko kanalizacijo (EKK). Na določeni razdalji bomo zgradili ustrezne kabelske jaške, ki jih bomo opremili z dvojnimi litoželeznimi pokrovi z odstranljivo prečko. Na zelenih pohodnih površinah bomo jaške opremili s pokrovom nosilnosti 125 kN, na povoznih cestnih površinah pa s pokrovom nosilnosti 400 kN. EKK bo potekala po parcelah št.: 1771/2, 2616/1, 1771/3, 100/1, 1766/9, 2616/16, 100/3, 101/1, 101/5, 101/7, 2609/6, 100/2, 94/2 in 3342, vse k. o. 1619 Sodražica.



Slika 6: Prerez jarka z EKK
(Lasten vir)

Za morebitno poznejše polaganje optičnega kabla bomo po celotni obravnavani trasi ob priključnem vodu 20 kV položili cev PEHD dvojček PE 02 2 x Φ 50 mm.

Vodotok Bistrica bomo križali s priključnim vodom 20 kV. Križanje bomo izvedli s prekopom. Za potrebe polaganja voda 20 kV bomo položili pod dnom struge 2x alkatni cevi fi 160 mm + 1x PEHD cev 2x fi 50 mm. Teme zaščitne cevi bo na globini min. 1,5 m pod dnom struge vodotoka. Na tej globini bo cev potekala še 1,5 m na vsako stran od zgornjih robov brežin. Mesto križanja bomo trajno točkovno obeležili.

4 TEHNIČNO POROČILO

4.1 Energetske osnove

Pri načrtovanju srednjenapetostnega in nizkonapetostnega omrežja se zaradi ekonomskih in racionalnih razlogov upošteva daljše časovno obdobje, praviloma v razponu od 20 do 30 let. Transformator predstavlja bolj prilagodljiv element sistema, saj ga je v primeru povečanja porabe mogoče relativno hitro in učinkovito zamenjati, zato se običajno dimenzionira za krajše obdobje, in sicer od 5 do 10 let. Zamenjava transformatorja, ki je posledica postopnega povečevanja obremenitev, se v praksi obravnava kot del rednih vzdrževalnih posegov. Delovanje TP in pripadajoče opreme opisuje tudi Brechmann (1994).

4.1.1 Določitev konične moči

Nadomestna TP/K bo prevzela napajanje odjemalcev, ki so bili do sedaj napajani iz sosednjih TP Sodražica Center in Sodražica Žaga:

- 23 gospodinjstev odjemalcev s korigirano močjo na posameznega odjemalca 3 kW, kar skupaj znaša 69 kW,
- pet odjemalcev ostalega odjema s skupno močjo 114 kW:
 - 1 x 14 kW (3x20A) – Lekarna Sodražica, Cesta Notranjskega odreda 16,
 - 1 x 17 kW (3x25A) – Vesel Ivan, Kurirska cesta 1,
 - 1 x 24 kW (3x35A) – Lesostrugarstvo Aleksander Zajc s.p., Kurirska cesta 9,
 - 1 x 35 kW (3x50A) – LOGO Bencinski servis d.o.o., Cesta Notranjskega odreda 1, in
 - 1 x 24 kW (3 x 35A) – VF Vesel Franc s.p., Zavrti 6.

4.1.2 Izračun in izbira transformatorja

Skupna instalirana moč iz prejšnje točke in s katero lahko računamo pri novi TP/K je tako 183,0 kW. Faktor prekrivanja posameznih koničnih obtežb ocenimo na $f_p = 0,7$. Povprečni $\cos \varphi$ za mešani odjem znaša 0,95. Sedaj lahko izračunamo skupno potrebno moč transformatorja.

Potrebna moč transformatorja

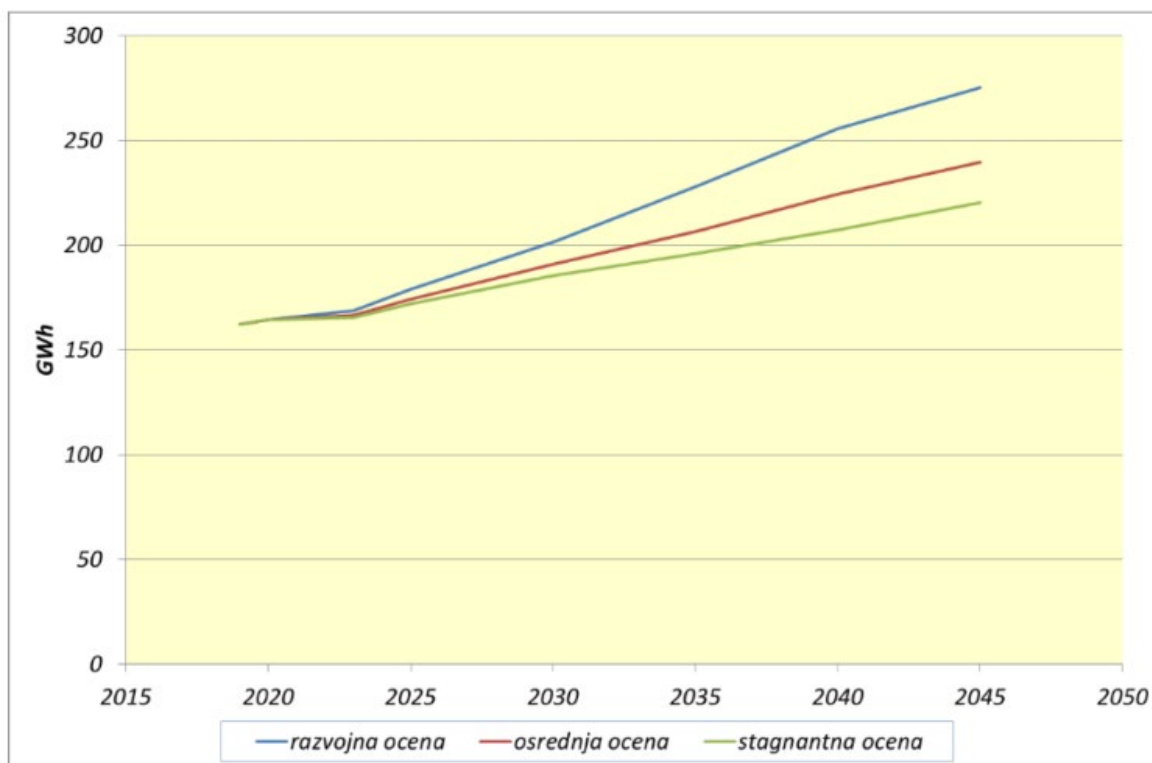
$$S_{tr} = \frac{S_{sk} \cdot 0,8}{\cos \varphi} = \frac{183 \cdot 0,7}{0,95} = 134,8 \text{ kVA}$$

V izbrano ohišje TP je možno namestiti transformator nazivne moči do 630 kVA. Iz izračuna je razvidno, da bomo v našem primeru vgradili transformator moči 160 kVA.

Izbrani transformator ustreza vsem zahtevam glede hrupa in elektromagnetnega sevanja, ki jih predpisujeta Zdravstveni inšpektorat in Oddelek za okolje in prostor Republike Slovenije. Transformatorsko olje ne vsebuje PCB-jev.

Transformator mora imeti naslednje tehnične karakteristike:

- Tip: 7HTIM 160-21
- Nazivna napetost: 21/0,42/0,23 kV
- Frekvenca: 50 Hz
- Nazivna moč: 160 kVA
- Napetost kratkega stika: 4,0 %
- Vezava: Yzn 5
- Masa olja: 165 kg
- Skupna masa: 850 kg
- Tip olja: MIDEL 7131 (ne vsebuje PCB)
- Izgube praznega teka: 210 W
- Izgube zaradi obremenitve: 2350 W
- Hrup LWA: 44 dB

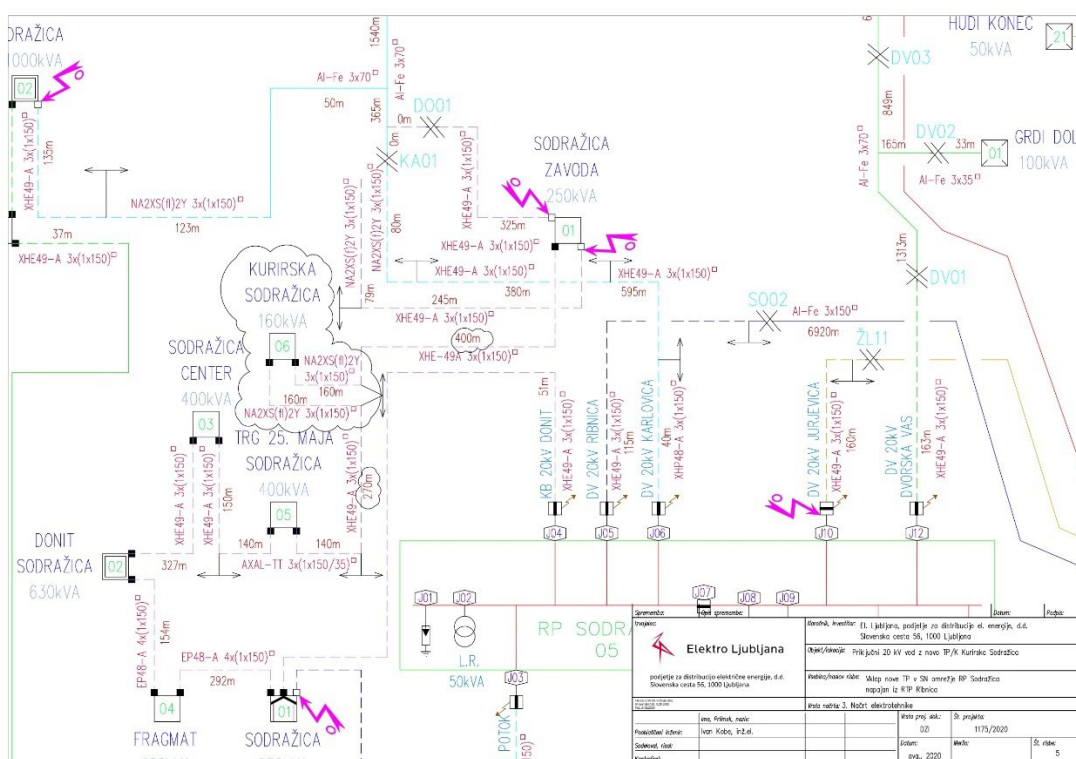


Slika 7: Ocena razvoja porabe električne energije – DE KOČEVJE
(Elektro Ljubljana d.d., 2018)

4.2 Izbira lokacije in transformatorske postaje

4.2.1 Lokacija TP/K

Postavili jo bomo ob lokalni cesti JP 852 131 na parceli št.: 100/3, k. o. 1619 Sodražica. Na izbrano lokacijo nove TP bo možen kamionski dostop, kar je zelo pomembno z vidika postavitve transformatorske postaje in tudi poznejšega vzdrževanja. Lokacija transformatorske postaje je določena tako, da je v središču porabe in da je možen neoviran kamionski dostop do TP v vsakem času. Dostop do transformatorske postaje bo možen po obstoječi državni cesti in lokalni cesti Kurirska. Transformatorska postaja bo s priključnim kablovodom 20 kV napajana po izvodu J04 Donit, ki je napajen prek RP Sodražica iz RTP Ribnica. Rezervno napajanje je možno po izvodu J06 Karlovica, ki je tudi napajana prek RP Sodražica iz RTP Ribnica.



Slika 8: Priključni vod 20 kV z novo TP/K
(Vir: Elektro Ljubljana d. d.)

4.2.2 Opis nove TP/K

Postaja sestoji iz dvokapne strehe, ohišja transformatorja in temeljne školjke. Streha je sestavljena iz več segmentov, ki so na eni strani pritrjeni z vijaki, na drugi strani pa zaradi hitrega posluževanja pritrjeni na zaskok. Ohišje je narejeno iz pločevinastih profilov in pločevinastih sten z ustreznimi odprtinami za posluževanje in prezračevanje. Temeljni del sega v zemljo in je ojetesne izvedbe. Za izdelavo transformatorske postaje je uporabljena pločevina iz aluminijaste zmesi (AlMg3).

Zunanje mere strehe transformatorske postaje so 2,7 x 2,2 m, zunanje mere samega ohišja pa so 2,5 x 2,0 m. TP bomo vkopali 0,805 m v zemljo. Nadzemna višina znaša 2,02 m (s streho). Na dnu gradbene jame izdelamo tampon z betonsko ploščo debeline 20 cm, da je TP v ravnini in stabilna. Jamo okoli TP zasujemo s prodom, da omogočimo čim boljše drenažo. Na nivoju zemljišča pa napravimo betonsko ploščo debeline 0,15 m in položimo plošče iz pranega kulirja širine 0,8 m oziroma 1,7 m na strani kabskega jaška.

Ohišje TP je iz materiala, ki je v celoti nepropusten za vse tekočine. Prav tako je transformatorski prostor tako velik, da zadrži vse olje iz transformatorja v TP. Tako ob okvari ni možen izliv olja v okolico. V sami TP so transformatorski prostor, srednjenapetostni in nizkonapetostni prostor ločeni s pregradami. Kable v TP speljemo prek uvodno-izvodnih lukenj, ki jih na zunanji strani zapremo z ustrezno samokrčno cevjo. Rezervne luknje zapremo z ustrezno samokrčno kapo. Tako ni možen vdor vode v notranjost TP. Zaradi lažje izvedbe uvodov in izvodov SN in NN kablov bomo ob TP zgradili dva pohodna betonska jaška (125 kN – tlačna sila, za katero sta dimenzionirana jašek in litoželezni pokrov). Za uvod SN in NN kablov bomo ob ožjih straneh TP/K zgradili kabska jaška dimenzij 1,9 x 1,5 x 1,8 m. Jaška bomo izvedli z dvojnimi litoželeznimi pokrovi (1,3 x 0,6 m) z odstranljivo prečko. Med seboj bomo jaška povezali s štirimi gibkimi PVC cevmi Φ 160 mm. Cevi bomo položili pod temeljno ploščo TP. S tem bomo omogočili prehod SN in NN kablov v posamezni jašek.

Naravno prezračevanje električnih naprav v TP bo potekalo skozi žaluzije na vratih in stenah TP. Posebni ventilatorji za odvod toplote niso predvideni. Ohišje TP je iz enega kosa, zato se lahko namesti s pomočjo avtodvigala.

SN priključek bo kabski. Za SN opremo v TP bomo vgradili 4-celični blok SF6 tipa 8DJH »RRRT« (3 x vodna celica – dovod, odvod in rezerva za morebitno povezavo na DV Karlovica in 1 x transformatorska celica). Dimenzije bloka bodo: 1360 x 775 x 1400 mm.

SF6 je nestrupen in stabilen plin. Tlak plina SF6 je 0,5 bara pri 20 °C. Posoda za SF6 je hermetično zaprta in tovarniško napolnjena z zadostno plina SF6 za njeno življenjsko dobo. V tej posodi se nahajajo ločilna in ozemljitvena stikala ter zbiralke.

Pogonski mehanizmi so dostopni s sprednje strani naprave. Zagotavljajo potrebno stikalno zmogljivost, ki je neodvisna od posluževalca.

V spodnjem delu se nahajajo medsebojno ločeni in zaprti kabski prostori. SN varovalke transformatorskega polja so nameščene horizontalno v aralditno ohišje. Če pregori ena varovalka, se sproži tripolni izklop ločilnega stikala transformatorskega polja.

Povezava med SN priključki transformatorja in transformatorskim poljem 20 kV bomo izvedli s tremi enožilnimi kabli tipa NA2XS(FL)2Y 1 x 70/16 mm² (GIZ, 2013a). Kabel bo na obeh straneh zaključen s kotnimi adapterji.

V transformatorski prostor je možno postaviti transformator do 630 kVA, čemur zadošča naravno hlajenje. Transformatorski prostor omogoča vgradnjo tipskega transformatorja katerega koli proizvajalca z regulacijo nazivne napetosti $\pm 2,5\%$ in $\pm 5\%$ na strani višje napetosti. Regulacija se izvede s pomočjo preklopnega stikala v breznapetostnem stanju. V našem primeru bomo vgradili transformator moči 160 kVA. Transformator je opremljen s priključkom za ozemljitev in dvema napisnima tablicama s podatki na ožji strani transformatorja, ki je vidna z zunanje strani, ter na širši strani transformatorja, kjer je SN priključek. Transformator ima hermetično zaprt kotel brez konzervatorja in praktično ne potrebuje nobenega vzdrževanja. Na SN strani ima transformator konektorske priključke.

Transformator je postavljen na nosilec in je fiksiran. Obremenitev transformatorja z večjo močjo od nazivne ne sme biti daljša od priporočil IEC. Hlajenje transformatorja je naravno. Transformator je postavljen na dno TP oziroma v oljetesno posodo. NN stikalni blok je odprte izvedbe in sestoji iz dovodnega in odvodnega polja. Vsi vgrajeni elementi ustrezajo moči transformatorja 630 kVA. Povezava NN strani transformatorja z NN glavnim stikalom bo izvedena z enožilnimi kabli H07V-K 1 x 240 mm² po fazi in H07V-K 1 x 240 mm² za vodnik PEN. Omenjena povezava ustreza moči transformatorja do vključne moči 250 kVA.

Dovodno polje vsebuje naslednjo glavno opremo:

- glavno stikalo SACE Emax 1250 A in bimetalni rele tipa TRB 14,
- trije TMT 250/5 A,
- trije A-metri s kazalcem maximuma in V-meter s preklopko,
- ožičenje za naknadno vgradnjo polindirektnega trifaznega števca s komunikatorjem,
- ožičenje za naknadno vgradnjo koncentradorja,
- varovalni elementi krmilnih in merilnih tokokrogov,
- pomožni releji,
- odvodniki prenapetosti 0,3 kV s predvarovalko,
- močnostna oprema bo povezana z zbiralkami ECu 80 x 10 mm po fazi in 1 x ECu 60 x 10 mm za vodnik PEN,
- krmilni tokokrogi z vodniki P/F 1,5 mm².

Odvodno polje vsebuje sledeče glavne elemente:

- vertikalne varovalne letve BTVC-DT2 velikosti 400 A (6 kosov),

Transformatorska postaja mora biti opremljena z ustrezno tehnično dokumentacijo in varnostnimi oznakami. Med obvezno opremo sodijo enopolni vezalni načrt in knjiga dogodkov, poleg tega pa morajo biti tokokrogi v omarici TP jasno, vidno in trajno označeni po posameznih izvodih. V omarici mora biti prav tako označena vrsta ozemljitve ter sistem ozemljitve, ki ga dopušča distribucijsko omrežje (na primer TN ali TT). Za zagotavljanje varnega obratovanja in dela so v TP nameščena tudi navodila za prvo pomoč ter opozorilne tablice, ki opozarjajo na nevarnost visoke napetosti in delo na napravi.

4.2.3 Zaščita TP/K in transformatorja

Koncept zaščite v transformatorski postaji bo izveden po enopolni shemi. Območje med NN glavnim stikalom in SN stikalom v trafo celici ščitijo pred kratkim stikom SN varovalke z udarjalom, ki prek izklopnega mehanizma izklopijo SN ločilno stikalo. Varovalke ščitijo transformator tudi od dvofaznega napajanja tako, da ob pregorettju ene varovalke udarjalo varovalke deluje na izklopni mehanizem in izklopi SN ločilno stikalo v transformatorski celici.

Na NN strani je zaščita izvedena z bimetalnim relejem tipa TRB 14 (3,8–6,3 A), ki odklopi glavno stikalo SACE Emax 1250 A. Bimetalni rele ščiti NN stran transformatorja pred preobremenitvijo, varovalke na posameznem izvodu pa pred kratkimi stiki.

Pred prenapetostmi bo TP zaščiten z odvodniki prenapetosti, ki bodo na SN strani nameščeni v obeh vodnih celicah, na NN strani pa bomo odvodnike prenapetosti namestili na NN ploščo na za njih predvideno mesto. Uporabili bomo odvodnike prenapetosti Safeblook BR 37,5 kA/275 V 3P, ki bodo dodatno varovani s predvarovalko velikosti 125 A (PKI 160).

Predpogoj za uspešno delovanje zaščite je v njeni selektivnosti, saj mora varovalka v katerem koli NN odvodu pri preobremenitvi pregoreti pred delovanjem glavnega stikala, ta pa pred SN varovalko.

Zaščita vodov:

SN kabli v transformatorski postaji med transformatorsko celico in transformatorjem bodo varovani pred kratkim stikom s SN varovalkami velikosti 16 A. NN izhodne kable bodo varovali pred kratkimi stiki in preobremenitvijo z ustreznimi visokoučinkovnimi varovalkami. NN odcepe je možno varovati z maksimalno 400 A varovalko.

Moč transformatorja (kVA)	20 kV varovalke (A)	NN glavne varovalke (A)
160	16	SACE Emax 1250 A

*Tabela 6: Jakost varovalnih vložkov
(Lasten vir)*

Ozemljitev:

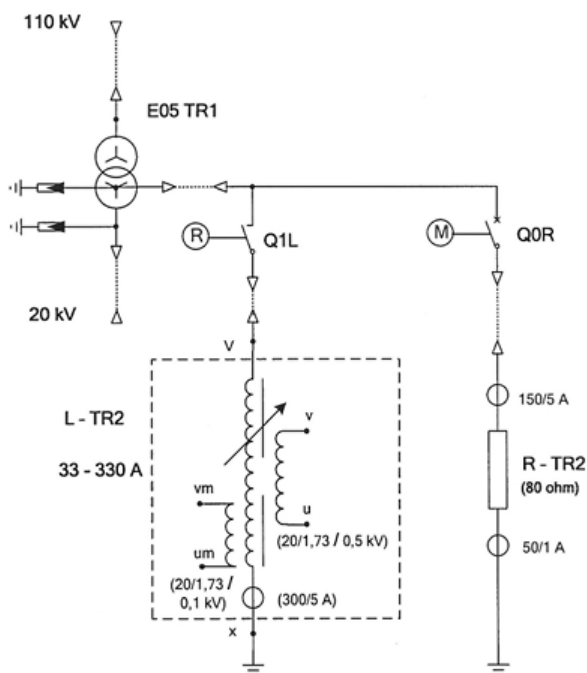
Namen ozemljitve v transformatorski postaji je predvsem zagotavljanje varnosti oseb, ki lahko pridejo v stik s postrojem, zaščita električne opreme pred poškodbami ter zagotavljanje ustreznih obratovalnih pogojev. Te zahteve so izpolnjene z ozemljitvijo vseh kovinskih delov električnih naprav, ki v normalnem obratovanju niso pod napetostjo.

Dozemna upornost in upornost razprostiranja ozemljila morata biti omejeni tako, da pade napetosti, ki nastane zaradi toka zemeljskega stika, ne presega mejnih vrednosti, določenih s tehničnimi predpisi. Kadar teh pogojev ni mogoče zagotoviti zgolj z osnovno izvedbo ozemljitve, je treba z dodatnimi ukrepi ustrezno oblikovati potencialno polje v okolici transformatorske postaje, tako da se prepreči pojav previsoke napetosti dotika ali napetosti koraka.

Vsi kovinski deli električnih postrojov in naprav, ki normalno niso pod napetostjo in ne pripadajo obratovalnim tokokrogom, ob okvari pa bi lahko prišli pod napetost neposredno ali prek električnega obloka, so ozemljeni.

Zaščitna ozemljitev v postaji je uresničena tako: Vse nosilne konstrukcije električnih aparatov v SN in NN postroju so povezane s kovinskimi okrovi celic s pocinkanimi vijaki z zobatimi podložkami. Izvedba ogrodja in nanj privitih sestavnih delov zagotavlja zahtevano tokovno vodljivost, ustrezno VDE 0141. Kovinsko oklopljene stikalne naprave, ki ustrezajo IEC 298, imajo znotraj stikalnega bloka ozemljitveno zbiralnico. Navarjena matica M12 se poveže z zunanjim potencialnim obročem s trakom Fe-Zn prek razstavljivega spoja v kabelskem prostoru.

SN omrežje je zaščiteno s sistemom Ront v kombinaciji z uporom 80Ω . Na sliki je prikazana vključitev Petersonove dušilke L-TR1 v SN nevtralno točko energetskega transformatorja. Od nevtralne točke je Petersonovo dušilko L-TR1 mogoče ločiti z ročno manipulacijo ločilnika Q1L. Petersonova dušilka L-TR1 ima vgrajeno sekundarno močnostno navitje, ki napaja nizkoohmski oljni upor ($500A$, 1Ω). Priklop upora se krmili s kontaktorjem. Oljni upor v tej fazi obratovanja SNO z resonančno ozemljitvijo ni v funkciji. Nizkoohmski upor R-TR1 (80Ω) je od nevtralne točke ločen z vakuumskim odklopnikom Q0R z elektromagnetnim pogonom. Odklopnik Q0R avtomatsko krmili regulator EFC20 v odvisnosti od stanja (normalno stanje/okvara – zemeljski stik) v SNO. Odklopnik Q0R je možno krmiliti daljinsko iz DCV.



Slika 9: Shema sistema Ront
(Lasten vir)

4.2.4 Zaščita TP/K pred delovanjem strele

Na pločevinasti TP ni potrebno izvesti strelovodne zaščite skladno s predpisi o zaščiti stavb pred delovanjem strele. Strelovodna zaščita ni potrebna za izvedbo TP do dolžine 5,0 m, širine 4,0 m in višine 2,5 m v urbanih območjih z gostoto udarov strele do 5 strel/km²/leto. Projektirana TP je dolžine 2,5 m, širine 2,0 m in višine 2,02 m. Maksimalna gostota strel na območju Ribnice znaša 3,7 strele/km²/leto.

4.3 20 KV kablovod

4.3.1 Splošno

Nova TP/K bo prehodna, to pomeni, da bo imela SN dovod in odvod. Priključena bo kabelsko na 20 kV vod Donit 05-J04. Za zankanje nove TP/K bomo položili priključni 20 kV kablovod 2x(3x(NA2XS(FL) 1x150/25 mm²)), ki ga bomo uvlekli v EKK. Odcep priključnega 20 kV kablovoda bomo izvedli ob vodotoku Bistrica na parceli št.: 1771/2, k. o. 1619 Sodražica. Trasa priključnega 20 kV voda bo dolga približno 150 m.

Za polaganje srednenapetostnih (SN) kablov bomo zgradili novo elektro kabelsko kanalizacijo 4 x gibko PVC cev fi 160 mm. Na določeni razdalji bomo zgradili ustrezne kabelske jaške, ki jih bomo opremili z dvojnimi litoželeznimi pokrovi z odstranljivo

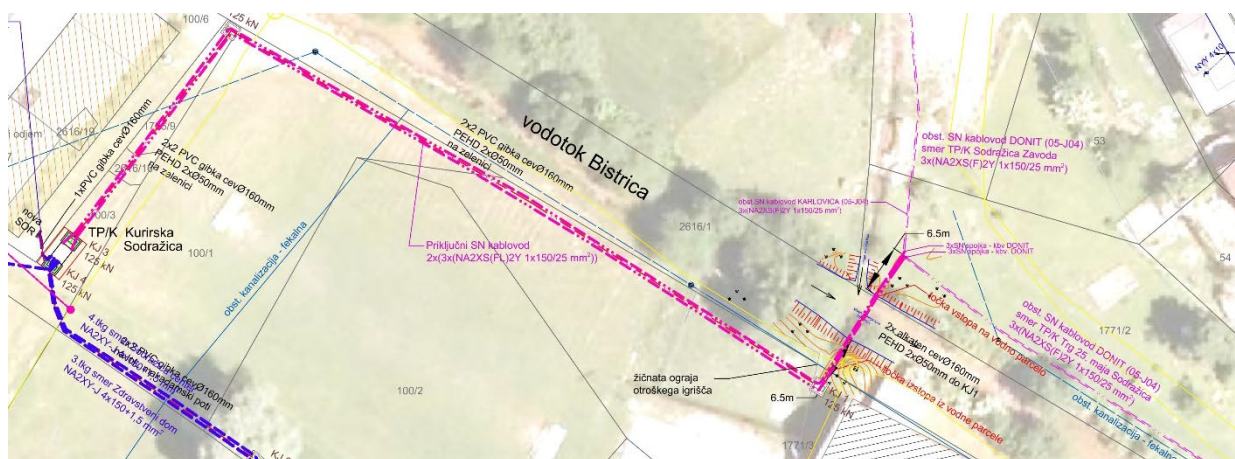
prečko. Na zelenih pohodnih površinah bomo jaške opremili s pokrovom nosilnosti 125 kN, na povoznih cestnih površinah pa s pokrovom nosilnosti 400 kN. Priključni 20 kV kablovod bo potekal po parcelah št.: 1771/2, 2616/1, 1771/3, 100/1, 1766/9, 2616/16 in 100/3, vse k. o. 1619 Sodražica.

Za polaganje optičnega kabla bomo po obravnavani trasi ob EKK položili cev PEHD dvojček PE 02 2 x Φ 50 mm.

Za izgradnjo EKK 2 x 2 x PVC cev fi 160 mm bomo izkopal jarek širine 0,6 m in globine 1,07 m (GIZ, 2013b). Projektirane cevi bomo položili na predhodno pripravljeno posteljico iz peska granulata 4–8 mm debeline 10 cm. Med cevmi in nad cevmi bomo zasuli prostor s peskom enakega granulata do debeline 10 cm nad cevmi. Na to plast bomo zasuli preostali del kanala z materialom od izkopa. Prvi del do opozorilnega traku 0,3 m pod površjem bomo zasipali zelo previdno (ostri robovi kamenja). Ko bomo cevno kanalizacijo zasuli do višine 30 cm pod površino, bomo položili opozorilni trak »Pozor, energetski kabel«. Vsako plast zasipavanja jarka bomo utrdili posebej, da ne pride do posedanja terena. Odvečni material bomo odpeljali na deponijo in uredili okolico kanala.

Vodotok Bistrica bomo križali s priključnim 20 kV vodom. Križanje bomo izvedli s prekopom. Za potrebe polaganja 20 kV voda bomo položili pod dno struge 2 x alkatlen cev fi 160 mm + 1 x PEHD cev 2 x fi 50 mm. Teme zaščitne cevi bo na globini min. 1,5 m pod dnom struge vodotoka. Na tej globini bo cev potekala še 1,5 m na vsako stran od zgornjih robov brežin. Mesto križanja bomo trajno točkovno obeležili.

Točen potek SN kablov, lokacija jaškov in število cevi so razvidni iz risbe bodočega stanja na Sliki 10.



Slika 10: Shema bodočega stanja kablovoda
(Lasten vir)

J04 Donit (iz RTP Ribnica preko RP Sodražica 05)

Nazivna napetost: 20 kV
 Dolžina obstoječega voda: 798 m (XHE 49-A 150/25 mm²)
 Dolžina obstoječega voda: 446 m (EP 48-A 150/25 mm²)
 Dolžina obstoječega voda: 280 m (AXAL TT 150/25 mm²)
 Dolžina novega kbv
 od obst. 20 kV kbv. smer
 TP Trg 25. maja Sod.
 do nove TP/K Kurirska Sod.: 160 m
 Dolžina novega kbv
 od nove TP/K Kurirska Sod.
 do obst. 20 kV kbv.
 smer TP Sodražica zavoda: 160 m
 Tokovodniki: 3 x (NA2XS(FL)2Y 1 x 150/25 mm²)
 Maksimalna vlečna sila kabla: 4,5 kN
 Ozemljitve: združene

Vodnik	Presek (mm ²)	Specifična upornost (Ω/m)			I _{dop} (A)
		R _s	X _s	Z _s	
Al-Fe	25	1,260	0,399	1,322	125
Al-Fe	35	0,900	0,386	0,979	145
Al-Fe	50	0,630	0,373	0,732	170
Al-Fe	70	0,450	0,362	0,578	235
Al-Mg-Si	70	0,450	0,362	0,578	235
Al-Fe	150	0,210	0,340	0,400	400
Kabli					
NA2XS(F)2Y	70	0,443	0,135	0,463	230
NA2XS(F)2Y	120	0,253	0,126	0,283	310
NA2XS(FL)2Y	150	0,206	0,116	0,236	353

Tabela 7: Parametri 20 kV tokovodnikov
(Lasten vir)

Pomen oznak v tabeli 2:

R_s: za vse kable pri temperaturi okolice T_{dm} = + 20 °C,

X_s: za vse kable po katalogu proizvajalca

I_{dop}: T_{ok} = + 20 °C, 1 kabel min. 70 cm v zemlji. Vrednosti dopustnega ali zdržnega (I_i) toka veljajo za enožilne kable z Al tokovodnikom v trikot ali horizontalnem razporedu.

Izračun potrebnega preseka kabla izvedemo na sledečih osnovah:

- napajanje je predvideno iz 110/20 kV RTP Ribnica prek RP Sodražica,
- predvidena montaža na novozgrajenem odseku,
- predvidena kratkostična moč na 20 kV zbiralkah RTP: $P_{KS} = 250 \text{ MVA}$,
- izklopni čas DV v RP: $t_{KS} = 0,6 \text{ sek}$ (upoštevani HAPV).

Prispevek 110/20 kV RTP Ribnica

$$X_m = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{P_{KS}} = \frac{1,1 \cdot (20 \text{ kV})^2}{250 \text{ MVA}} = 1,760 \Omega = Z_{KS}$$

Prispevek 20 kV voda od RTP do začetka kablanskega voda

$$R_v = \sum (l_{kabel-150} \cdot R_{kabel-150})$$

$$R_v = 1,524 \cdot 0,206 = 0,314 \Omega$$

$$X_v = \sum (l_{kabel-150} \cdot X_{kabel-150})$$

$$X_v = 1524 \cdot 0,116 = 0,177 \Omega$$

Skupna impedanca kratkostične zanke

$$Z_{sk} = \sqrt{R_v^2 + (Z_m + X_v)^2} = \sqrt{0,314^2 + (1,76 + 0,177)^2} = 1,962 \Omega$$



Slika 11: Impedanca
(Lasten vir)

Tok kratkega stika na mestu odcepa (SN spojke)

$$I_k = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{sk}} = \frac{1,1 \cdot 20}{1,73 \cdot 1,962} = 6,474 \text{ kA} \approx I_{kef}$$

Izračun potrebnega preseka kabla

$$S_{min} = b \cdot I_k \cdot \sqrt{t_k} = 17,12 \cdot 6,474 \cdot \sqrt{0,6} = 85,85 \text{ mm}^2$$

konstanta "b" za $\vartheta = 130 \text{ }^\circ\text{C}$ in vodnike 150 mm^2

$\vartheta_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$: 17,12 za 100 % obrem. vodnikov pred nastopom kratkega KS

$\vartheta_1 = 63 \text{ }^\circ\text{C}$: 14,60 za 75 % obrem. vodnikov pred nastopom kratkega KS

$\vartheta_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$: 13,22 za 50 % obrem. vodnikov pred nastopom kratkega KS

$\vartheta_1 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$: 12,77 za 35 % obrem. vodnikov pred nastopom kratkega KS,
ob predpostavki, da znaša temperatura zraka vsakokrat $+ 40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Iz izračunov je razvidno, da bomo uporabili presek 150 mm^2 , ker je to napajalni vod izvoda Donit.

- enožilni vodotesni 20 kV kabel NA2XS(FL) 2Y 1 x 150/25 mm^2 ,
- $S_{min} < S_{izb} \Rightarrow 85,85 \text{ mm}^2 < 150 \text{ mm}^2$

4.3.2 Splošni podatki za 20 kV kabel NA2XS(FL) 2Y 1 x 150/25 mm^2

Podatki iz kataloga proizvajalca se nanašajo na enožilni vodnotesni kabel 150 mm^2 :

- nazivni presek : $A_v = 150 \text{ mm}^2$,
- tip vodnika, premer vodnika : Al, okrogel, komprimiran, $d_v = 14,1 \text{ mm}$,
- nazivni presek Cu ekrana : $A_e = 25,0 \text{ mm}^2$,
- premer celotnega kabla : $d_z = 39 \text{ mm}$,
- masa kabla : $m = 1400 \text{ kg/km}$,
- najmanjši radij krivljenja : $r = 58,5 \text{ cm}$,
- največja zatezna sila : $F = 4,5 \text{ kN}$,
- nazivna napetost : $U_0/U = 12/20 \text{ kV}$,
- največja dovoljena trajna obrat. nap. : $U_{max} = 24 \text{ kV}$,
- nazivni KS tok/1 s : $I_{KS} = 14,1 \text{ kA}$,
- trajni zdržni tok kabla v zemlji : $I_z = 352 \text{ A}$ (vzporedno polaganje),
: $I_z = 319 \text{ A}$ (trikot polaganje).

Slika 12: Podatki za kabel 150 mm^2
(Lasten vir)

Prenosna zmogljivost SN kabla NA2XS(FL) 2Y 150/25 mm^2

Pri izračunu prenosne zmogljivosti SN kabla 150 mm^2 smo upoštevali naslednje faktorje:

- dva sistema, položena vsak v svoji PVC cevi $\varphi 160 \text{ mm}$,

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_z \cdot k_5 = 1,73 \cdot 20 \cdot 319 \cdot 0,85 = 9,4 \text{ MV}$$

Če imamo v kabelskem jarku več sistemov (lahko tudi SN in NN), polagamo SN kable v trikotnem snopu. Pri tem vsako žilo položimo posebej in nato vse tri žile razvrstimo v trikotni snop. Kable med seboj povežemo s samolepilnim trakom ali plastično vrvico.

Pri izračunu moramo upoštevati naslednji korekcijski faktor k_5 , ki je razviden iz spodnje tabele.

Število sistemov v istem kanalu		Korekcijski faktor k_5						
		2	3	4	5	6	8	10
Razmak med sistemi	Dotik	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
	7 cm	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
	15 cm	0,86	0,77	0,72	0,68	0,64	0,61	0,58
	25 cm	0,87	0,78	0,74	0,71	0,67	0,64	0,62

Tabela 8: Korekcijski faktor za zmanjšanje tokovne obremenljivosti (Lasten vir)

V primeru, da polagamo enožilne kable v ravnini, mora biti razdalja med posameznimi kabli 7 cm. Razdaljo med kabli ohranjamo s posebnimi distančniki, v katere vpenjamo kabel. Distančnike dajemo po potrebi glede na zavrtost trase kabla. Na obeh koncih DV moramo obvezno izvršiti povezavo električne zaščite neodvisno od kablovoda in jo ozemljiti. V našem primeru bomo del SN kablovoda položili v ravnini. Večji del kablovoda pa bomo položili v cevni kanalizaciji.

4.3.3 Križanje in približevanje SN kablovoda z ostalo infrastrukturo

20 kV energetske kablovodi lahko križajo naslednje objekte oziroma naprave ali se jim približajo:

- telekomunikacijski kabelski vod,
- vodovod in kanalizacija,
- lokalna oziroma dovozna cesta.

Križanje in približevanje energetskih kablov in telekomunikacijskih kablov

Pri križanjih in približevanjih kablovoda s TK vodom je potrebno upoštevati veljavne predpise, zahteve upravljavca TK omrežja ter zahteve upravljavca elektroenergetskega omrežja.

Gradbena dela v bližini telefonskega podzemnega omrežja je treba obvezno izvajati z ročnim izkopom pod nadzorom strokovnih služb Telekom Slovenije.

Križanje energetskih kablov s podzemnimi telekomunikacijskimi kabli se izvede pod kotom 90°, nikakor pa ne manjšim od 45° z navpičnim razmakom 30 cm za energetske kable do 1 kV.

Ni dovoljen prehod energetskih kablov skozi jaške telekomunikacijske kabelske kanalizacije, kakor tudi ne prehod pod jaškom ali nad njim.

Oddaljenost najbližjega energetskega kabla napetosti do 20 kV do najbližjega TK kabla pri paralelnem poteku je najmanj 50 cm oziroma 1 m za kable nad 20 kV.

Če ne moremo doseči omenjenih oddaljenosti, se na teh mestih med energetskimi kablji in TK kablji namesti pregrada iz termično odpornega materiala.

Polaganje energetskega kabla v bližini TK droga ali podpore se dovoljuje, če je razmak najmanj 0,5 m, vendar je treba v tem primeru energetski kabel zaščititi pred mehanskimi poškodbami oziroma položiti kabel na oddaljenosti najmanj 1 m.

Zemeljska dela v bližini TK podzemnega omrežja je treba izvajati z ročnim izkopom pod nadzorom strokovnih služb Telekom Slovenije.

Približevanje in križanje energetskih kablov s cevmi vodovoda

Pri paralelnem vodenju ali približevanju elektroenergetskih kablov in cevi vodovoda so dovoljene naslednje minimalne vodoravne oddaljenosti:

- $d \geq 150$ cm za magistralne cevovode,
- $d \geq 50$ cm za cevovode nižjega tlaka in za hišne priključke.

Minimalna medsebojna razdalja približevanja med energetskimi kablji in cevmi vodovoda mora biti najmanj 50 cm za magistralne cevovode in 30 cm za priključne cevovode.

Pri križanju energetski kabel položimo pod ali nad cevmi vodovoda – odvisno od višinske lege omenjene cevi. Križanje energetskega kabla s cevmi vodovoda izvedemo na oddaljenosti 50 cm, pri križanju kabla s priključnim cevovodom pa je ta oddaljenost lahko 30 cm.

Polaganje kablov skozi vodovodne ventilske komore ali hidrante, nad njimi ali ob njih ni dovoljeno. V tem primeru mora biti min. razdalja 1,5 m.

4.4 Niskonapetostno omrežje

4.4.1 Splošno

Za polaganje niskonapetostnih (NN) kablov bomo zgradili ustrezno elektro kabelsko kanalizacijo. Na določeni razdalji bomo zgradili ustrezne kabelske jaške, ki jih bomo opremili z dvojnimi litoželeznimi pokrovi z odstranljivo prečko. Na zelenih pohodnih površinah bomo jaške opremili s pokrovom nosilnosti 125 kN, na povoznih cestnih površinah pa s pokrovom nosilnosti 400 kN.

Nova TP/K Kurirska Sodružica bo napajala odjemalce po štirih tokokrogih, in sicer:

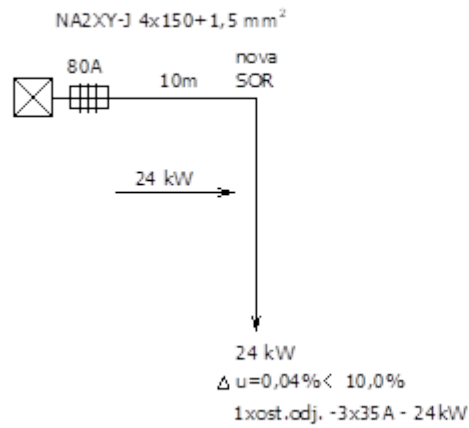
1. tkg. smer SOR Lesostrugarstvo Zajc bomo izvedli s kablom NA2XY-J 4x150+1,5 mm² v dolžini 10 m. Kabel bomo položili od nove TP/K do nove SOR, ki bo služila samo za priključno merilno mesto za Lesostrugarstvo Zajc. Za novo SOR bomo postavili prostostoječo NN omarico P/U-PM3. Novi NN

- kabel bomo uvlekli v novo EKK, ki jo bomo zgradili z 1 x gibko PVC cevjo fi 160 mm. Obstoječe merilno mesto za Lesostrugarstvo Zajc (moči 24 kW – 3x35A) bomo prestavili iz zidne omarice na objektu Kurirska cesta 9 v novo NN omaro SOR. »Prevzem odjemalca napajanega iz TP Sodražica žaga 1. tkg. Vesel (1 x ostali odjem 1 x 24 kW)«.
2. tkg. smer Kurirska cesta (SOR 2) bomo izvedli s kablom NA2XY-J 4x150+1,5 mm² v dolžini 90 m od nove TP/K do obstoječe NN omare SOR 2. Novi NN kabel bomo uvlekli v novo EKK. »Prevzem odjemalcev napajanih iz TP Sodražica Žaga 1. tkg. Vesel (6 x gospodinjski odjem, 1x ostali odjem 1 x 17 kW)«.
 3. tkg. smer Zdravstveni dom bomo izvedli s kablom NA2XY-J 4x150+1,5 mm² v dolžini 90 m od nove TP/K do obstoječega NN kabla NAYY 4x70 mm². Na križanju bomo novi in obstoječi kabel spojili z NN spojko. Novi NN kabel bomo uvlekli v novo EKK. »Prevzem odjemalcev napajanih iz TP Sodražica Center 2. tkg. K.O. Starc - smer Inles (4 x gospodinjski odjem, 1 x ostali odjem 1 x 14 kW)«.
 4. tkg. smer Center Sodražica bomo izvedli s kablom NA2XY-J 4x150+1,5 mm² v dolžini 95 m od nove TP/K do obstoječega NN kabla NAYY 4x70 mm². Na križanju bomo novi in obstoječi kabel spojili z NN spojko. Novi NN kabel bomo uvlekli v novo EKK. »Prevzem odjemalcev napajanih iz TP Sodražica Center 1. tkg. K.O. Starc – smer Inles (13 x gospodinjski odjem, 2 x ostali odjem; 1 x 24 kW in 1 x 35 kW)«.
 5. rezerva
 6. rezerva
 7. tkg. smer odvodniki prenapetosti 0,3 kV.

Točen potek NN kablov, lokacija EKK in število cevi so razvidni iz risbe bodočega stanja.

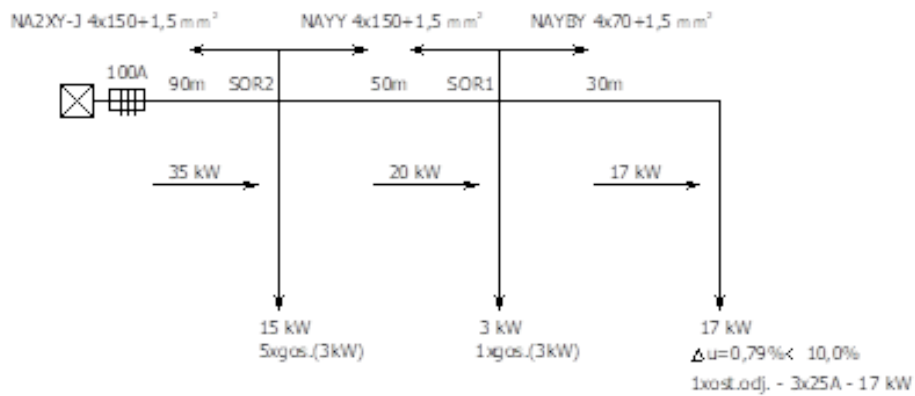
4.4.2 Izračuni

1. Tokokrog smer SOR Lesostrugarstvo Zajc



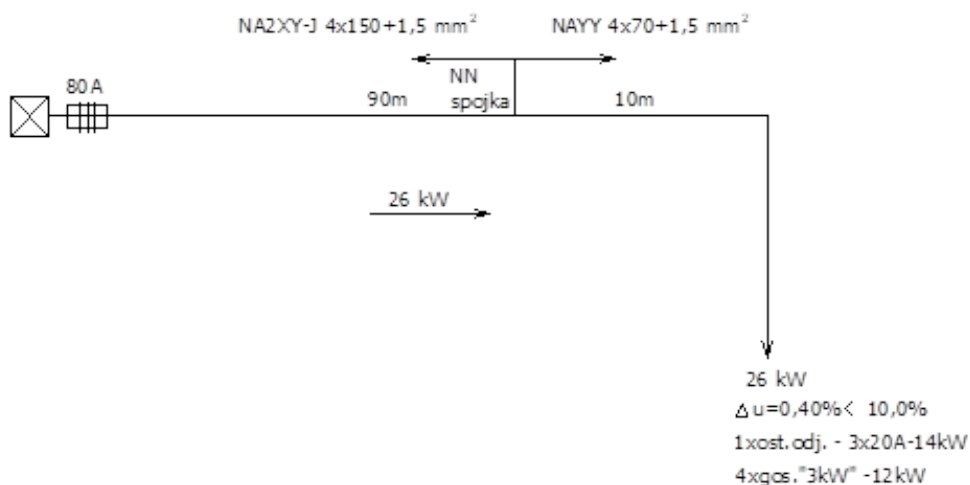
Slika 13: Prvi tokokrog
(Lasten vir)

2. Tokokrog smer Kurirska cesta



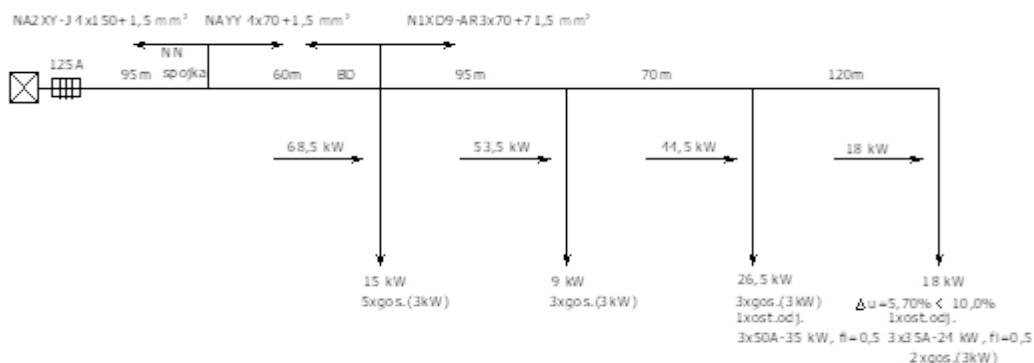
Slika 14: Drugi tokokrog
(Lasten vir)

3. Tokokrog smer Zdravstveni dom



Slika 15: Tretji tokokrog (Lasten vir)

4. Tokokrog smer Center Sodražica



Slika 16: Četrty tokokrog (Lasten vir)

Projektirane NN kable bomo ščitili proti vdoru atmosfarske prenapetosti z odvodniki prenapetosti 0,3 kV, 15 kA. Odvodnike prenapetosti bomo vgradili na NN razdelilcu TP/K. Odvodniki prenapetosti so že vgrajeni v obstoječem NN omrežju.

4.5 Ozemljitve

4.5.1 Splošno

Na področju lokacije nove TP/K bomo izvedli »združeno« ozemljitev. To pomeni, da bosta med seboj povezani zaščitna ozemljitev TP in obratovalna ozemljitev NN omrežja. Pri načrtovanju ozemljitve transformatorske postaje je treba upoštevati uveljavljena strokovna priporočila (Mithas, 1990).

Pri dimenzioniranju ozemljitev upoštevamo:

- da sodi 20 kV omrežje, v katero je nova TP/K priključena, v območje napajanja RTP 110/20 kV Ribnica, kjer je SN nevtralna točka ozemljena prek nizkoohmskega upora, ki omejuje tok zemeljskega stika I_z na 150 A,
- da je v RTP čas izklopa v primeru zemeljskega stika: $t_{iz} = 0,3$ s,
- da naj NN omrežje glede ozemljitve ustreza pogojem, ki veljajo za TN napajalni sistem,
- da bo kot ozemljilo uporabljen pocinkani valjanec Fe-Zn 25 x 4 mm.

4.5.2 Zaščitna ozemljitev pri TP

Pogoji

- U_i 125 kV – nazivna zdržna atmosferska udarna prenapetost električnega postroja, ki ustreza najvišji napetosti opreme $U_m = 24$ kV,
- I_s je temenska vrednost udarnega toka strele, ki jo izberemo glede na važnost postroja in izokeramični nivo področja iz Tabele 9.

$$\frac{U_i}{I_s} = R_d$$

- Delovno upornost R_d izračunamo glede na važnost postroja. Pomagamo si s podatki iz Tabele 6, praviloma pa naj ne bi presegla 8 Ω (pogoj: maksimalna vrednost $R_z = 8$ Ω , $U_{oz} = 1200$ V, $I_z = 150$ A).
- Zaradi montiranih odvodnikov prenapetosti 24 kV/10 kA ponikalna upornost zaščitne ozemljitve TP/K R_{pon} praviloma ne sme presegati vrednosti 5 Ω (odvisno od pomembnosti postroja in specifične upornosti tal ter zaradi montaže VN odvodnikov prenapetosti).
- Vrednost R_d ponavadi izberemo tako, da se ne razlikuje od R_{pon} .

I_s (kA)	10	20	30	40	50
Delež vseh udarov strele (%)	50	79	91	95	98
Najv. vrednost R_d (Ω)	12,5	6,25	4,17	3,13	2,50

Tabela 9: Razporeditev udarov strel po jakosti udara

(Lasten vir)

Ostali pogoji glede združene ozemljitve so upoštevani v točki 2.6.3.

Dimenzioniranje

Zaščitno ozemljitev pri TP bomo dimenzionirali z ozirom na $R_d \leq 4,13 \Omega$.

Povprečna specifična upornost tal na mestu polaganja ozemljitev znaša v povprečju $120 \Omega m$.

Merjenje specifične upornosti tal smo izvedli z instrumentom tipa UNILAP GEO in štirimi enakimi sondami. Sonde je treba zapičiti enako globoko na enakih medsebojnih razdaljah (a) v ravni črti. Iz odčitanege R_E lahko specifično upornost zemlje izračunamo po naslednjem izrazu:

$$\rho_{E1} = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R_E = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 31,85 = 120 \Omega m$$

kjer je:

ρ_E = srednja specifična upornost zemlje (Ωm)

a = razdalja med sondami (m)

R_E = izmerjena upornost

Izračun potrebne dolžine valjanca pri TP/K in ob SN kablovodu:

$$L_{k1} = \frac{k_t \cdot \rho_{E1}}{R_{d1}} \cdot k_s = \frac{2,24 \cdot 120,0}{4,17} \cdot 1,0 = 64,5m$$

Faktor k_t za ozemljitveni valjanec 25 x 4 mm v odvisnosti od povprečne dolžine posameznih krakov in globino vkopa H = 0,6 m je podan v Tabeli 10.

l_k	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	100
k_t	1,52	1,63	1,73	1,80	1,86	1,91	1,95	1,99	2,03	2,05	2,07	2,24

Tabela 10: Faktor k_t v odvisnosti od dolžine krakov
(Lasten vir)

Skupna ponikalna upornost:

$$R_K = \frac{k_t \cdot \rho_E}{l_v} \cdot k_s = \frac{2,24 \cdot 120}{147} \cdot 1 = 1,83 \Omega$$

Oblikovanje napetostnega potenciala v okolici TP

Dopustna napetost dotika za združene ozemljitve in za TN sistem po pravilniku o zaščiti nizkonapetostnih omrežij in pripadajočih TP (SIST EN 50522) znaša $U_d = 400 V$. Ta vrednost velja za zunaj TP in čas izklopitve 20 kV daljnovoda $t_{iz} = 0,3 s$ (izklop v RTP ob zemeljskem stiku).

Napetostni potencial za zaščito pred napetostjo koraka oblikujemo z dvema potencialnima obročema. Teoretično bi zadoščal en obroč, ker je napetost ozemljitve manjša od 1200 V. V našem primeru bomo položili dva potencialna obroča: prvi obroč na oddaljenosti 1 m od ohišja TP/K in na globini 0,3 m, drugi obroč na oddaljenosti 2,5 m od ohišja TP/K in na globini 0,8 m. Obroča se povežeta s štirimi krakio iz priložene risbe »Gradbena jama in ozemljitve TP«.

Poleg opisanih obročev bomo pri TP/K izvedli še dodatno izenačitev potenciala. Ležišče postaje bomo poravnali z betonsko ploščo debeline 20 cm. V to ploščo bomo zabetonirali Fe mrežo. Vogale mreže bomo povezali s potencialnima obročema, in sicer na dveh mestih. Na TP/K potencialno ozemljitev pritrdimo z valjancem na dve prirejeni mesti.

Ponikalno upornost obročev pri TP ne upoštevamo pri izračunu, ker bistveno ne vpliva na skupno ponikalno upornost.

Skupna ponikalna upornost zaščitne ozemljitve pri TP:

$$R_{TP} = R_K = 1,83 \Omega$$

$$R_{TP} = 1,83 \Omega \leq 4,17 \Omega$$

4.5.3 Ozemljitve na NN omrežju

Izvedba ozemljitve:	združena ozemljitev
Sredjenapetostna nevtralna točka:	indirektno ozemljena, nizkoohmski upor
Vrsta napajalnega sistemi:	TN sistem

Osnovni pogoji

Pri izvedbi ozemljitve nizkonapetostnega omrežja morajo biti izpolnjeni določeni osnovni pogoji, ki zagotavljajo varno in zanesljivo obratovanje sistema. Nevtralni vodnik mora biti ustrezno ozemljen na več mestih, pri čemer mora upornost obratovalne ozemljitve ostati znotraj dovoljenih mej.

Skupna upornost vseh obratovalnih ozemljitev nizkonapetostnega omrežja obravnavane transformatorske postaje praviloma ne sme presegati vrednosti $R_B = 3 \Omega$, kar je še posebej pomembno pri nadzemnih vodih. Nevtralni vodnik se pri transformatorski postaji poveže z zaščitno ozemljitvijo, s čimer se zagotovi ustrezna zaščita sistema.

Pri nizkonapetostnih izvodih in odcepkih, daljših od 200 m, skupna upornost vseh ozemljitev na zadnjih 200 m dolžine voda ne sme presegati 10 Ω . Izjemoma je lahko ta vrednost višja, kadar so na koncu takšnega voda objekti z izvedenim temeljnim ozemljilom in izenačitvijo potencialov. Enake zahteve glede razporeditve in kakovosti ozemljil se smiselno upoštevajo tudi v nizkonapetostnih omrežjih, izvedenih s podzemnimi ali samonosnimi kabli.

Nevtralni vodnik mora biti ozemljen tudi na mestih, kjer so nameščeni prenapetostni odvodniki, pri čemer je zaželeno, da upornost teh ozemljitev ne presega 5 Ω. Skupna upornost združene ozemljitve pri transformatorski postaji in nizkonapetostnem omrežju sme znašati največ $R_{zdr} \leq 2,7 \Omega$, kar je povezano z izklopnim časom $t_{iz} = 0,3$ s ter omejenim tokom zemeljskega stika v RTP, ki znaša $I_z = 150$ A ($U_d = 405$ V).

Izračun ozemljitev na NN omrežju

Ozemljitveni valjanec bomo položili v skupni dolžini 180 m ob celotni dolžini EKK, namenjene za uvlek NN kablov.

Ponikalna upornost tako položenih ozemljitev:

$$R_1 = \frac{k_t \cdot \rho_E}{l_v} \cdot k_s = \frac{2,24 \cdot 120,0}{180} \cdot 1 = 1,49 \Omega$$

$$R_B = R_1 = 1,49 \Omega$$

$1,49 \Omega \leq 3,0 \Omega$ kar pomeni, da obratovalna ozemljitev obravnavane TP/K ustreza predpisanim zahtevam.

4.5.4 Polaganje ozemljitev

Vse ozemljitve bomo izvedli s tračnim ozemljilom – s pocinkanim valjancem Fe-Zn 25 x 4 mm, zakopanim v globino cca 0,9–1,0 m. Vsi spoji med posameznimi deli ozemljitvene naprave kakor tudi prehodi v zemljo morajo biti izvedeni v skladu s tehničnimi predpisi in antikorozijsko zaščiteni z ustreznimi premazi (katran, plastična masa). Pri polaganju krakov mora biti kot med njimi vsaj 60°. Povsod naj se stremi k izvedbam večjega števila krajših krakov. Posebno skrbno je treba izvesti zasipanje valjanca. Za boljši odvod energije v kanal najprej nasujemo dobro zemljo debeline 10 cm, nato valjanec, nato zopet zemljo (glino) 20 cm. Kanal do vrha zasujemo z materialom od izkopa kanala. Ves odvečni material s trase odstranimo. Če zemlje ni na voljo, jo je treba pripeljati od drugje.

Po položitvi projektiranih ozemljitev je treba izvesti kontrolo (meritve) z ozirom na pogoje, ki smo jih predpisali. Pogoji, ki so navedeni ob izračunih, morajo biti obvezno izpolnjeni. Če meritve pokažejo, da ozemljitve ne zadoščajo postavljenim pogojem, moramo položiti še dodatne ozemljitve. O stanju ozemljitvene naprave je treba voditi stalno evidenco in jo redno kontrolirati v predvidenih obdobjih.

Po končanih delih je treba delovišče pospraviti (odstraniti ves neuporabljeni material), urediti okolico TP/K ter mesta, na katerih so se izvajala zemeljska dela. Odstraniti je treba ves odvečni odkopani material ter zemljo poravnati.

5 ZAKLJUČKI

V diplomski nalogi smo predstavili celoten postopek rekonstrukcije električnega omrežja, ki je posledica slabih napetostnih razmer. Omenjeno omrežje ni več ustrezalo zakonsko določenim zahtevam, kar so pokazale meritve. Treba je bilo narediti analizo obstoječega stanja in temu primerno pripraviti projekt rekonstrukcije, ki bo zadoščal tudi za prihodnja leta.

Analiza stanja je pokazala, da je najbolj smotrno postaviti novo TP/K. Zaradi postavitve novega objekta je bilo treba urediti tudi ustrezno elektro kabelsko kanalizacijo in kabelske jaške. Po določitvi konične moči smo preračunali potrebno moč transformatorja, ki bo ustrezala sedanjim in nadaljnjim potrebam. Določiti je bilo treba tudi lokacijo postavitve, ki mora biti neovirana in v središču porabe. Nato je sledila trasa 20 kV priključnega voda, pri čemer je bila potrebna tudi izgradnja nove kabelske kanalizacije in jaškov. Zaradi zaščite vodov je bilo predvideno polaganje v PVC cevi. Izračunali smo tudi kratkostične razmere in predstavili karakteristike kablovodov. Predstavili smo tudi izračune za potrebe dimenzioniranja dolžine valjanca in ozemljitve na NN omrežju.

V diplomski nalogi smo pokazali, da je rekonstrukcija električnega omrežja prispevala k vzpostavitvi zakonsko zahtevanih pogojev za kakovostno dobavo električne energije in hkrati poskrbela, da bo kljub potencialnim bodočim odjemnikom ali pa povečanju porabe obstoječih odjemalcev kakovost napetosti neokrnjena. Istočasno to pomeni zanesljivo dobavo električne energije in zmanjšanje dolgoročnih stroškov zaradi izpadov.

6 LITERATURA IN VIRI

Agencija za energijo. (2021). *Kakovost napetosti*. Pridobljeno 21.11.2025 z naslova <https://www.agen-rs.si/-/kakovost-napetosti>

Brechmann, G. (1994). *Elektrotehniški priročnik*. Ljubljana: Viharnik.

Elektro Ljubljana. (2018). *Poročilo o meritvi kakovosti električne energije*. Ljubljana.

Elektro Primorska. (2025). *Kakovost napetosti*. Pridobljeno 27.10.2025 z naslova <https://elektro-primorska.si/distribucijsko-omrezje/kakovost-napetosti/>

GIZ. (2013a). *Enožilni energetske kabli 12/20/24 kV: Tehnične smernice za material in dobavo*.

GIZ. (2013b). *Smernice in navodila za izbiro, polaganje in prevzem elektroenergetskih kablov nazivne napetosti 1 kV do 35 kV*.

Mithas, O. (1990). *Transformatorske postaje in ozemljitve*. Ljubljana: ICES.

Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE). (2021). *Uradni list RS, stran 9815*.

Slovenski inštitut za standardizacijo. (2021). *SIST IEC 60050-713:2021: Mednarodni elektrotehniški slovar – del 713: Zanesljivost in kakovost električne energije*. Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.

Slovenski inštitut za standardizacijo. (2025). *SIST EN 50160:2023/A1:2025: Značilnosti napetosti v javnih distribucijskih omrežjih*. Ljubljana: Slovenski inštitut za standardizacijo.