



ICES  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Elektroenergetika

Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne  
instalacije

## **DIMENZIONIRANJE NN KABLA V KABELSKI KANALIZACIJI**

Mentor: mag. Marko Smole, univ. dipl. inž. el.  
Lektorica: Mateja Lomšek, prof. slov.

Kandidat: Ervin Kajba

Buče, december 2018

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju mag. Marku Smoletu, univ. dipl. inž. el., za pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala prijatelju g. Marjanu Grobelšku in g. Francu Pišku iz podjetja Pišek – Vitli Krpan, d.o.o., za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Mateji Lomšek, prof. slov., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebno se zahvaljujem moji ženi Mihelci ter hčerkama Kaji in Tiji za spodbudo in potrpežljivost v času mojega študija.

Prav tako gre zahvala podjetju Elektro Celje, d.d., ki mi je študij omogočilo.

## IZJAVA

»Študent Ervin Kajba izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Marka Smole, 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**

Dimenzioniranje napajalnih kablov je ključnega pomena za zanesljivo napajanje električnih inštalacij v objektu. V diplomski nalogi smo dimenzionirali obstoječe in predvidene kable.

Pri dimenzioniranju smo si pomagali s podatki meritev gibanja temperatur istočasno z meritvami tokovne obremenitve obstoječega kabla. Podatki meritev so pokazali, da se je temperatura kabla z obremenitvijo povečala največ do 5 °C. Vzrok za tako majhno spremembo temperature merjenega kabla je zadostna cirkulacija zraka skozi elektrokabelsko kanalizacijo. Izgubna toplota kablov se je namreč dobro odvajala skozi zrak. Iz meritev in izračunov smo ugotovili, da bi lahko del obstoječe kabelske kanalizacije uporabili tudi za položitev novih kablov do načrtovane nove hale, saj so razmere ugodne zaradi odvajanja toplote skozi kabelsko kanalizacijo.

V zadnjem trenutku se je investitor odločil zgraditi dodatno halo, ki se bo napajala skozi kabelsko kanalizacijo, za katero smo naredili preverbo. Za halo, v kateri bo plazma rezalnik, pa se je zgradila nova kabelska kanalizacija. Zaradi nenehnega posodabljanja in zamenjav strojev je potrebno električno inštalacijo prilagajati novim zahtevam.

## **KLJUČNE BESEDE:**

- dimenzioniranje nizkonapetostnega kabla,
- kabelska kanalizacija,
- meritve obremenitve,
- termično dimenzioniranje kablov.

## **ABSTRACT**

Dimensioning of power cables is for reliable power supply of electrical installations in the facility of key importance. In this diploma thesis we have dimensioned the existing and future - planned cables.

At dimensioning of power cables, we were monitoring temperature simultaneously with the measurement of the current load of the existing cable. The measurement data showed that the temperature of the cable under the load increased for a maximum of 5 °C. The reason for such a small change in the temperature of the measured cable is sufficient air circulation through the existing electrical cable duct system. The heat of the cables was well drained through the air. From the measurements and calculations we concluded that part of the existing cable duct system could be used for placing new cables to the new hall, as the conditions are favourable due to the discharged heat through the cable ducts.

In the last moment, the investor decided to build an additional hall, which will be powered through the cable duct system for which we performed the check. For the hall in which the plasma cutter will be, a new cable duct system will be built. Due to constant upgrading and replacement of machines, the electrical installations must be adjusted to the new requirements.

## **KEYWORDS:**

- dimensioning the low - voltage cable,
- cable duct system,
- cable load measurements,
- Thermal dimensioning of cables.

## KAZALO

1	UVOD .....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge .....	1
1.3	Predstavitev okolja .....	2
1.4	Predpostavke in omejitve .....	3
1.5	Metode dela .....	3
2	VELJAVNA TEHNIČNA REGULATIVA .....	3
2.1	Tehnična smernica TSG-N-002: 2013.....	3
3	STANDARDI IN DOSEDANJE IZKUŠNJE NA OBJEKTU .....	5
3.1	Standardi.....	5
3.2	Dosedanje izkušnje na objektu.....	6
3.2.1	Priklop TP Pišek Vitli Krpan.....	6
4	PRIKLJUČITEV PORABNIKA NA NN OMREŽJE .....	8
5	MERITVE KABLA V OBREMENJENEM STANJU .....	10
5.1	Lem Memobox 800 .....	12
6	PRESOJA IZMERJENIH REZULTATOV .....	13
7	IZRAČUN OBSTOJEČEGA NAPAČNEGA KABLA OD TP DO RD1.....	14
7.1	Obstoječa cevna kanalizacija S kabli.....	14
7.2	Dimenzioniranje kabla NYY 2 x 4 x 185 mm <sup>2</sup> .....	14
7.2.1	Bremenski tok (dimenzioniranje priključne moči na obstoječem kablu) 15	
7.2.2	Vrsta vodnika in material vodnika.....	16
7.2.3	Tip električne inštalacije in število obremenjenih vodnikov .....	16
7.2.5	Faktor temperature.....	17
7.3	Izračun trajno zdržnega toka .....	18
7.4	Zaščita pred preobremenitvenim tokom .....	18
7.5	Zaščita pri kratkostičnem toku .....	19
7.5.1	Kratkostična impedanca $Z_{k3}$ .....	19
7.5.2	Začetni simetrični kratkostični tok izračunamo.....	22
7.5.3	Enopolni kratkostični tok na koncu izvoda .....	22
7.5.4	Zaščita kablov in vodnikov pred kratkostičnimi tokovi.....	23
7.6	Padec napetosti .....	24
7.7	Dimenzioniranje glede na segrevanje.....	25
8	DIMENZIONIRANJE NOVEGA KABLA OD TP DO RG4.....	28
8.1	Kratkostična zaščita vzporednih vodnikov (SIST IEC 60364-4-43 : 2009) .....	28
9	NAČINI POLAGANJA IN IZVEDBE KABLOV .....	32
9.1	Načini polaganja kablov .....	32
9.2	Kabel NYY .....	34
9.3	Transport bobnov .....	35
9.4	Označevanje .....	35
9.5	Vodnik.....	36
10	IZDELAVA ELEKTROKANALIZACIJE .....	37
10.1	Izbira trase .....	37
10.1.1	Križanja.....	37
10.2	Določitev tipa cevi, števila in razporeditve cevi.....	37
10.3	Dimenzioniranje kablanskega jarka .....	38
10.4	Ozemljilo .....	39
10.5	Izbira kablanskega jaška.....	40
10.5.1	Vrste kablanskih jaškov.....	40

10.5.2	Pokrovi kabelskih jaškov .....	41
10.5.3	Vstop v jašek.....	41
11	ELEKTROMAGNETNO SEVANJE IN SPOJNI MATERIAL .....	42
11.1	ElektroMagnetno sevanje.....	42
11.2	Vplivi na okolje .....	42
11.3	spojni material in spajanje .....	42
12	ZAKLJUČEK.....	44
13	LITERATURA IN VIRI.....	45
14	PRILOGE .....	47
14.1	Tlorisna situacija nizkonapetostnega kabla .....	47
14.2	Enopolna shema TP Pišek Vitli Krpan .....	48
14.3	Povprečni tokovi.....	49
14.4	Maksimalni tokovi.....	49
14.5	Povprečne napetosti .....	50

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Plazemski razrez pločevine .....	2
Slika 2:	Mitofleks sprej – rdeči .....	6
Slika 3:	Predvlečna vrv .....	7
Slika 4:	SN prenapetostni odvodnik .....	8
Slika 5:	NN prenapetostni odvodnik.....	8
Slika 6:	Stikalna letev Apator 630 A.....	9
Slika 7:	NN razdelilec .....	10
Slika 8:	Maksimalni tokovi .....	11
Slika 9:	Povprečni tokovi .....	11
Slika 10:	Povprečne napetosti .....	12
Slika 11:	Lem Memobox 800 .....	13
Slika 12:	Gibanje temperatur .....	13
Slika 13:	Obstoječa EKK .....	14
Slika 14:	Kabel NYY 185 mm <sup>2</sup> .....	16
Slika 15:	Opozorilni trak .....	32
Slika 16:	Polaganje opozorilnega traka.....	33
Slika 17:	Polaganje kabla v zemljo .....	33
Slika 18:	Polaganje kabla v EKK .....	34
Slika 19:	Kabelska bobna BD-14.....	35
Slika 20:	DWG cev 110 mm .....	38
Slika 21:	Sestavljivi cevni in enojni kabelski distančniki .....	38
Slika 22:	Presek kabelskega jarka.....	39
Slika 23:	Vroče pocinkani trak FeZn 4 x 25 mm.....	40
Slika 24:	AB kabelski jašek.....	40
Slika 25:	PE kabelski jašek.....	41
Slika 26:	LŽP Livar ElektriKa.....	41
Slika 27:	Kabel čevelj Cu.....	42
Slika 28:	Vezni tulec Cu .....	43
Slika 29:	Hidravlične baterijske stiskalne klešče Klauke mini in Klauke EK 22 plus .....	43
Slika 30:	Primer spoja med kabel čevljem in vodnikom .....	44

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Faktorji za preračunavanje tokovne obremenitve pri polaganju kabla v zemljo.....	18
Tabela 2: Izračuni kabla od TP do RD1, skladno z v predhodnih poglavjih opisanimi postopki.....	26
Tabela 3: Tehnični podatki za kabel FG7R 1 x 240 mm <sup>2</sup> .....	29
Tabela 4: Izračun kabla od TP do RG4, skladno z v predhodnih poglavjih opisanimi postopki.....	29
Tabela 5: Konstruktivski podatki za močnostne kable NYY.....	34
Tabela 6: Osnovne konstrukcijske značilnosti vodnikov .....	36

## KAZALO PRILOG

Priloga 1: Tlorisna situacija priključnega NN kabla .....	47
Priloga 2: Enopolna shema TP Pišek Vitli Krpan .....	48
Priloga 3: Graf povprečni tokovi, izdelan v programu Codam .....	49
Priloga 4: Graf maksimalni tokovi, izdelan v programu Codam.....	49
Priloga 5: Graf povprečne napetosti, izdelan v programu Codam .....	50

## KRATICE IN AKRONIMI

EKK	elektrokabelska kanalizacija
EKJ	elektrokabelski jašek
KČ	kabel čevelj
PVC	polivinilklorid
VZD	varstvo zdravja pri delu
DWP	dvoslojna kabelska cev



# 1 UVOD

## 1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V podjetju Pišek – Vitli Krpan, d.o.o., je pod obstoječo halo v tamponu izvedena osem cevna kabelska kanalizacija z DWP cevmi, premera 110 mm. V tej kanalizaciji sta položena dva paralelna sistema s po  $4 \times 1 \times \text{NYY } 185 \text{ mm}^2$ . Naprej od obstoječe hale namerava investitor zgraditi še eno halo za plazemski razrez pločevine, v kateri bo potrebna moč 350 kW.

V nalogi bomo ugotavljali, ali je mogoče s položitvijo obstoječega paralelnega sistema v štiri cevi (dva vodnika v eni cevi) zanesljivo napajati obstoječi objekt. Na ta način bi sprostili obstoječe štiri cevi, ki bi jih morda lahko uporabili za položitev napajalnih enožilnih kablov za predvideni novi objekt. Na ta način bi močno racionalizirali stroške investicije napajalnih vodov s kanalizacijo ter izgub na kablu ob obratovanju. V primeru, da bodo meritve in izračuni pokazali, da to ni mogoče, bo potrebno izdelati novo kabelsko kanalizacijo, ki bo daljša 60 m. Poleg tega je potrebno upoštevati še križanja obstoječih elektrovodov, optike, kanalizacije, vode, rezanje ceste itd. To bi investicijo precej podražilo.

Na podlagi standardov bo izbran presek kabla, zaščita pri kratkostičnem toku in nadtoku (dimenzioniranje vodnikov), izbira tipa kabla, način polaganja kabla z upoštevanjem korekcije zaradi temperature in števila vzporednih kablov. Obravnavali bomo tudi postopke spajanja in priključevanja kablov. Poleg navedenega bomo upoštevali elektromagnetno sevanje in vpliv višjeharmonskih tokov na kablu.

Pri načrtovanju bomo upoštevali splošne usmeritve za gradnjo elektrokabelske kanalizacije, določitev tipa cevi, dimenzioniranje jarka, tipe kabelskih jaškov, zahteve za materiale pri izdelavi elektrokabelske kanalizacije. Pri gradnji bomo opisali, kako se izvede izkop jarkov, polaganje cevi in ozemljitvenega traku ter vplive na okolje.

## 1.2 CILJI NALOGE

Dimenzionirali bomo napajalni kabel za prenos moči 350 KW (2 kabla paralelno). Z meritvami obremenitve bomo ugotovili maksimalno moč na že obstoječih kabljih. V terminu enega tedna bomo merili temperature obstoječih kablov v kabelski kanalizaciji, v zraku (kabelski jašek), v cevi EKK in zunanjo temperaturo. Izvedli bomo primerjavo med dimenzioniranjem in meritvami.

Glede na dobljene rezultate se bomo odločili ali lahko uporabimo obstoječo kanalizacijo ali moramo dimenzionirati novo – dražjo kabelsko traso za novo halo.

Cilj naloge je pravilno dimenzioniranje nizkonapetostnega kabla. Cilje bomo dosegli z meritvami temperature v kabelski kanalizaciji vzporedno z meritvijo zunanje temperature okolice in tokovne obremenitve kablov.

Meritve nam bodo pokazale, do katere vrednosti lahko obremenimo nizkonapetostne kable v kabelski kanalizaciji, da ne presežemo korigiranega trajno zdržnega toka.

### 1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Začetki podjetja Pišek – Vitli Krpan segajo v leto 1977. Podjetje je najstarejši proizvajalec gozdarskih vitlov v Sloveniji in največji v Evropi. Proizvodni program obsega gozdarske vitle, cepilnike drv, gozdarske prikolice z dvigali, rezalno-cepilne stroje, traktorske platoje ... Ukvarjajo se s celovito nadgradnjo traktorjev in gozdarske opreme. Vsi izdelki so narejeni z lastnim znanjem, saj imajo lastni razvojni oddelek.

Prejeli so številna priznanja, kot so Obrtnik leta 2005, Slovenski podjetnik leta 2016 in razne medalje na sejmu v Gornji Radgoni, občinska ter državna priznanja. Imajo pa tudi KWF medaljo za inovacijo leta 2016, v njihovi lasti je prav tako več patentov in certifikatov. Na vse izdelke dajejo tudi tri letno garancijo.

Podjetje zaposluje 250 ljudi v prijetnem delovnem okolju, ki so vpeljeni v lasten razvoj, imajo visoko varnost pri delu in visoko kvaliteto. Imajo 900 prodajnih mest v 50 državah sveta.



*Slika 1: Plazemski razrez pločevine*  
(Vir: <http://www.vitli-krpan.com/si/o-podjetju/proizvodnja>)

## 1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Kolikšna je maksimalna moč in pri tem termična obremenitev kabla? Če bomo morali izdelati novo elektrokanalizacijo, se bodo pojavili večji stroški, pojavi se problem pri približevanju in križanju drugih električnih vodov, komunalnih naprav in poti. Upoštevati moramo, da pri izvajanju del čimmanj motimo proizvodnji proces v podjetju Vitli Krpan.

## 1.5 METODE DELA

Moč, ki se prenaša po paralelnih kablih 2 x ( NYY 4 x 1 x 185 mm<sup>2</sup>), bomo merili z instrumentom Lem Memobox 800 (Power quality loggers). Tipanje temperature bomo izvajali s sondami DS18B20, zajem podatkov pa preko krmilnika (stacionarna varianta) na štirih mestih. Prvo merilno mesto bo v kabelski cevni kanalizaciji na globini 0,8 m in horizontalno 10 m ob kablu. Drugo merilno mesto bo na kablu v kabelskem jašku (kabel položen v zraku). Tretje merilno mesto bo temperatura v prazni cevi kabelske kanalizacije in zadnje, četrto merilno mesto, bo temperatura okolice (zunanja temperatura).

Nato bomo vse podatke iz merilnih naprav prenesli v Excelovo tabelo in naredili grafe s skupno Y-osjo. Električni kabli so v večini primerov izpostavljeni temperaturam, ki so višje ali nižje kot 20 °C, tako bomo z meritvami ugotovili, ali obstoječi kabli delujejo v okvirjih dimenzioniranja. Ugotovili bomo tudi, ali lahko v isto kanalizacijo položimo še nove energetske kable, oziroma koliko je še rezerve na obstoječih.

## 2 VELJAVNA TEHNIČNA REGULATIVA

Pri dimenzioniranju nizkonapetostnega kabla smo uporabljali tehnično smernico TSG-N-002: 2013.

### 2.1 TEHNIČNA SMERNICA TSG-N-002: 2013

- Tehnična smernica TSG-N-002 (2013) navaja, zahteve za projektiranje in izvedbo nizkonapetostnih električnih inštalacij

Splošno, stran 15, odstavek 1, 2, 3 in 5.

Pri odstavku splošno se določi največja inštalirana moč, pri čemer se upošteva faktor istočasnosti. Upoštevati je potrebno zunanje vplive okolja, pri meritvah v našem primeru sta to temperatura okolice in gibanje zraka. Vsaka inštalacija mora biti razdeljena na več tokokrogov, da ob okvarah ne

izpadejo drugi tokokrogi. Pri križanjih z drugimi inštalacijami mora biti razmik v skladu z veljavnimi predpisi.

Zaščita vodov, stran 15, odstavek 1, 4 in 5.

Kabli morajo biti zaščiteni pred mehanskimi, toplotnimi in drugimi zunanjimi vplivi, kot so DWG cevi za kabelsko kanalizacijo. Kabli se smejo spajati v kabelskih spojkah in električnih razdelilnikih. Ob spojih vodniki ne smejo biti izpostavljeni nateznim ali upogibnim silam, kar smo upoštevali pri izdelavi elektrospojk in priklopih v nizkonapetostnih razdelilcih.

Način napeljave, stran 16, odstavek 1, 2 in 9.

Električna inštalacija ne sme biti v istem kanalu z drugimi inštalacijami. Uvlekli smo samo en kabel v eno cev za novo halo. Kabli se polagajo v globino 0,8 m.

Dimenzioniranje vodnikov, stran 16, odstavek 1, 2, 3 in 4.

Pri dimenzioniranju se upošteva izpostavljenost izolacije termičnim učinkom trajno dovoljenega toka in zunanjih vplivov v času obratovanja. Za polaganje kablov v kabelsko kanalizacijo se upošteva temperatura okolice v ceveh 20 °C. Pri dimenzioniranju kablov smo upoštevali, da so najvišje dovoljene temperature za PVC izolacijo 70 °C. Pri polaganju kabla je potrebno upoštevati število kablov v eni cevi kabelske kanalizacije in izbrati ustrezne korekcijske faktorje. Mi smo izbrali korekcijski faktor 1.

Dimenzioniranje vodnikov, stran 17, odstavek 9 in 12.

Ozemljitveni vod mora ustrezati istim pogojem kot zaščitni vodnik. Vkopali smo vroče pocinkani trak s prerezom 100 mm<sup>2</sup>. Spoji ozemljitvenih vodov in ozemljil morajo biti izvedeni s standardiziranimi spojnimi elementi, kot so križne sponke.

- Tehnična smernica TSG-N-002 (2013) navaja, zaščitna in obratovalna ozemljitev:  
Obratovalna ozemljitev, stran 28, odstavek 1.  
Če je električna inštalacija priključena na distribucijsko omrežje, kar v našem primeru je, mora biti obratovalna ozemljitev izvedena skladno z zahtevami systemskega opraterja.

Polaganje ozemljilnega voda, stran 29, odstavek 3.

Na ozemljitvenem vodu mora biti na dostopnem mestu ločljiva zveza, ki omogoča meritev ozemljitvene upornosti.

- Tehnična smernica TSG-N-002 (2013) navaja, zaščita pred preobremenitvijo vodnikov:  
Splošno, stran 32, odstavek 1.  
Zaščita pred preobremenitvijo in kratkim stikom se štiti z eno ali več napravami. Vgradili smo NV/NH taljive varovalne vložke.

Zaščita pred kratkostičnim tokom, stran 32, odstavek 1, 2 in 3.

Zaščita pred kratkostičnim tokom, v našem primeru taljive varovalke NV/NH, morajo prekiniti kratkostični tok, ki teče skozi vodnike tokokroga, preden bi lahko povzročil nevarnost zaradi toplotnih in mehanskih učinkov v kablilih. Kratkostični tok smo določili z izračunom. Kratkostična naprava mora izpolnjevati zahteve izklopne zmogljivosti in karakteristiko zaščite. Vsak kratkostični tok, ki se pojavi v kateri koli točki tokokroga, mora biti prekinjen v času, preden se vodnik segreje do dopustne mejne temperature. Ta čas je maksimalno 5 sekund.

- Tehnična smernica TSG-N-002 (2013) navaja, zaščita pred toplotnim učinkom in prenapetostjo:  
Zaščita pred prenapetostjo, stran 33 in 34, odstavek 1, 5 in 6.  
Prenapetostni odvodnik mora biti postavljen tako, da v trenutku delovanja ne pomeni nevarnosti za ljudi. Mi smo jih postavili v razdelilno omaro v transformatorskem prostoru. Ozemljiti jih je potrebno po najkrajši poti. Upornost ozemljila naj bo vedno manjša od  $10 \Omega$ .

## **3 STANDARDI IN DOSEDANJE IZKUŠNJE NA OBJEKTU**

### **3.1 STANDARDI**

Pri gradnji moramo upoštevati predpise, ki so obvezni. Standarde pa upoštevamo po dogovoru, ti so: EU standardi, mednarodni standardi in nacionalni standardi.

V našem primeru upoštevamo predvsem dva standarda:

- SIST IEC 60264.4.43 Nizkonapetostne električne inštalacije – zaščita vzporednih vodnikov pri nadtoku.

Standard zagotavlja zahteve za zaščito prevodnikov pred nadtokovi. Opisuje tudi, kako se vodniki zaščitijo pred preobremenitvijo in kratkim stikom. Standard smo uporabljali pri določitvi zaščite pred preobremenitvenim tokom (karakteristika varovalke), zaščita pri

kratkostičnem toku, za kontrolo presekov in pri kratkostični zaščiti vzporednih vodnikov.

- SIST HD 384.5.523 S2: 2002 Izbira in namestitev električne opreme – trajno dovoljeni toki v inštalacijskih sistemih.

Standard smo uporabljali pri izračunih trajno dovoljenih tokov za izbiro načina položitve trase »D«, določitev trajno zdržnega toka, upoštevali smo korekcijski faktor položitve večjega števila vodnikov in temperature.

## 3.2 DOSEDANJE IZKUŠNJE NA OBJEKTU

### 3.2.1 Priklop TP Pišek Vitli Krpan

Novo transformatorsko postajo Pišek Vitli Krpan smo leta 2016 priključili na sredjenapetostno omrežje. Napaja se iz RTP Šentjur – DV 20 kV Tratna, na odsek D9/12 KT3 je priključen SN kabel NA2XS(F) 2Y 3 x 1 x 150 mm<sup>2</sup>. TP Pišek Vitli Krpan in SN kabel je v lasti podjetja Pišek – Vitli Krpan, d.o.o., za katero imajo tudi lastno vzdrževanje. V tej novi TP sta dva transformatorja moči 1000 kVA in 630 kVA. Trenutno obratuje samo 1000 kVA, pogoj za drugi transformator pa je tudi izpolnjen, saj smo zgradili novo povezavo. Prestavitev napajanja iz TP Jazbine (nadomestna) v novo TP Pišek Vitli Krpan smo opravili leta 2016 med praznikom velika noč, ko je bila proizvodnja ustavljena. V enopolni shemi, ki je prikazana v prilogi 2, se vidi prikaz celotne transformatorske postaje. Dela na SN in NN vodih so se izvajala v breznapetostnem stanju. Kable smo razelektirili in kratko staknili na obeh koncih, da ne bi prišlo do udara električne energije na prisotne.

Pred pričetkom smo z meritvami ugotovili, kje se nahajajo druge električne, vodovodne, kanalizacijske in optične napeljave ter jih jasno označili z rdečo barvo.



Slika 2: Mitofleks sprej – rdeči  
(Vir: Lasten)

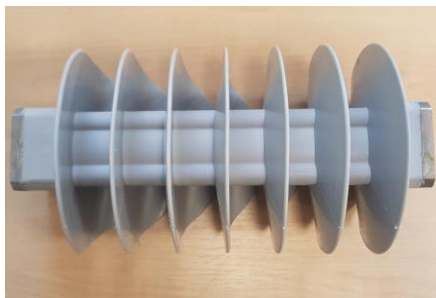
Izkop jarka za kabelsko kanalizacijo se je začel od zgornje strani. Na varnost prisotnih smo pazili tako, da smo jarek ogradili. Globina izkopa je bila več kot 100 cm. Dela so se izvajala strojno, nekaj malega pa tudi ročno, predvsem pri križanjih drugih vodov. Del izkopane zemlje smo odvažali na bližnjo deponijo. Dno kabelskega jarka smo zravnali in očistili kamenje. Nato smo položili DWG cevi, premera 110 mm, jih obsipali s plastjo peska, pri križanjih pa obetonirali. Najprej smo v kabelsko kanalizacijo uvlekli predvlečno vrv, na katero smo na kabelsko nogavico privezali srednjenapetostni kabel in ga vsakega posebej uvlekli. Ko smo kable uvlekli v EKK, smo na obeh straneh pustili približno pet metrov rezervne zanke, ki nam pomaga ob morebitnih okvarah na spojkah ali kabelskih končnikih. Takoj, ko smo SN kable položili, jih je ena skupina že začela priključevati na SF6 blok.



*Slika 3: Predvlečna vrv  
(Vir: Lasten)*

Na vseh nizkonapetostnih kablji smo označili smer vrtenja, nato pa jih odklopili, izvlekli iz stare TP in jih uvlekli v novo kabelsko kanalizacijo enako kot srednjenapetostne kable v novi TP. Prekratke kable smo podaljšali in spojili z ustreznimi novimi kablji. Konce kablov smo odrezali na primerne dolžine s posebnimi ročnimi ali hidravličnimi kleščami. Zunanji plašč smo odstranili s posebnim nožem. Če je plašč oziroma izolacija pretrda, jo lahko malo pogrejemo z odprtim ognjem za lažjo odstranitev. Notranji plašč kabla smo odstranili na potrebno dolžino, ki jo je zahteval kabel čevljev. Vezne tulce in kabel čevlje smo gnetli s posebnimi specialnimi hidravličnimi kleščami s primernimi vložki. Na veznih tulcih in kabel čevljih smo pobrusili ostre robove. Za izdelavo spojk smo uporabili termične spojke, ki smo jih pazljivo segrevali z odprtim ognjem toliko časa, da so se lepo oprijele kabla, enako smo segreli kabelske končnike. Kabel čevlje smo nataknili na vijake, ki so bili potrebne trdote, in jih privili z moment ključni pravilne nastavitve.

Prenapetostne odvodnike tip 2SS15N-RP 24 kV AA smo namestili na obeh straneh SN kabla.



Slika 4: SN prenapetostni odvodnik  
(Vir: Lasten)

Niskonapetostne prenapetostne odvodnike Protec B2S 37,5/320 (3 + 0) pa smo namestili v nizko napetostne razdelilne omare v transformatorski postaji.



Slika 5: NN prenapetostni odvodnik  
(Vir: Lasten)

## 4 PRIKLJUČITEV PORABNIKA NA NN OMREŽJE

Niskonapetostne omarice v posameznih halah, kjer so priključeni različni stroji, smo povezali s kable v TP Pišek Vitli Krpan na NN strani s stikalnimi letvami Apator 160 A, 400 A in 630 A. V enopolni shemi, ki je prikazana v prilogi 2, se vidi prikaz celotne transformatorske postaje.





Slika 6: Stikalna letev Apator 630 A  
(Vir: Lasten)

- Hala za proizvodnjo, št. 130, je priključena na kabel FG7R 2 x 4 x 240 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH3, 2 x 3 x 315 A, na dveh vzporednih stikalnih letvami Apator SL3 630 A.
- Protec B2S se varujejo s taljivimi varovalkami NV/NH00 3 x 100 A, na stikalni letvi Apator SL00 160 A.
- Kompenzacijska omara 1 je priključena na kabel NYY 3 x 1 x 120 mm<sup>2</sup> + 2 x 95 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH3, 3 x 500 A, na stikalni letvi Apator SL3 630 A.
- Hala vitlov RD1 je priključena na kabel NYY 2 x 4 x 185 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH3, 3 x 500 A, na stikalni letvi Apator SL3 630 A.
- Skladiščna hala (montažna) je priključena na kabel E-AY2Y-J 4 x 150 + 2,5 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH2, 3 x 224 A, na stikalni letvi Apator SL2 400 A.
- Strugarska delavnica je priklopljena na kabel NAYY-J 4 x 185 +2,5 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH2, 3 x 224 A, na stikalni letvi Apator SL2 400 A.
- Prizidek RG je priključen na kabel NYY 4 x 1 x 240 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH2, 3 x 315 A, na stikalni letvi Apator SL2 400 A.
- Sončna elektrarna 240 kW je priključena NYY 3 x 1 x 240 mm<sup>2</sup> + 1 x 185 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH3, 3 x 425 A, na stikalni letvi Apator SL3 630 A.
- Sončna elektrarna 50 kW je priključena na kabel NYY 4 x 70 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH00, 3 x 100 A, na stikalni letvi Apator SL00 160 A.
- Sončna elektrarna 3 je priključena na kabel NAYY 4 x 240 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH3, 3 x 250 A, na stikalni letvi Apator SL3 630 A.
- Varstroj PH C – plazma je priključena na kabel NYY 4 x 1 x 150 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH3, 3 x 280 A, na stikalni letvi Apator SL3 630 A.
- Proizvodna hala H RG2 je priključena na kabel NYY 4 x 1 x 240 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH2, 3 x 355 A, na stikalni letvi Apator SL2 400 A.

- Peskalnik je priključen na kabel NYY 4 x 1 x 120 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH2, 3 x 200 A, na stikalni letvi Apator SL2 400 A.
- Lakirnica je priključena na kabel NYY 4 x 1 x 120 mm<sup>2</sup> in se varuje s taljivimi varovalkami NV/NH2, 3 x 200 A, na stikalni letvi Apator SL2 400 A.

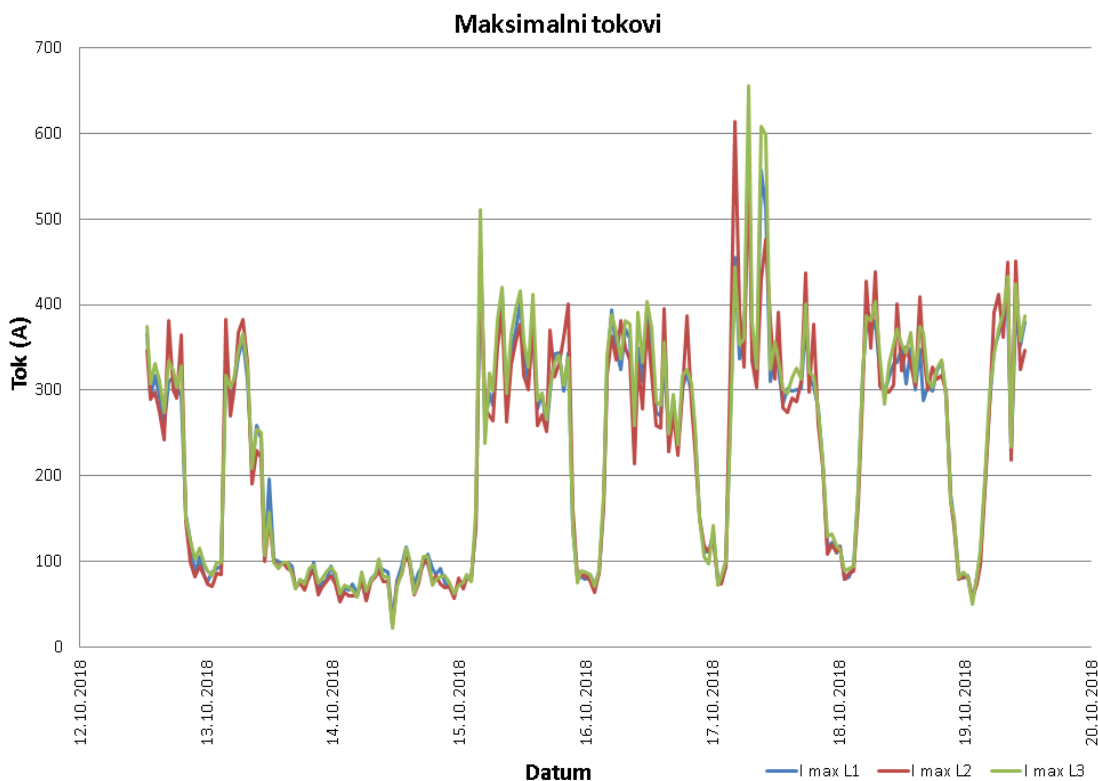


Slika 7: NN razdelilec  
(Vir: Lasten)

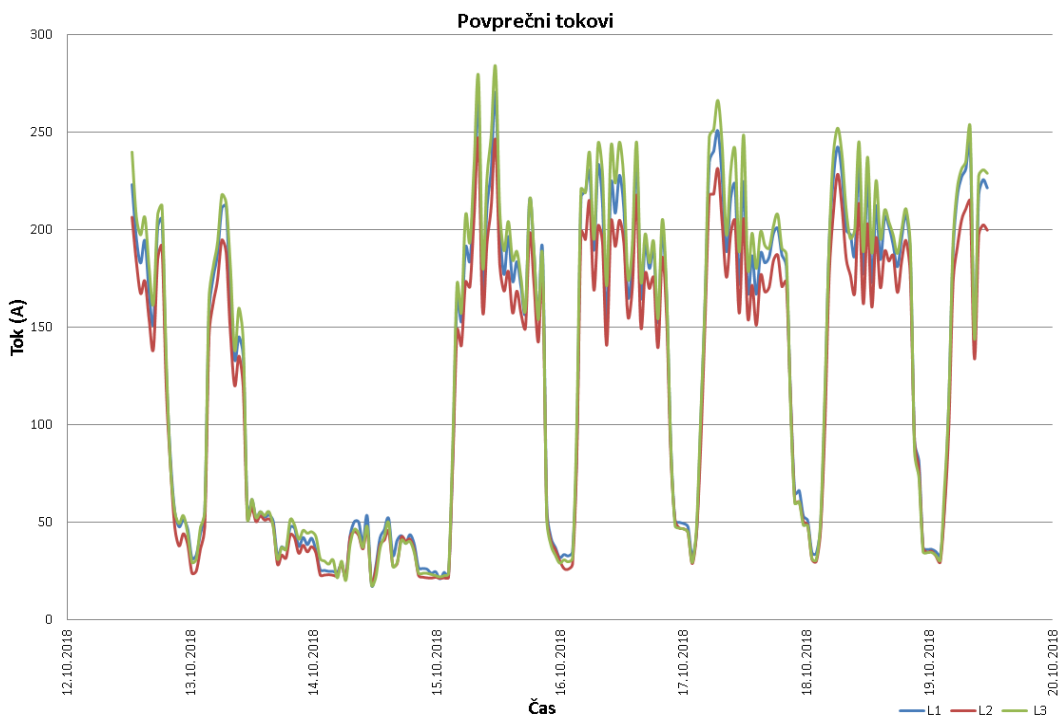
## 5 MERITVE KABLA V OBREMENJENEM STANJU

Iz grafa povprečnih in maksimalnih tokov je razvidno, da je največja obremenitev kabla od ponedeljka zgodaj zjutraj pa do sredine sobote. V tem času se maksimalni tokovi povzpnejo tudi do 650 A, povprečni pa do 280 A, med vikendom pa obremenitev močno pade. To je predvsem posledica rezanja debele pločevine s plazma stroji.

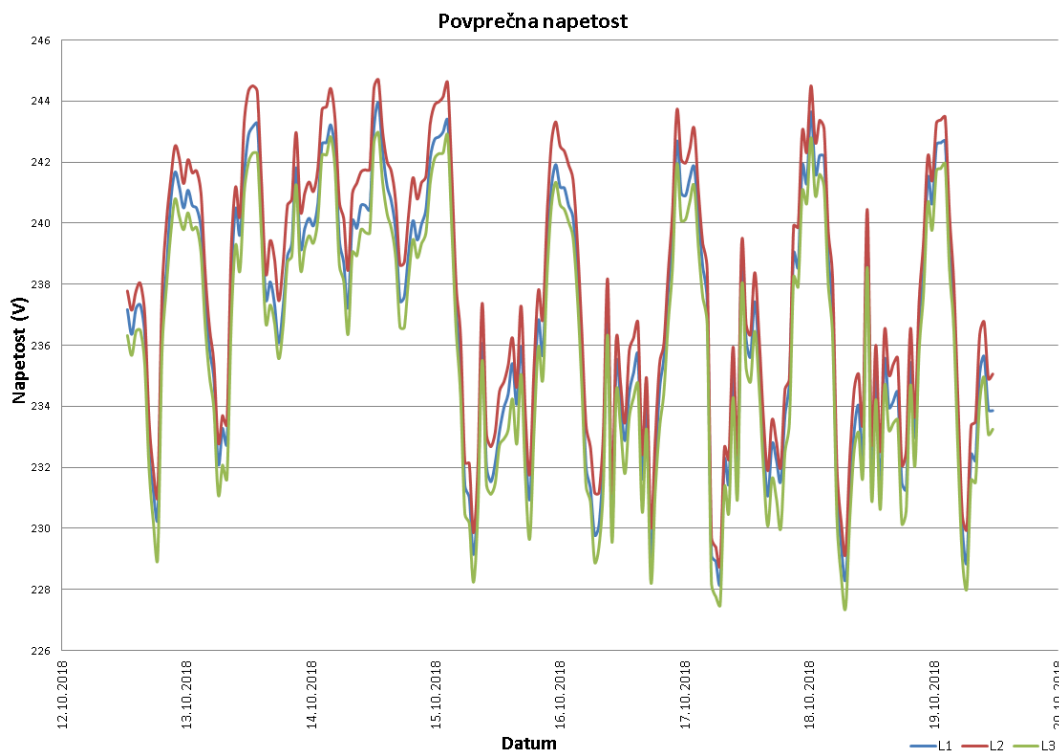
Na gibanje temperature kabla v elektrokabelski kanalizaciji skoraj popolnoma nič ne vpliva zunanja temperatura.



Slika 8: Maksimalni tokovi  
(Vir: Lasten)



Slika 9: Povprečni tokovi  
(Vir: Lasten)



*Slika 10: Povprečne napetosti*  
(Vir: Lasten)

## 5.1 LEM MEMOBOX 800

Inštrument Lem Memobox 800 se uporablja za merjenje kakovosti električne energije. Njegove glavne značilnosti so: enostavna priključitev, zelo robustno gumirano izolirano ohišje, ima pomnilnik in deluje po vrednostih SIST EN 50160. Ima veliko možnosti meritev in nastavitve. V glavnem lahko izbiramo med tremi nastavitvami:

- S: je standardni način,
- Q: analizira napetost in meri električne prekinitve,
- P: meritve moči.

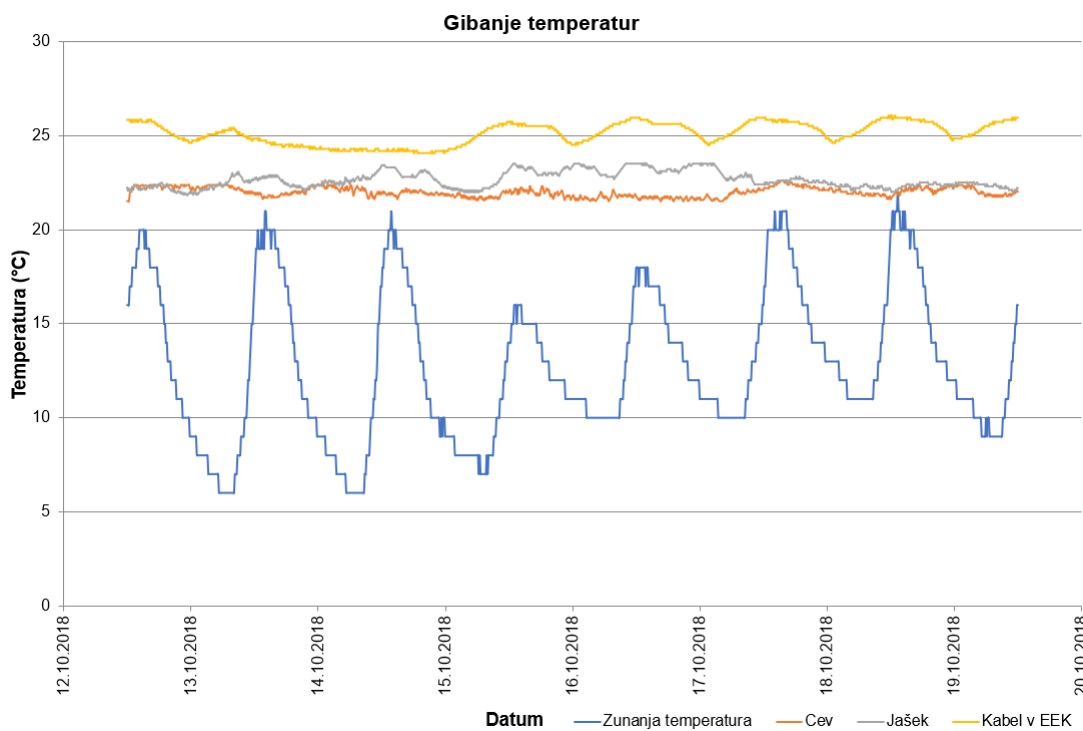
Lem Memobox 800 omogoča merjenje osem parametrov električne napetosti na nizko napetostnem nivoju do 1 kV in na sredjenapetostnem nivoju od 1 kV do 35 kV. Meritve se izvajajo v zaporedju sedmih dni, nato sledi analiza dobljenih rezultatov. Dobljene podatke naložimo na računalnik. V programu Codam pa izrišemo grafe merjenih veličin.



Slika 11: Lem Memobox 800  
(Vir: Lasten)

## 6 PRESOJA IZMERJENIH REZULTATOV

Iz meritev v kabelski kanalizaciji vidimo, da obremenitev obstoječih kablov NYY 2 x 4 x 185 mm<sup>2</sup>, položenih od TP do RD1 v zaščitnih ceveh, zelo malo vpliva na temperaturo v kabelski kanalizaciji. Kar pomeni, da se temperatura kabla poveča za cca 5 °C. Da izgubna energija na kablu v kabelski cevi tako malo dviguje temperaturo, je mogoče pripisati tudi cirkulaciji zraka po ceveh med kabelskimi jaški. To je bilo mogoče zaznati pri montaži temperaturnih sond v kabelsko cev.



Slika 12: Gibanje temperatur  
(Vir: Lasten)

## 7 IZRAČUN OBSTOJEČEGA NAPAVALNEGA KABLA OD TP DO RD1

### 7.1 OBSTOJEČA CEVNA KANALIZACIJA S KABLI



Slika 13: Obstojča EKK  
(Vir: Lasten)

V ceveh je položenih osem enožilnih kablov NYY 1 x 185 mm<sup>2</sup>, ki tvorijo en sistem paralelno položenih kablov do glavnega razdelilnika RD1. Vsak enožilni fazni kabel je položen v svojo cev, medtem ko sta PEN vodnika položena skupaj v isto cev.

Objekt je bil zgrajen pred dvanajstimi leti, vendar v arhivu nismo našli PID načrta elektroinstalacij za to proizvodno halo. Zato smo pred izvedbo napajanja za novo halo izvedli dimenzioniranje obstoječega paralelnega napajalnega kabla 2 x 4 x NYY 1 x 185 mm<sup>2</sup> (enožilni kabli v svoji cevi).

### 7.2 DIMENZIONIRANJE KABLA NYY 2 X 4 X 185 MM<sup>2</sup>

Skladno z določili standarda SIST HD 60364.4.43 (zaščita pred prevelikimi toki), standarda SIST HD 384.5.523 S2: 2002 (trajno dovoljeni toki) ter na osnovi instalirane moči tokokrogov ter oddaljenosti porabnikov določimo nazivne preseke vodnikov.

Trajno dovoljeni tok izberemo glede na del trase z najslabšimi pogoji. Najvišja dovoljena temperatura na vodniku po SIST HD 384.5.523 S2: 2002 (tabela 52-C1)  $T_{max} = 70\text{ °C}$ , izolacija – PVC masa.

Kabel NYY je večžičen in okrogle oblike (RM). Izolacija in plašč kabla sta iz polivinilklorida (PVC). Več o kablu je opisano v poglavju 8.2 KABEL NYY.

Vodniki so dimenzionirani glede na naslednje parametre:

- bremenski tok,
- vrsto vodnika in material vodnika,
- tip električne napeljave in število obremenjenih vodnikov,
- temperaturo okolice.

Tudi dimenzioniranje kablov ni povsem zanesljivo, saj v tabelah 52-XX standarda SIST HD 384.5.523 S2: 20202 ni mogoče najti popolnoma primerljive metode polaganja kabla, kot tudi ne redukcijskih za položene kable v cevi v zemlji.

### 7.2.1 Bremenski tok (dimenzioniranje priključne moči na obstoječem kablu)

Kot je razvidno iz tabele slika št. 8 in 9, obremenitev faznih vodnikov, izmerjenih tokov v kablju od TP do RD1, ni enakomerna. Zaradi poenostavitve bomo v izračunih upoštevali simetrično obremenitev.

Pri določitvi konične moči in koničnega toka računamo z vsoto instaliranih moči posameznih priključkov in z ocenjenim faktorjem istočasnosti, faktorjem prekrivanja ter izkoristka.

Ker je proizvodni proces v podjetju zelo dinamičen in poteka nenehno posodabljanje proizvodnih strojev z nakupi novih ali zamenjavo obstoječih, je nemogoče določiti inštalirano moč objekta ter posledično konični tok. Proizvodnja je opremljena tudi s popolnoma avtomatskimi stroji, ki delajo tudi izven delovnega časa (ponoči, vikendi ...).

V našem primeru bomo upoštevali zgornje vrednosti izmerjenih tokov na dovodnih kablju.

Obremenitev objekta smo dobili iz tabele meritev slika št. 8 in 9. Izmerjeni tok je znašal 470 A .

Pri dimenzioniranju moramo upoštevati, da izmerjeni tok s tokovnimi kleščami ne vsebuje jalove komponente. Kompenzacijska naprava se nahaja ob NN plošči transformatorske postaje.

$I_b$  – bremenski tok izračunamo:

$$I_b = \frac{P_n}{U \cdot \cos \phi_i \cdot \sqrt{3}} = \frac{300 \cdot 10^3}{400 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{3}} = 481,13 \text{ A}$$

V našem primeru poznamo bremenski tok na podlagi izmerjenih rezultatov. Iz tabele izmerjenih tokov vidimo, da se obremenitev dovodnega kabla močno spreminja. Osredotočili se bomo na zgornje velikosti tokov, saj se s spremembo tehnološkega

procesa v proizvodni hali zgodi, da bo dovodni kabel obremenjen maksimalno. Izvedli bomo preračun na predpostavki, da je kabel obremenjen s 300 kW pri  $\cos \phi$  0,9 (kompenzacija jalove energije se nahaja v TP).

Glede na izračunani tok bremena ( $I_b$ ) določimo vrednost zaščitnega elementa ( $I_n$ ), v našem primeru talilne varovalke tipa NV 500 A.

### 7.2.2 Vrsta vodnika in material vodnika

Glede na tokovne zmogljivosti, tehnične možnosti polaganja močnostnih energetskega kablov izberemo tip in material kabla. Pogosto na izbiro kabla tudi vpliva tudi cena. Izvedli bomo preračun obstoječega kabla NYY 1 x 185 mm<sup>2</sup>.



Slika 14: Kabel NYY 185 mm<sup>2</sup>

(Vir: <https://www.indotrading.com/product/kabel-nyy-50-p344753.aspx>)

### 7.2.3 Tip električne inštalacije in število obremenjenih vodnikov

Da lahko izberemo ustrezní presek vodnika, moramo poznati način položitve kabla.

V našem primeru je obstoječi objekt priključen na električno omrežje z dvema paralelnima energetskega kabloma, tipa NYY 1x 185 mm<sup>2</sup> po fazi. Fazni kabli so položeni samostojno v zaščitni cevi. Zaščitna vodnika pa sta položena skupaj v eni cevi. Cevi so položene tako, da so sredine cevi med sabo razmaknjene za 25 cm. Povprečna globina vkopa je 0,8 m v gramoznem tamponu pod talno betonsko ploščo.



#### 7.2.4 Faktor polaganja kabla

Na podlagi SIST HD 384.5.523 S2: 2002 – Električne inštalacije zgradb – 5. del: Izbira in namestitve električne opreme – 523. oddelek: Trajno dovoljeni toki v inštalacijskih sistemih (IEC 60364-5-523: 1999, spremenjen) izberemo način položitve kabla D.

Ta predvideva položitev enožilnega kabla v cevi v zemlji (razdalja med cevmi je 0,25 m) pod zaporedno številko metode položitve 71 v tabeli 52-B2.

Ta metoda inštalacije predvideva več enožilnih kablov (trikotno polaganje) v cevi ali kanalu v zemlji. V našem primeru imamo položen 1 kabl v cevi v 110 mm.

Za določitev zdržnega toka kabla uporabimo tabelo 52-C1 – trajno zdržni tok v amperih za metodo inštalacije v tabeli 52-B1. »PVC izolacija two loaded conductor« bakreni ali aluminijasti prevodnik temperature 70 °C. Temperatura okolice v zraku je 30 °C in 20 °C v zemlji.

Ker v tabeli ni trajno zdržnega toka za en kabl v cevi, smo uporabili podatek za dva obremenjena kabla, kjer je zapisano, da je za bakreni vodnik prereza 185 mm<sup>2</sup> zdržni tok kabla  $I_z = 312$  A.

Nato je potrebno pri dimenzioniranju kablov upoštevati korekcijski faktor zaradi položitve večjega števila vodnikov skupaj (Group reduction factor). V ta namen uporabimo tabelo 52-E3 – korekcijski faktor za več kot en tokovodnik, položen v cevi v zemlji. Tudi tukaj noben način položitve, ki so prikazani v tej tabeli, ne ustreza našemu primeru. Glede na razmik cevi predpostavljamo, da je faktor polaganja 1.

#### 7.2.5 Faktor temperature

Pri dimenzioniranju kablov je potrebno upoštevati korekcijski faktor zaradi temperature. Po SIST HD 384.5.523 S2: 2008 (tabela 52-D2) za temperaturo okolice različno od 20 °C. Na globini polaganja 0,8 m se ne predvideva višja temperatura tal, kot je 20 °C.

Za izračun vzamemo, da je faktor temperature 1.

Za bolj natančno dimenzioniranje bi bilo potrebno upoštevati še faktor toplotne upornosti.

Tabela 1: Faktorji za preračunavanje tokovne obremenitve pri polaganju kabla v zemljo

(Vir: [http://www.eltima.si/Katalogi/Elka/Elka\\_kabli%20do%201kV.pdf](http://www.eltima.si/Katalogi/Elka/Elka_kabli%20do%201kV.pdf), str. 40)

Temperatura okolice ° C / Ambient temperature ° C	Izolacija / Insulation	
	PVC	XLPE
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
<b>20</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76

### 7.3 IZRAČUN TRAJNO ZDRŽNEGA TOKA

Zdržni tok kabla  $I_z$  je produkt osnovnega zdržnega toka  $I_{zo}$  (odvisen od tipa inštalacije) in faktorjev okolice (število vzporednih vodnikov, temperatura, način polaganja – vse po SIST HD 384.5.52, oziroma standardu IEC 60364-5-52; 2001-08).

$$I_z = I_{zo} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 = 312 \times 1 \times 0,9 \times 1 = 280,8 \text{ A}$$

Kjer so:

- $I_{zo}$  – zdržni tok vodnika,
- $f_1$  – korekcijski faktor temperature okolja iz tabel,
- $f_2$  – korekcijski faktor skupinskega polaganja iz tabel.

### 7.4 ZAŠČITA PRED PREOBREMENITVENIM TOKOM

Izvedena je z varovalkami, ki so sposobne odklopiti vsak preobremenitveni tok, ki teče v vodnikih, preden ta povzroči segrevanje, ki je škodljivo za izolacijo, spoje itd. Delovna karakteristika varovalke (ali druge zaščitne naprave) mora izpolniti sledeča dva pogoja – SIST IEC 60364-4-43 (točka 433.1).

#### 1. Pogoj (nazivni tok)

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad 481,13 \leq 500 \leq 561,6 \text{ A}$$

## 2. Pogoj (izklopni tok)

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \rightarrow (I_2 = k \cdot I_n) \quad 800 \leq 1,45 \times 561,6 \text{ A} = 814,3 \text{ A}$$

$$I_{vmax} = \frac{1,45 \cdot I_z}{k} = \frac{1,45 \cdot 561,6}{1,6} = 508,95 \text{ A}$$

Kjer je:

- $I_b$  – tok, za katerega je tokokrog predviden,
- $I_z$  – trajni zdržni tok vodnika ali kabla, določen po SIST HD 60364-5-52,
- $I_n$  – nazivni tok zaščitne naprave,
- $I_2$  – tok, ki zagotavlja zanesljivo delovanje zaščitne naprave,
- $k$  – faktor za izračun zgornjega preizkusnega toka zaščitne naprave ( $I_2 = k \cdot I_n$ ).

Izklopni tok je odvisen od izbire tipa varovalnega elementa in znaša:

- za gG talilne varovalke z  $I_n$  do 4 A  $k = 2,1$ ;  $I_n$  od 4 do 10 A  $k = 1,9$ ;  $I_n$  od 10 do 25 A  $k = 1,75$  in  $I_n$  od 25 in več  $k = 1,6$
- za instalacijske odklopnike karakteristik »B« in »C« je  $k = 1,45$
- zaščitno stikalo  $k = 1,2$

## 7.5 ZAŠČITA PRI KRATKOSTIČNEM TOKU

Zaščita pri preobremenitvenem toku ustreza SIST HD 60364-4-43 Nizkonapetostne električne inštalacije 4-43. Sel zaščitni ukrepi – Zaščita pred nadtoki.

Ker gre za dimenzioniranje paralelnih napajalnih kablov blizu transformatorja z malo impedanco, smo za izračun izvedli za primer tripolnega kratkega stika, ki se v obravnavanem primeru lahko pojavi na koncu kabla (zbiralke glavnega stikala).

### 7.5.1 Kratkostična impedanca $Z_{k3}$

Za termični preizkus kabla  $t < 0,1$  s je potrebno izračunati vrednost tripolnega kratkega stika.

Za dimenzioniranje naprav je pomemben maksimalni tok. Pri začetnem in udarnem toku je najbolj neugoden simetrični kratkostični tok.

Izračun simetričnega kratkostičnega toka. V našem primeru je največja verjetnost, da se to zgodi na mestu, kjer so paraleni kabli priključeni na tokovne zbiralke glavnega stikala v glavnem razdelilniku RD1.

$$R_K = R_{tm} + R_T + R_V = 0,00035 + 0,00168 + 0,006 = 0,0077 \Omega$$

$$X_K = X_{tm} + X_T + X_V = 0,00035 + 0,0095 + 0,004 = 0,0139 \Omega$$

Podatki omrežja:  $S'' = 250 \text{ MVA}$   
 $U_{VN} = 20 \text{ kV}$

Podatki za transformator:  $S_T = 1000 \text{ kVA}$   
 $U_{VN} = 20 \text{ kV}$   
 $U_{NN} = 400 \text{ V}$   
 $U_k = 6 \%$   
 $P_k = 10,5 \text{ kW}$

Kratkostično impedanco predstavlja impedanca tuje (SN) mreže, preračunane na nizkonapetostno stran, impedanca transformatorja in kablovodov.

### 1. Impedanca tujega (SN) omrežja

$$Z_{tm} = \frac{1,1 \cdot U^2}{S_k'' \cdot 10^6} \frac{1}{p^2} = \frac{1,1 \cdot (20 \cdot 10^3)^2}{S_k'' \cdot 10^6} \frac{1}{50^2} = 0,352 \text{ m}\Omega \quad p = \frac{U_{SN}}{U_{NN}} = \frac{20 \cdot 10^3}{400} = 50$$

$$R_{tm} = 0,1 \quad X_{tm} = 0,1 \times 0,00035 = 0,035 \text{ m}\Omega$$

$$X_{tm} = 0,995 \quad Z_{tm} = 0,995 \times 0,000352 = 0,350 \text{ m}\Omega$$

$$\underline{Z}_{tm} = (\underline{R}_{tm} + j\underline{X}_{tm}) = 0,352 \text{ m}\Omega$$

### 2. Transformator

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{NN}^2}{100\% \cdot S_T} = \frac{6 \cdot 400^2}{100 \cdot 1000 \cdot 10^3} = 0,0096 \Omega$$

$$R_T = \frac{P_k}{3 \cdot I^2} = \frac{P_k \cdot U_{NN}^2}{S_T^2} = \frac{1000 \cdot 10^3 + 400^2}{1000 \cdot 10^3} = 0,00168 \Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{0,0096^2 - 0,00168^2} = 0,0095 \Omega$$

### 3. Priključni kabel

Osnovni podatki priključnega kabla:

tip kabla	NY Y
nazivni presek	1 x 185 mm <sup>2</sup>
oblika vodnika	RM
maksimalna upornost vodnika pri 20 °C	0.121 Ω/km
dolžina	105 m

Priključni vod od TP Pišek Vitli Krpan do glavnega razdelilnika RD1 je sestavljen iz štirikrat po dva paralelno položena enožilna kabla.

$$R_V = \frac{l}{\lambda \cdot s} = 0,0098 \Omega$$

- $\lambda$  – Specifična prevodnost kabla (m/Ωmm<sup>2</sup>)
- $U$  – nazivna napetost, pri trifaznem toku medfazna napetost (V)
- $r$  – ohmska upornost vodnika na km (Ω/km)
- $x$  – induktivna upornost vodnika na km (Ω/km)

Izračun induktivne upornosti vodnika je zapleten in zahteva natančnejše podatke lege kabla, odmika med kabli, materiala okoli kablov.

Za izračun induktivne upornosti kabla vzamemo priporočeni podatek  $X = 80 \text{ m}\Omega/\text{km}$ .

Ohmska upornost enega enožilnega kabla:

$$R_{1v} = \frac{0,164 \cdot 250}{1000} = 0,006 \Omega$$

$$X_{1v} = \frac{80 \cdot 10^{-3} \cdot 250}{1000} = 0,004 \Omega$$

$$R_{2vp} = R_{1v} \cdot 0,5 = 0,006 \times 0,5 = 0,003 \Omega$$

$$X_{2vp} = X_{1v} \cdot 0,5 = 0,004 \times 0,5 = 0,002 \Omega$$

$$Z_V = \sqrt{R_{2vp}^2 + X_{2vp}^2} = 0,0072 \Omega$$

Kratkostična impedanca tako znaša:

$$R_K = R_{tm} + R_T + R_V = 0,00035 + 0,00168 + 0,006 = 0,0077 \Omega$$

$$X_K = X_{tm} + X_T + X_V = 0,00035 + 0,0095 + 0,004 = 0,0139 \Omega$$

$$Z_K = \sqrt{0,0077^2 + 0,0139^2} = 0,0159 \Omega$$

### 7.5.2 Začetni simetrični kratkostični tok izračunamo

$$I''_k = \frac{1,1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1,1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,0077^2 + 0,0139^2}} = 15976 \text{ A}$$

### 7.5.3 Enopolni kratkostični tok na koncu izvoda

S predpisi je določeno, da je potrebno v fazi projektiranja določiti ustreznost zaščite pred posrednim dotikom. Slednja ustreza, če je okvarni tok enopolnega kratkega stika med faznim in zaščitnim vodnikom večji od toka, pri katerem zaščitna naprava odklopi v predpisanem času.

$$I_{k1} = \frac{0,95 \cdot U_f}{Z_{RDI}} = \frac{0,95 \cdot 230}{0,0252} = 8676,56 \text{ A}$$

$$\underline{Z}_s = 2 \times R_v + R_T + jX_T + 2 \times jX_v$$

$$Z_s = \sqrt{R_{VT}^2 + X_{VT}^2} = 0,025 \Omega$$

Izračun impedanc enopolnega kratkega stika:

$$R_{K80} = l \times R_k \times k_{80} = 0,105 \times 0,121 \times 1,24 = 0,0158 \Omega$$

$l$  – dolžina kabla

$R_k$  – reducirana delovna upornost kabla

$k_{80}$  – redukcijski faktor povečanja temperature kabla od 20 °C na 80 °C ( $k_{80} = 1,24$ )

Pri izračunu  $I_{k1}$  je potrebno upoštevati  $T = 80$  °C.

V NN razvodnem polju TP Pišek Vitli Krpan je izvod dveh paralelnih kablov priključen na eno stikalno letev Apator SL 3/630 A in varovan z gG varovalkami 3 x 500 A, ki so sposobne odklopiti kratkostični tok v predpisanem času  $t_{izk} = 5$  s.

#### 7.5.4 Zaščita kablov in vodnikov pred kratkostičnimi tokovi

Vodniki za napajanje posameznih porabnikov bodo varovani pred kratkimi stiki z instalacijskimi odklopniki v stikalnih blokih. Instalacijski odklopniki morajo izpolnjevati naslednje pogoje:

- odklopna zmogljivost mora biti večja od pričakovanega toka kratkega stika,
- vsak tok kratkega stika mora biti izklopljen v času, ki je krajši od časa, v katerem se vodnik segreje preko dovoljene mejne temperature.

Skladno s standardom SIST HD 60364.4.43 mora izbrana zaščitna naprava izklopiti tok kratkega stika, preden le-ta povzroči nevarnost zaradi toplotnega in mehanskega učinka v vodnikih.

Še dovoljeni čas trajanja kratkega stika se izračuna po standardu SIST IEC 60364, enačba 4.43:

$$t = \sqrt{k \cdot x \cdot \frac{S}{I_k}} = \sqrt{\frac{115 + 185 + 2}{15976}} = 1,1 \text{ s}$$

kjer je:

- $t$  – čas trajanja kratkega stika (s),
- $I_k$  – efektivna vrednost dejanskega kratkostičnega toka (A),
- $S_{min}$  – minimalni prerez ( $\text{mm}^2$ ),
- $K$  – 115 Cu vodniki s PVC izolacijo, 74 Al vodniki s PVC izolacijo.

Kratek stik mora biti prekinjen v času (0,1–5 s), v katerem se vodniki segrejejo do dopustne mejne temperature.

Kontrola minimalnega potrebnega preseka kablov je izvedena ustrezno standardu SIST HD 60364.4.43:

$$S_{min} = \frac{1}{K} \cdot I_s \cdot \sqrt{t} = 8,9 \text{ mm}^2$$

kjer je:

- $K$  – faktor, določen v standardu,
- $t$  (s) – izklop zaščitne naprave (iz izklopne karakteristike zaščitne naprave).

Zgoraj omenjena formula za  $S_{min}$  se izvaja le za preseke  $10 \text{ mm}^2$  ali več, za manjše preseke pa kontrole ne izvajamo.

Kontrola presekov zaščitnih vodnikov je izvedena ustrezno standardu SIST HD 60364-5-54, ki določa, da mora biti presek zaščitnega vodnika  $S_z$ :

- enak preseku faznega vodnika do preseka  $16 \text{ mm}^2$ ,
- $16 \text{ mm}^2$ , če je fazni vodnik od  $16 \text{ mm}^2$  do  $35 \text{ mm}^2$ ,
- polovični presek faznega vodnika, če je le-ta večji od  $35 \text{ mm}^2$ .

V primeru, da zaščitni vodnik ni del kabla, mora imeti najmanjši prerez (SIST HD 60364-5-54):

- $2,5 \text{ mm}^2$  za Cu ali  $4 \text{ mm}^2$  za Al, če je vodnik mehansko zaščiten,
- $4 \text{ mm}^2$  za Cu, če zaščitni vodnik ni mehansko zaščiten,
- $50 \text{ mm}^2$  za FeZn.

## 7.6 PADEC NAPETOSTI

Smole Marko (2004) in Tehnična smernica TGS-N-002 (2013) navajata enačbe, za izračun kontrole padca napetosti:

a) enofazni tokokrogi

$$u\% = \frac{200 \cdot P_k \cdot l}{\lambda \cdot S \cdot U^2}$$

b) trifazni tokokrogi

$$u\% = \frac{100 \cdot P_k \cdot l}{\lambda \cdot S \cdot U^2}$$

Za napajalne vodnike s prerezi  $S > 16 \text{ mm}^2$  računamo po naslednji enačbi:

$$u\% = \frac{P_k \cdot l}{10 \cdot U^2} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi) = 1,16 \%$$

Oznake v enačbah pomenijo:

- $u\%$  – padec napetosti v %,
- $P_k$  – konična moč (W),
- $l$  – enojna dolžina vodnika (m),
- $S$  – presek vodnika ( $\text{mm}^2$ ).

Skupni padec napetosti izračunamo:

$$\sum \Delta u_{\%} = \Delta u_1 + \Delta u_2 + \dots + \Delta u_n$$

Največji dovoljeni padec napetosti med napajalno točko el. inštalacije in kontrolirano točko znaša:

- za tokokroge razsvetljave je 3 %, za tokokroge drugih porabnikov pa 5 %, če se električna inštalacija napaja iz NN omrežja,



- za tokokroge razsvetljave je 5 %, za tokokroge drugih porabnikov pa 8 %, če se el. inštalacija napaja direktno iz transformatorske postaje.

Za el. instalacije, ki so daljše od 100, se dovoljeni padec napetosti poveča za 0,005 % za vsak dolžinski meter nad 100 m, vendar ne več kot 0,5 %.

## 7.7 DIMENZIONIRANJE GLEDE NA SEGREVANJE

Vodnik, skozi katerega teče električni tok, se segreva. Toplota, ki se pri tem ustvari v enoti časa, predstavlja izgubo koristne električne moči. Lahko jo zapišemo po Joulovem zakonu:

$$P_{izg} = 2 \cdot I^2 \cdot R = u \cdot I = 2 \cdot I^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} = \frac{2}{\chi \cdot A} \cdot (I^2 \cdot l) = 4411,46 \text{ W}$$

Vidimo, da je pri enostransko napajanem vodu z enkratno obremenitvijo na koncu procentualna izguba moči  $p_p$  enaka procentualnemu padcu napetosti  $p_u$ .

Pri termičnem dimenzioniranju omrežij moramo paziti, da ostane proizvedena količina toplote ( $W_{izg}$ ) v dopustnih mejah:

$$W_{izg} = P_{izg} \cdot t = 2 \cdot I^2 \cdot R \cdot t = 2 \cdot I^2 \cdot \frac{l}{\chi \cdot A} \cdot t = 4852,6 \text{ Ws}$$

Iz enačbe vidimo, da lahko na zmanjšanje izgub vplivamo le z večanjem preseka vodnika. Velikost toka v vodniku določa porabnik, dolžina je z oddaljenostjo potrošnika že vsiljena. Po izbiri materiala (baker ali aluminij) imamo možnost spreminjati samo še presek. Le-tega tako dolgo večamo, da ostanejo izgube v dopustnih mejah.

Tabela 2: Izračuni kabla od TP do RD1, skladno z v predhodnih poglavjih opisanimi postopki  
(Vir: Lasten)

<b>Tabela izračuna priključnega voda od TP DO RD1 dva obremenjena vodnika v isti cevi</b>			
Tip kabla		<b>NYY</b>	
Material vodnika		<b>Cu</b>	mm <sup>2</sup>
Presek faznega vodnika	S	<b>185</b>	mm <sup>2</sup>
Presek nevtralnega vodnika	S	<b>185</b>	mm <sup>2</sup>
Specifična prevodnost vodnika	$\rho$	<b>56</b>	Sm/mm <sup>2</sup>
Dolžina vodnika	$l$	<b>105</b>	m
Specifična omska upornost voda	R	<b>0,121</b>	$\Omega$ /km
Specifična induktivna upornost voda	X	<b>0,08</b>	$\Omega$ /km
Odjemna moč	$P_k$	<b>300</b>	kW
Način položitve kabla Tabela 52-B2		<b>D</b>	
Fazni faktor	$\cos \phi_i$	<b>0,9</b>	
Faktor induktivnosti ( $\cos \phi = 0.95$ potem je):	$k$	<b>1,22</b>	
Nazivna napetost	$U$	<b>400</b>	V
Velikost transformatorja	$S_T$	<b>1000</b>	kVA
Začetna moč kratkega stika	$S_{kn}''$	<b>500</b>	MVA
Napetost kratkega stika transformatorja	$u_k$	<b>6</b>	%
<b>KONIČNI TOK</b>			
Skupni bremenski tok	$I_b$	<b>481,13</b>	A
Skupna zaščitna naprava	$I_n$	<b>500</b>	A
Število paralelno položenih kablov	$n$	<b>2</b>	
Temperatura zemljišča		<b>20</b>	°C
Faktor temperature iz tabela 52-D2	$f_1$	<b>1</b>	
Faktor paralelnega polaganja iz tabele 52-E3/B.	$f_2$	<b>0,9</b>	
Zdržni tok enega vodnika iz tabele 52-C1	$I_z$	<b>312</b>	A
Koregiran zdržni tok enega vodnika	$I_z'$	<b>280,8</b>	A
Zdržni tok dveh vodnikov		<b>624,0</b>	A
Koregiran zdržni tok obeh vodnikov		<b>561,6</b>	A
Največji preizkusni tok varovalke obeh kablov	$I_2$	<b>800,0</b>	A
Max. dovoljeni tok varovalke	$I_{NVmax}$	<b>509,0</b>	A
1,45 x $I_z'$		<b>814,3</b>	A
Kontrola $I_b < I_n < I_z'$		<b>USTREZA</b>	

Kontrola $I_2 < 1,45 \times I_{z'}$		<b>USTREZA</b>	
<b>IMPEDANCA OKVARNE ZANKE</b>			
Impedanca tujega napajalnega omrežja	$Z_{tm}$	<b>0,000352</b>	$\Omega$
Impedanca transformatorja	$Z_T$	<b>0,00960</b>	$\Omega$
Ohmska upornost faznega vodnika	$R_v$	<b>0,006</b>	$\Omega$
Induktivna upornost faznega vodnika	$X_v$	<b>0,004</b>	$\Omega$
Impedanca faznega vodnika	$Z_v$	<b>0,007</b>	$\Omega$
Ohmska upornost nevtralnega vodnika	$R_{v0}$	<b>0,006</b>	$\Omega$
Induktivna upornost nevtralnega vodnika	$X_{v0}$	<b>0,0042</b>	$\Omega$
Impedanca nevtralnega vodnika	$Z_{v0}$	<b>0,008</b>	$\Omega$
Skupna impedanca do porabnika	$Z_{Sk}$	<b>0,016</b>	$\Omega$
<b>ENOPOLNI KRATKOSTIČNI TOK</b>			
Korekcijski faktor za izračun kratkega stika	$c$	<b>0,95</b>	
Tok kratkega stika	$I_{ks1}$	<b>8676,56</b>	A
Kontrola razmerja $I_{ks1}/I_n > 2,5$		<b>USTREZA</b>	
<b>TROPOLNI KRATKOSTIČNI TOK</b>			
Kratkostična impedanca tripolnega stika	$Z_{K3}$	<b>0,017567</b>	$\Omega$
Tok kratkega stika	$I_{ks3}$	<b>14477,69</b>	A
<b>PADEC NAPETOSTI</b>			
Dovoljeni padec napetosti	$\Delta u_{dov}$	<b>5</b>	%
Padec napetosti	$\Delta u$	<b>1,16</b>	%
Kontrola padca napetosti $\Delta u < \Delta u_{dov}$		<b>USTREZA</b>	
<b>MINIMALNI PRESEK KABLA</b>			
Maksimalni odklopni čas zaščitne naprave	$t_{dop}$	<b>5</b>	s
Odklopni čas zaščitne naprave pri $I_{ks1}$ (odčitano)	$t_{I_{ks1}}$	<b>0,018</b>	s
Odklopni čas zaščitne naprave pri $I_{ks3}$ (odčitano)	$t_{I_{ks3} <}$	<b>0,005</b>	s
Faktor	$k$	<b>115</b>	
Minimalni presek kabla	$S_{min}$	<b>8,9</b>	mm <sup>2</sup>
Kontrola $S > S_{min}$		<b>USTREZA</b>	
<b>TERMIČNE IZGUBE NA KABLU</b>			
Izgube na faznih vodnikih od TP do RD1	$P_{izg}$	<b>4411,46</b>	W

## 8 DIMENZIONIRANJE NOVEGA KABLA OD TP DO RG4

Električni tok v elektroenergetskem kablju povzroča mehanske in termične obremenitve zaradi trajnega obratovalnega toka in toka kratkega stika. Ohmske izgube povzročajo segrevanje kabla, zato moramo biti pozorni na največjo dovoljeno toplotno obremenitev kabla, način polaganja in hlajenje kabla. V normalnem obratovalnem stanju za kable z izolacijo etilpropilenske gume, temperatura ne sme preseči 90 °C. Najvažnejši faktor dimenzioniranja je trajno vzdržni tok, ki ga kabel lahko prenese. Ob kratkem stiku pride do velikih tokov ter posledično do preobremenitev kabla. Trajni tok kratkega stika povzroča termične obremenitve, udarni tok kratkega stika pa kabel prenese brez poškodb.

Glede na dobljene rezultate meritev in izračunov ugotavljamo, da bi bilo mogoče obstoječe enožilne vodnike premakniti tako, da bi osem kablov premaknili v štiri cevi in s tem sprostili ostale štiri cevi. V te cevi bi lahko namestili enožilne vodnike 2 x 4 x FG7R 1x 240 mm<sup>2</sup> v preostale cevi.

Vendar se zaradi težav pri nadaljevanju kabske trase iz kabskega jaška K (pri el. omari RD1) do glavnega razdelilca RG4 v novi proizvodni hali, investitor ni odločil za to varianto.

Poleg tega bi bilo potrebno zaradi redukcijskega faktorja paralelnega polaganja zmanjšati varovalke na izvoru kablov, s tem pa bi zmanjšali možnost prenesene el. energije do glavnega razdelilnika RG4.

Potrebno bi bilo zaustaviti tudi proizvodnjo, v obstoječi hali odklopiti kable na zbiralkah glavnega stikala ter izvleči obstoječe dovodne kable od TP do RD1 in jih nato ponovno po dva skupaj uvleči v obstoječe cevi. Hkrati pa bi tudi zmanjšali zdržni tok na kablju do obstoječega razdelilnika RD1.

### 8.1 KRATKOSTIČNA ZAŠČITA VZPOREDNIH VODNIKOV (SIST IEC 60364-4-43 : 2009)

Enojna zaščitna naprava lahko ščiti vzporedne vodnike pred učinki kratkega stika pod pogojem, da delovne lastnosti te naprave zagotavljajo učinkovito delovanje pri okvarah v najneugodnejšem položaju enega od vzporednih vodnikov. Če delovanje enojne zaščitne naprave ni učinkovito, je treba predvideti enega ali več ukrepov.

V našem primeru bomo izvedli ukrep pod točko b (SIST IEC 60364-4-43: 2009, stran 13) – navaja: za dva vzporedna vodnika je treba kratkostično zaščitno napravo namestiti na napajalnem delu posamičnega vzporednega vodnika.

Iznosi kratkostičnih tokov velikih prerezov se pri različnih vrstah polaganja vodnikov zelo malo spreminjajo, saj večji delež impedance kratkostičnega tokokroga predstavlja impedanca transformatorja. Šele z večanjem razdalje bi dobili večje impedance kablovodov in s tem večje variacije iznosov kratkostičnih tokov.

Dimenzioniranje in izračun novega kabla FG7R 240 mm<sup>2</sup> od TP do RG4 se računa po enaki metodi kot zgoraj obstoječi kabel NYY 185 mm<sup>2</sup> od TP do RD1. Rezultati so vpisani v tabeli 4.

*Tabela 3: Tehnični podatki za kabel FG7R 1 x 240 mm<sup>2</sup>*  
(Vir: <http://www.kabeltec.si/prodajni-program/kabli-izdelani-po-razlicnih-standardih/fg7r>)

Tehnični podatki kabla:	
- nazivni presek	1 x 240 mm <sup>2</sup>
- oblika vodnika	RM
- maks. upornost vodnika pri 20 °C	≤ 0.08 Ω/km
- tokovna obremenitev v zraku	≥ 490 A
- tokovna obremenitev v zemlji	≥ 419 A
- maks. zunanji premer	28 mm
- neto teža kabla	≤ 2.0 kg/m
- pakiranje (dolžina)	do 1000 m
- konstrukcija kabla:	Cu – razred 5 (finožičen)
• prevodnik	HEPR
• izolacija	PVC
• plašč	
- nazivna napetost	0,6/1 kV
- testna napetost	4000 V
- minimalna temperatura polaganja	- 5 °C
- delovna temperatura	-30 °C do + 90 °C
- temperatura kratkega stika	+160 °C
- min. radij upogibanja	4 x Ø kabla
- barva plašča	siva

*Tabela 4: Izračun kabla od TP do RG4, skladno z v predhodnih poglavjih opisanimi postopki*  
(Vir: Lasten)

<b>Tabela izračuna priključnega voda od TP do RG4 vsak obremenjeni vodnik v svoji cevi</b>			
Tip kabla		<b>FG70R</b>	
Material vodnika		<b>Cu</b>	mm <sup>2</sup>
Presek faznega vodnika	<i>S</i>	<b>240</b>	mm <sup>2</sup>
Presek nevtralnega vodnika	<i>S</i>	<b>240</b>	mm <sup>2</sup>
Specifična prevodnost vodnika	$\rho$	<b>56</b>	Sm/mm <sup>2</sup>
Dolžina vodnika	<i>l</i>	<b>190</b>	m
Specifična omska upornost voda	<i>R</i>	<b>0,0801</b>	$\Omega$ /km
Specifična induktivna upornost voda	<i>X</i>	<b>0,08</b>	$\Omega$ /km
Odjemna moč	<i>Pk</i>	<b>350</b>	kW
Način položitve kabla Tabela 52-B1 (dva obremenjena vodnika)		<b>D</b>	
Fazni faktor	<i>cos fi</i>	<b>0,9</b>	
Faktor induktivnosti ( $\cos\varphi = 0.95$ potem je):	<i>k</i>	<b>1,22</b>	
Nazivna napetost	<i>U</i>	<b>400</b>	V
Velikost transformatorja	<i>S<sub>T</sub></i>	<b>1000</b>	kVA
Začetna moč kratkega stika	<i>S<sub>kn</sub></i>	<b>500</b>	MVA
Napetost kratkega stika transformatorja	<i>uk</i>	<b>6</b>	%
<b>KONIČNI TOK</b>			
Skupni bremenski tok	<i>I<sub>b</sub></i>	<b>561,31</b>	A
Skupna zaščitna naprava	<i>I<sub>n</sub></i>	<b>630</b>	A
Število paralelno položenih kablov	<i>n</i>	<b>2</b>	
Bremenski tok enega kabla	<i>I<sub>b1</sub></i>	<b>280,66</b>	A
Nazivni tok zaščitne naprave enega kabla	<i>I<sub>n1</sub></i>	<b>315</b>	A
Zdržni tok vodnika iz tabele 52-C1	<i>I<sub>z</sub></i>	<b>374</b>	A
Temperatura zemljišča		<b>20</b>	°C
Faktor temperature iz tabela 52-D2	<i>f1</i>	<b>1</b>	
Faktor paralelnega polaganja iz tabele 52-E3/B.	<i>f2</i>	<b>1</b>	
Koregiran zdržni tok	<i>I<sub>z</sub>'</i>	<b>374,0</b>	A
Največji preizkusni tok varovalke	<i>I<sub>2</sub></i>	<b>504,0</b>	A
Max. dovoljeni tok varovalke	<i>I<sub>NVmax</sub></i>	<b>338,9</b>	A
1,45 x I <sub>z</sub> '		<b>542,3</b>	A
Kontrola $I_b < I_n < I_{z'}$		<b>USTREZA</b>	
Kontrola $I_2 < 1,45 \times I_{z'}$		<b>USTREZA</b>	

<b>IMPEDANCA OKVARNE ZANKE</b>			
Impedanca tujega napajalnega omrežja	$Z_{tm}$	<b>0,000352</b>	$\Omega$
Impedanca transformatorja	$Z_T$	<b>0,00960</b>	$\Omega$
Ohmska upornost faznega vodnika	$R_v$	<b>0,015</b>	$\Omega$
Induktivna upornost faznega vodnika	$X_v$	<b>0,015</b>	$\Omega$
Impedanca faznega vodnika	$Z_v$	<b>0,022</b>	$\Omega$
Omska upornost nevtralnega vodnika	$R_{v0}$	<b>0,015</b>	$\Omega$
Induktivna upornost nevtralnega vodnika	$X_{v0}$	<b>0,0152</b>	$\Omega$
Impedanca nevtralnega vodnika	$Z_{v0}$	<b>0,022</b>	$\Omega$
Skupna impedanca do porabnika	$Z_{Sk}$	<b>0,053</b>	$\Omega$
<b>ENOPOLNI KRATKOSTIČNI TOK</b>			
Korekcijski faktor za izračun kratkega stika	$c$	<b>0,95</b>	
Tok kratkega stika	$I_{ks1}$	<b>4124,90</b>	A
Kontrola razmerja $I_{ks1}/I_n > 2,5$		<b>USTREZA</b>	
<b>TRIPOLNI KRATKOSTIČNI TOK</b>			
Kratkostična impedanca tripolnega stika	$Z_{K3}$	<b>0,031461</b>	$\Omega$
Tok kratkega stika	$I_{ks3}$	<b>8084,02</b>	A
<b>PADEC NAPETOSTI</b>			
Dovoljeni padec napetosti	$\Delta u_{dov}$	<b>5</b>	%
Padec napetosti	$\Delta u$	<b>1,89</b>	%
Kontrola padca napetosti $\Delta u < \Delta u_{dov}$		<b>USTREZA</b>	
<b>MINIMALNI PRESEK KABLA</b>			
Maksimalni odklopni čas zaščitne naprave	$t_{dop}$	<b>5</b>	s
Odklopni čas zaščitne naprave pri $I_{ks3}$ (odčitano)	$t_{Iks3}$	<b>0,1</b>	s
Faktor	$k$	<b>115</b>	
Minimalni presek kabla	$S_{min}$	<b>22,2</b>	mm <sup>2</sup>
Kontrola $S > S_{min}$		<b>USTREZA</b>	
<b>TERMIČNE IZGUBE NA KABLU</b>			
Izgube na faznih vodnikih od TP do RD1	$P_{izg}$	<b>14385,24</b>	W

## 9 NAČINI POLAGANJA IN IZVEDBE KABLOV

### 9.1 NAČINI POLAGANJA KABLOV

Pri polaganju kablov se moramo ravnati po navodilih in standardih, ta je lahko ročna ali strojna. Paziti moramo, da kabla ne vlečemo preko ostrih ovir. V teh primerih se uporabijo ustrezni valji in pazimo na polmer krivljenja. Globina polaganja je odvisna od načina polaganja in terena. V zemljo se polaga 0,8 metra globoko. Polmer upogibanja kabla pri polaganju je 12 krat premer (D) kabla. Pri segrevanju kabla z odprtim ognjem (samo pri PVC izolaciji) pa se polmer krivljenja lahko zmanjša. Še dovoljena temperatura okolice za polaganje kablov je  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Če je hladneje, se mora kabel segreti na najmanjšo temperaturo  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  tako, da ga pustimo v toplejšem prostoru do tri dni ali pa ga segrevamo z električnim tokom. Lahko ga polagamo v suhih in vlažnih prostorih, na prostem in v našem primeru v kabelski kanalizaciji, kjer se ne pričakujejo mehanske poškodbe. Kabelski jarek ne zasipujemo z grobim materialom ali kamenjem. Rdeči opozorilni trak – pozor – elektrika se namesti nad cevi v višini 30 cm. Na sliki 22 se vidi presek kabelskega jarka, kako je sestavljen.



Slika 15: Opozorilni trak  
(Vir: Lasten)





*Slika 16: Polaganje opozorilnega traka  
(Vir: Lasten)*

Načini polaganja kablov:

- v zemljo,
- v cevi,
- na police,
- v kanale,
- na stene.



*Slika 17: Polaganje kabla v zemljo  
(Vir: Lasten)*



Slika 18: Polaganje kabla v EKK  
(Vir: Lasten)

Ko se polaganje kabla zaključi, se trasa še geodetsko posname in podatki vnesejo v tehnično dokumentacijo, v katero se dodajo lokacije morebitnih spojk in razna križanja z drugimi vodi.

## 9.2 KABEL NYY

Energetski kabel NYY 0,6/1 kV (stara oznaka je PP 00) se predvsem uporablja v industriji za električno napajanje strojev in postrojev, v elektrodistribuciji pa za prenos električne energije v podzemnih nizkonapetostnih sistemih. Je večžičen in okrogle oblike (RM). Izolacija in plašč kabla sta iz polivinilklorida (PVC). Zaradi dobrih mehanskih lastnosti – upogljivosti se ga uporablja v kabelski kanalizaciji, kjer je zaščiten pred poškodbami plašča, odporen pa mora biti proti kemikalijam.

Tipška oznaka kabla je NYY, nazivna napetost kabla je 1 kV, preizkusna napetost pa 4 kV.

Tabela 5: Konstruktivski podatki za močnostne kable NYY

(Vir: [http://www.eltima.si/Katalogi/Elka/Elka\\_kabli%20do%201kV.pdf](http://www.eltima.si/Katalogi/Elka/Elka_kabli%20do%201kV.pdf), str. 10)

Nazivni presek kabla/ Cable Nominal Cross-section	Debelina izolacije/ Insulation Thickness	Debelina plašča/ Sheath Thickness	Zunanji premer (približno)/ Overall Diameter (approx.)	Teža kabla (približno)/ Cable Weight (approx.)		Pakiranje/ Packing	
				NYN NYN-TG	NYN	Dolžina/ Length	Boben/ Drum
n x mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	kg/km	kg/km	m	
1 x 1,5	0,8	1,8	6,9	65	-	1000	BD-6
1 x 2,5	0,8	1,8	7,4	80	-	1000	BD-6
1 x 4	1,0	1,8	8,1	105	-	1000	BD-7
1 x 6	1,0	1,8	8,6	125	-	1000	BD-7
1 x 10	1,0	1,8	9,4	175	-	1000	BD-7
1 x 16	1,0	1,8	10,8	250	-	1000	BD-8
1 x 25	1,2	1,8	12,4	360	-	1000	BD-9
1 x 35	1,2	1,8	13,3	465	-	1000	BD-10
1 x 50	1,4	1,8	15,0	610	-	1000	BD-10
1 x 70	1,4	1,8	17,0	830	-	1000	BD-12
1 x 95	1,6	1,8	18,7	1105	-	1000	BD-12
1 x 120	1,6	1,8	20,3	1365	-	1000	BD-12
1 x 150	1,8	1,8	22,2	1655	-	1000	BD-14
1 x 185	2,0	2,0	24,8	2070	-	1000	BD-14
1 x 240	2,2	2,0	27,9	2690	-	1000	BD-16
1 x 300	2,4	2,0	30,1	3255	-	1000	BD-16

### 9.3 TRANSPORT BOBNOV

Kable prevažamo pokončno na lesenih kabelskih bobnih. Prevažamo jih na tovornem vozilu ali na posebnih prikolicah. Konci kabla morajo biti zaključeni s kabelskimi kapami, da ne pride do vdora vlage. Kabel NYY 1 x 185 mm<sup>2</sup> je navit na leseni boben tipa BD-14, skupne dolžine 1000 m. Bobne je potrebno pazljivo dvigovati z avtodvigali ali viličarji, ni jih dovoljeno metati. Dovoljeno jih je kotaliti, vendar le na krajših razdaljah, teren pa mora biti raven. Kotaljenje je dovoljeno le v smeri puščice na bobnu. Med prevozom morajo biti bobni zagozdeni in čvrsto privezani z vrvmi, da se med sabo ne dotikajo in s tem ne poškodujejo. Na vsakem bobnu mora biti napisna tablica s podatki o kablu: tip, število žil, dolžina, leto izdelave, presek kabla, bruto in neto teža ter serijska številka kabelskega bobna. Ko kable razložimo, moramo paziti, da jih zavarujemo pred kotaljenjem. Če stojijo dlje časa, jih prav tako zavarujemo pred UV žarki. Konci kabla morajo biti zaključeni s kabelskimi kapami, da ne pride do vdora vlage.



Slika 19: Kabelska bobna BD-14  
(Vir: Lasten)

### 9.4 OZNAČEVANJE

Kabli se označujejo po zaporedju od leve proti desni strani, v našem primeru kabel NYY 1 x 18 5mm<sup>2</sup>, ki je sestavljen iz zunanjega plašča, izolacije in vodnika.

- N – normirana izvedba pomeni, da je kabel po SIST HD standardu
- Y – oznaka pomeni izolacija vodnika polivinilklorid (PVC)
- Y – druga oznaka pa je oznaka plašča iz polivinilklorida (PVC)
- 1 – pomeni, da je enožilni
- x – krat
- 185 – presek kabla v mm<sup>2</sup>

Ker je kabel brez oznake A (aluminij), pomeni, da gre za bakreni kabel. Na kablu je napisan proizvajalec, leto izdelave, število žil, prerez, napetost, oznaka konstrukcije in dolžina v metrih.

## 9.5 VODNIK

GIZ-TS-2 (2013) navaja, da je vodnik izdelan iz več Al ali Cu žic, izdelanih iz materialov v skladu s standardom in obliko po standardu. Vodnik je do preseka 35 mm<sup>2</sup> okrogle oblike, nad 35 mm<sup>2</sup> pa so žice sektorske oblike po standardu.

Tipski preseki vodnika okrogle oblike so za Al in Cu: 35 mm<sup>2</sup>.

Uradni list (2018), navaja, tipske preseke vodnika sektorske oblike za baker in aluminij:

- 35 mm<sup>2</sup>,
- 50 mm<sup>2</sup>,
- 70 mm<sup>2</sup>,
- 95 mm<sup>2</sup>,
- 120 mm<sup>2</sup>,
- 150 mm<sup>2</sup>,
- 185 mm<sup>2</sup>,
- 240 mm<sup>2</sup>.

*Tabela 6: Osnovne konstrukcijske značilnosti vodnikov*

(Vir: [http://www.eltima.si/Katalogi/Elka/Elka\\_kabli%20do%201kV.pdf](http://www.eltima.si/Katalogi/Elka/Elka_kabli%20do%201kV.pdf), str. 3)

Nazivni presjek / <i>Nominal Cross-Section</i>	Oblika vodnika / <i>Shape of Conductor</i>	Nazivne mere vodnika / <i>Nominal Conductor Sizes</i>		Upornost vodnika pri 20° C (največ) / <i>Conductor Resistance at 20° C (max.)</i>	
		Premer / <i>Diameter</i>	A x h	Cu	Al
mm <sup>2</sup>		mm	mm	Ω/km	Ω/km
1,5	Žica / <i>Wire</i>	1,36	-	12,1	18,1
2,5	Žica / <i>Wire</i>	1,75	-	7,41	12,4
4	Žica / <i>Wire</i>	2,23	-	4,61	7,41
6	Žica / <i>Wire</i>	2,66	-	3,08	4,61
10	Žica / <i>Wire</i>	3,48	-	1,83	3,08
16	Vrv, okrogla / <i>Rope, round shaped</i>	4,6	-	1,15	1,91
25	Vrv, okrogla / <i>Rope, round shaped</i>	5,8	-	0,727	1,20
35	Vrv, okrogla / <i>Rope, round shaped</i>	6,8	-	0,524	0,868
50	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	8,0*	11,8 x 8,2	0,387	0,641
70	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	9,6*	13,2 x 10,0	0,268	0,433
95	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	11,3*	15,2 x 11,5	0,193	0,320
120	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	12,7*	17,6 x 12,5	0,153	0,253
150	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	14,1*	19,8 x 14,0	0,124	0,206
185	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	15,7*	22,3 x 15,5	0,0991	0,164
240	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	18,0*	25,4 x 17,5	0,0754	0,125
300	Vrv, sektorska / <i>Rope, sector-shaped</i>	20,0*	28,5 x 19,2	0,0601	0,100

## 10 IZDELAVA ELEKTROKANALIZACIJE

### 10.1 IZBIRA TRASE

GIZ-TS-13 (2013) navaja, da je potrebno pri kabelski pazljivo izbirati traso, ki naj bo čim bolj ravna ter brez večjih odmikov od ravne trase. Če trasa poteka pod urejenimi površinami, naj poteka po zelenicah ali pa pod pločnikih, odmaknjena od drugih ovir kot so ostali komunalni vodi.

#### 10.1.1 Križanja

GIZ\_TS-13 (2013) navaja, da mora biti križanje s komunalnimi vodi projektirano in izvedeno tako, da zagotovi nemoteno vzdrževanje.

Vsa dela, ki se opravljajo v bližini obstoječih SN elektrovodov, se morajo izvajati v breznapetostnem stanju.

Pred začetkom zemeljskih del se morajo označiti vsi elektrokabli na stroške naročnika. Križanja se zaščitijo z obetoniranjem. Na vsej trasi je potrebno paziti pri izkopih, da se drugi vodi ne poškodujejo. Pri najbolj nevarnih mestih je potreben neprestani nadzor lastnika voda in po potrebi varnostni izklop. Kjer je veliko križanj, se tam gradbena dela opravijo ročno. Odvečni material odpeljemo na ustrezno deponijo, nekaj se ga porabi za ponovno nasutje in utrditev EKK. Po zaključku del se okolica uredi v prvotno stanje.

### 10.2 DOLOČITEV TIPA CEVI, ŠTEVILA IN RAZPOREDITVE CEVI

Za EKK se večinoma uporabljajo DWP cevi rdeče barve zunanjšega premera 110 in 160 mm. DWP je dvoslojna, zunaj narebrena in znotraj gladka delno gibljiva cev (t. i. stigmafleks). Uporabili bomo štiri DWP cevi 110 mm, ki bodo položene vzporedno in bomo v vsako cev uvlekli po en enožilni kabel FG70R 1 x 240 mm<sup>2</sup>. Notranji premer cevi se določi po formuli  $1,5 \times \text{premer kabla (D)}$ .



Slika 20: DWG cev 110 mm  
(Vir: Lasten)

### 10.3 DIMENZIONIRANJE KABELSKEGA JARKA

Dimenzioniranje kablanskega jarka je odvisno od mesta vgradnje elektrokablanske kanalizacije, razporeditve cevi, števila cevi, potrebne širine jarka za delavca pri polaganju cevi, premera cevi, širine razdalje med cevmi. Med cevi se namestijo cevni distančniki na razdalji 3 m, da se lepo razporedijo po izkopanem jarku. Naš jarek je širok 80 cm (4 x 110 cm je širina cevi + 3 x 3 cm je razdalja med cevmi + 2 x 10 cm je stojišče za delavca), globina vkopa cevi je 80 cm. Cevi morajo biti obetonirane in nato nasute z utrjenim gramozom debeline 8 mm.



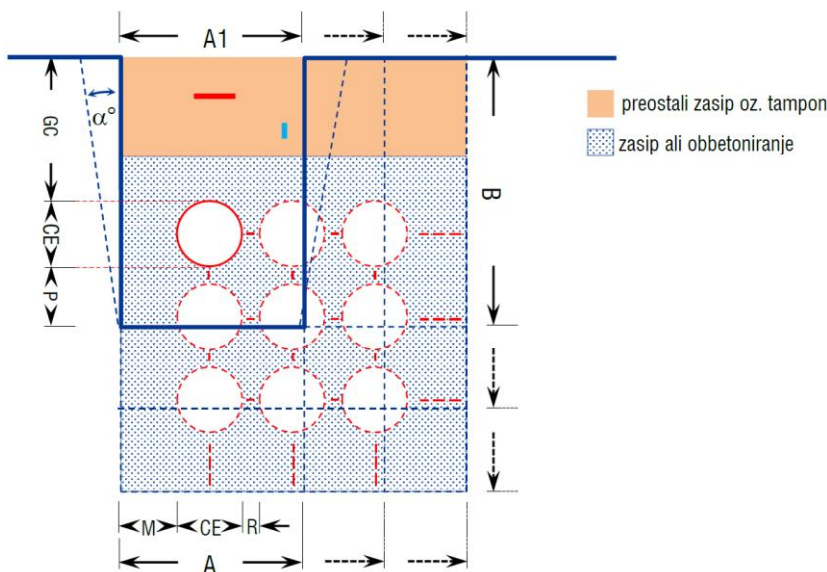
Slika 21: Sestavljivi cevni in enojni kabelski distančniki  
(Vir: Lasten)

GIZ-TS-13 (2013) navaja, da so dimenzije jarka odvisne od:

- mesta vgradnje,
- razporeditve cevi,
- števila cevi,
- števila vrst cevi,

- zunanjega premera cevi,
- širine prostora za delo z cevmi.

GIZ-TS-13 (2013) navaja, pri globini jarka je potrebno upoštevati debelino podlage, število cevi in razdaljo med njimi. Širina prostora za delo z cevmi znaša 5 do 10 cm na zunanjih robovih prereza cevi, tako da lahko delavec lažje polaga, obsipuje in utrjuje cevi.



Slika 22: Presek kabelskega jarka

(Vir: <http://www.giz-dee.si/Portals/0/Tipizacija/GIZ-TS-13-Elektro-kabelska-kanalizacija.pdf>, str. 11)

## 10.4 OZEMLJILO

Vzdolž celotne nove elektrokabelske kanalizacije se pokončno položi ozemljitveni vroče pocinkani trak FeZn 4 x 25 mm, 20 cm nad elektro kabelsko kanalizacijo, tako da nam sušenje in zmrzovanje zemlje ne poveča upornosti nad določeno vrednostjo. Ozemljilo na obeh koncih povežemo s križnimi sponkami. Pri transformatorski postaji povežemo s križnimi sponkami na obstoječi pocinkani trak, pri priključku v omarici pa povežemo s PF-Cu žico minimalnega prereza 25 mm<sup>2</sup> na PEN vodnik.



Slika 23: Vroče pocinkani trak FeZn 4 x 25 mm  
(Vir: Lasten)

## 10.5 IZBIRA KABELSKEGA JAŠKA

GIZ-TS-13 (2013) navaja, da se elektrokabelski jaški vgradijo na mestih vertikalne in horizontalne spremembe trase energetskih kablov, na mestih odcepov, na mestih kabelskih spojk in na ravnih delih trase pri večjih razdaljah. Razdalje med jaški so odvisne od tipa, vrte in števila kablov, materiala cevi in naprave za vlečenje kablov. Razdalje med jaški znašajo 50 metrov.

### 10.5.1 Vrste kabelskih jaškov

GIZ-TS-13 (2013) navaja, pogoje in ekonomiko gradnje kabelskih jaškov:

- AB kabelski jašek iz betona. Za pokrove do 400 kN.
- AB jašek – montažni. Za pokrove do 400 kN.
- AB jašek – monolitni. Za pokrove do 400 kN.
- AB jašek – cev. Za pokrove do 125 kN.
- PC kabelski jašek iz termoplastičnega materiala. Za pokrove do 125 kN.



Slika 24: AB kabelski jašek  
(Vir: <https://www.igem.net/si/izdelki/ab-kabelski-jaski>)





Slika 25: PE kabelski jašek

(Vir: <http://www.aplast.si/si/rotomoulding/kabelski-jaski>)

### 10.5.2 Pokrovi kabelskih jaškov

Uporabljajo se armiranobetonski, večinoma pa litoželezni pokrovi za kabelske jaške za obremenitve: 125 kN, 250 kN in 400 kN, kvadratnih oblik dimenzij 600 x 600 in 800 x 800 mm. Na njih je vtisnjen napis ELEKTRIKA. Pokrove zatesnimo proti vdoru vode. Pri urejenih objektih se lahko uporabijo pokrovi, na katere se vgradijo razni tlakovci. Pri delu je potrebno paziti na višine pokrovov kabelskih jaškov z višino terena.



Slika 26: LŽP Livar Elektriika

(Vir: Lasten)

### 10.5.3 Vstop v jašek

V jaške se vstopa s prenosno letvijo ali pritrjeno lestvijo, ki je fiksno pritrjena v jašku. Pri jaških, globine večje od 2 metra, je potrebna uporaba zaščitne opreme pred padcem v globino. Pred vstopom je potrebno jašek dobro prezračiti. Jaške je potrebno tudi zatesniti, da ne pride do vdora vode.

## 11 ELEKTROMAGNETNO SEVANJE IN SPOJNI MATERIAL

### 11.1 ELEKTROMAGNETNO SEVANJE

GIZ-TS-1 (2013) navaja, da so kablovodi v obratovanju vir elektromagnetnega sevanja. Meritve elektromagnetnega sevanja za nizkonapetost niso dosegle mejne vrednosti za bivalno okolje, ki jih določa uredba.

Obremenitev z elektromagnetnim sevanjem se z razdaljo hitro zmanjšuje. Varstvo pred EM sevanjem urejata Pravilnik in Uredba. Meritve v imenu države izvaja agencija ARSO.

### 11.2 VPLIVI NA OKOLJE

GIZ-TS-1 (2013) navaja, da proizvodnja nizkonapetostnih kablov nekoliko vpliva na naše okolje. Proizvajalec mora imeti sistem vodenja kakovosti proizvodnje, ki izpolnjuje zahteve standard ISO 14001.

GIZ-TS-5 (2013) navaja, da mora izvajalec ločeno zbirati odpadke, ostanki vijakov, odpadna plastika, kartron in jih odvažati na ustrezno deponijo.

### 11.3 SPOJNI MATERIAL IN SPAJANJE

Za spajanje bakrenih kablov uporabljamo bakrene kabel čevlje in vezne tulce, ki so pokositrani in so pravilne velikosti. Osnovno pravilo spajanja je, da so površine čiste in se premažejo z nevtralno kontaktno mastjo, ki ne vsebuje kislin.



*Slika 27: Kabel čevlj Cu  
(Vir: Lasten)*



*Slika 28: Vezni tulec Cu*  
(Vir: Lasten)

Pri spajanju je potrebno upoštevati zahteve proizvajalca materiala. Paziti moramo, da kabel toplotno ne pregrejemo in da ga ne krivimo preveč. Za odstranjevanje izolacije in gnetenje KČ ter veznih tulcev moramo uporabiti predpisano orodje. Pravilo za spojitve vodnika in kabel čevlja: očistiti vodnik, vstaviti vodnik do konca kabel čevlja, uporabiti pravilno številko vložka čeljusti za določeni kabel čevlj, stiskati začnemo pri koncu vodnika in se premikamo do konca kabel čevlja. Kontakt se izvede s hidravličnimi kleščami (Klauke K22 plus). Del kabel čevlja, ki se je stiskal, se izolira s toplotnimi skrčkami ustrezne izolacije. Kontakt med kabel čevljem in stikalno letvijo se izvede z ustreznimi vijaki predpisane trdote, ki se privijejo z moment ključem.



*Slika 29: Hidravlične baterijske stiskalne klešče Klauke mini in Klauke EK 22 plus*  
(Vir: Lasten)

Zaradi udara strel in obremenitev s termo kamero se spoji pregledujejo ob letnem vzdrževanju. Če spoji presegajo temperaturo 90 °C, se morajo zamenjati, zato moramo imeti rezervo kabla, da lahko izvedemo novo priključitev.



Slika 30: Primer spoja med kabel čevljem in vodnikom  
(Vir: Lasten)

## 12 ZAKLJUČEK

Dimenzioniranje napajalnih kablov je bilo ključnega pomena za zanesljivo in varno napajanje električnih strojev in splošnih inštalacij v objektu, ki smo ga obravnavali v diplomski nalogi. Pri tem smo se srečali z zahtevnostjo postopka dimenzioniranja, saj za naš primer v standardih ni bilo na razpolago ustreznih tabel, v kateri bi bila v eni cevi dva obremenjena kabla. Tabela prikazuje le enega ali tri obremenjene vodnike.

V veliko pomoč pri dimenzioniranju so bile zato meritve gibanja temperatur istočasno z meritvami tokovne obremenitve obstoječega kabla. Iz podatkov meritev obremenjenih obstoječih kablov je razvidno, da se je temperatura kabla z obremenitvijo povečala največ do 5 °C. Tej majhni spremembi temperature delno pripisujemo konstantno cirkulacijo zraka skozi kanalizacijo, zrak je torej dobro odvajal izgubno toploto iz kablov.

Vodnike smo dimenzionirali glede na bremenski tok, faktor polaganja, vrsto vodnika in materiala, tip električne napeljave, temperaturo, na osnovi instalirane moči tokokrogov, ter oddaljenosti porabnikov.

Iz izračunov in meritev ugotavljamo, da bi lahko del obstoječe kableske kanalizacije uporabili tudi za položitev paralelnih kablov do nove proizvodne hale, saj so razmere zaradi odvajanja toplote s pretokom zraka skozi cevi ugodnejše kot po dimenzioniranju, kjer bi se držali zgolj dimenzioniranju po standardih. Z navodili za obratovanje je potrebno zagotoviti, da bodo cevi vedno ustrezno prezračevane in nikoli zatesnjene oz. zaprte. Pogoji hlajenja se ne smejo poslabšati.

V času, ko smo izvajali meritve, se je investitor odločil zgraditi dodatno halo, ki bo potrebovala za svoje delovanje manjšo el. moč. Ta se bo napajala skozi kabelsko kanalizacijo, za katero smo v tej nalogi izvajali preverbo. Za halo, kateri je bila preverba namenjena, pa se je zgradila nova večcevna kabelska kanalizacija z enožilnimi kabli. Dogajanje na industrijskih objektih je torej dinamično, zato se mora električna inštalacija redno prilagajati novim pogojem.

## 13 LITERATURA IN VIRI

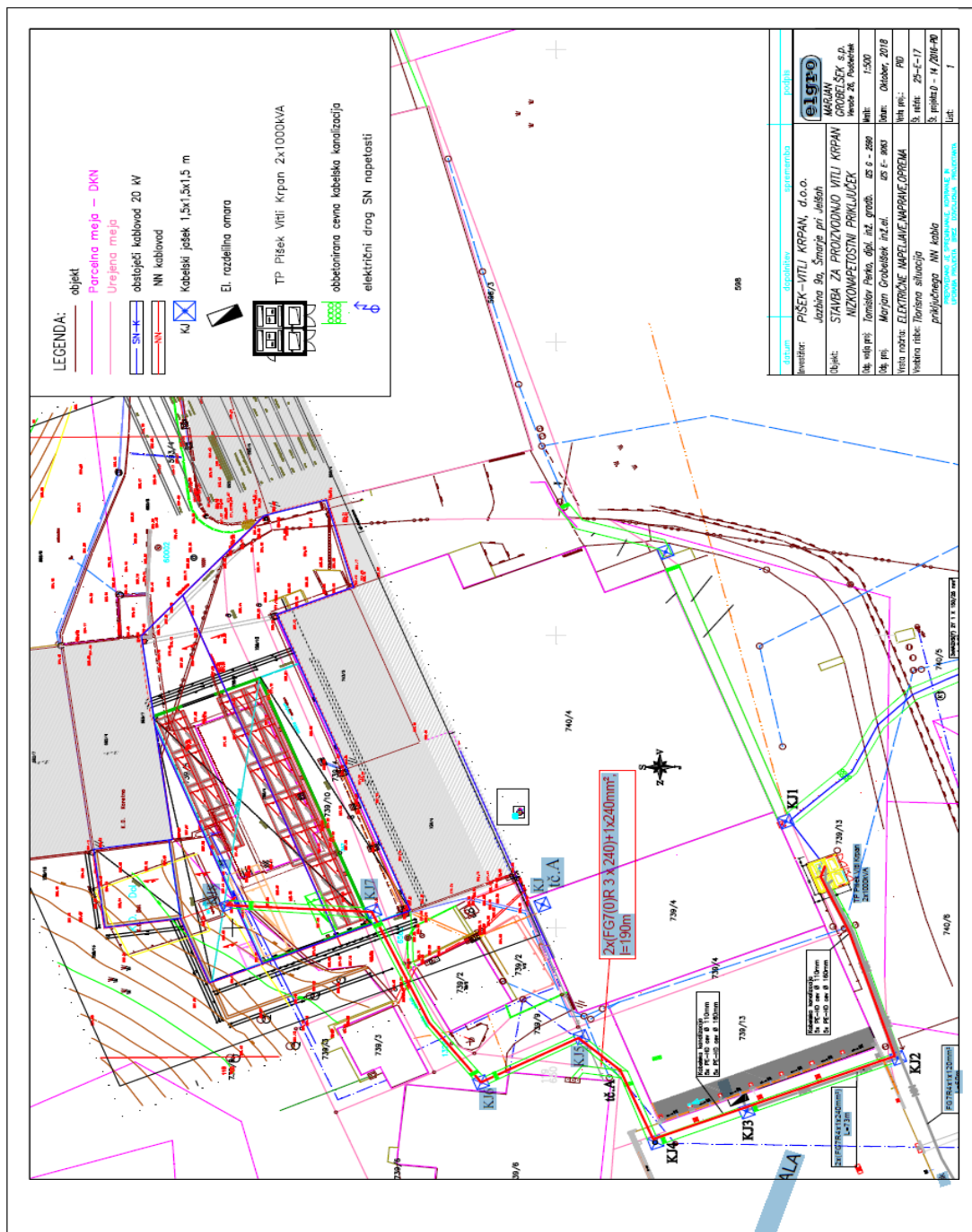
- Aplast, d.o.o., Elektrokabelski jaški. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <http://www.aplast.si/si/rotomoulding/kabelski-jaski>.
- Elektrokabelska kanalizacija. Splošne usmeritve za gradnjo EKK, dimenzioniranje jarka in izbira kabelskih jaškov. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <http://www.giz-dee.si/Portals/0/Tipizacija/GIZ-TS-13-Elektrokabelska-kanalizacija.pdf>, str. 8, 10 in 11.
- Elka katalogi. Osnovne konstrukcijske značilnosti vodnikov in konstrukcijski podatki za kable NYY. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova [http://www.elka.si/Katalogi/Elka/Elka\\_kabli%20do%201kV.pdf](http://www.elka.si/Katalogi/Elka/Elka_kabli%20do%201kV.pdf), str. 3 in 10.
- Enožilni energetske kabli. Vpliv na okolje. Pridobljeno 23. 11. 2015 z naslova <http://www.giz-dee.si/Portals/0/Tipizacija/GIZ-TS-1-Enozilni-energetski-kabli-12-20-24-kV.pdf>, str. 15.
- Indotrading. Kabel NYY. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <https://www.indotrading.com/product/kabel-nyy-50-p344753.aspx>.
- Kabelski čevlji in tulci. Vpliv na okolje. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <http://www.giz-dee.si/Portals/0/Tipizacija/GIZ-TS-5-Kabelski-cevlji-in-tulci.pdf>, str. 13.
- Kabeltec. Kabel FG7R 0,6/1 kV. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <http://www.kabeltec.si/prodajni-program/kabli-izdelani-po-razlicnih-standardih/fg7r>.
- Kograd IGEM, d.o.o., AB kabelski jaški. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <https://www.igem.net/si/izdelki/ab-kabelski-jaski>.
- Niskonapetostni energetske kabli 1 kV. Izolacija vodnika. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <http://www.giz-dee.si/Portals/0/Tipizacija/GIZ-TS-2-NN-Energetski-kabli-1-kV.pdf>, str. 8.
- Pišek Vitli Krpan. Plazemski razrez pločevine. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <http://www.vitli-krpan.com/si/o-podjetju/proizvodnja>.
- Pravilnik o projektiranju. Standardni preseki vodnikov. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/44027>, 11. člen.

- Smole M. (2001–2002). Tehnični predpisi in projektiranje. Tokovne obremenitve stikalnih naprav. Pridobljeno 13. 12. 2018. Višja strokovna šola za elektrotehniko – Vaje. str. 28–42.
- Tehnična smernica TSG-N-002: 2013. Pridobljeno 12. 12. 2018 z naslova [https://www.sodo.si/\\_files/6/tsg\\_nizkonapetostne\\_elektricne\\_instalacije.pdf](https://www.sodo.si/_files/6/tsg_nizkonapetostne_elektricne_instalacije.pdf), str. 15–17, 28, 29 in 32–34.

## 14 PRILOGE

### 14.1 TLORISNA SITUACIJA NIZKONAPETOSTNEGA KABLA

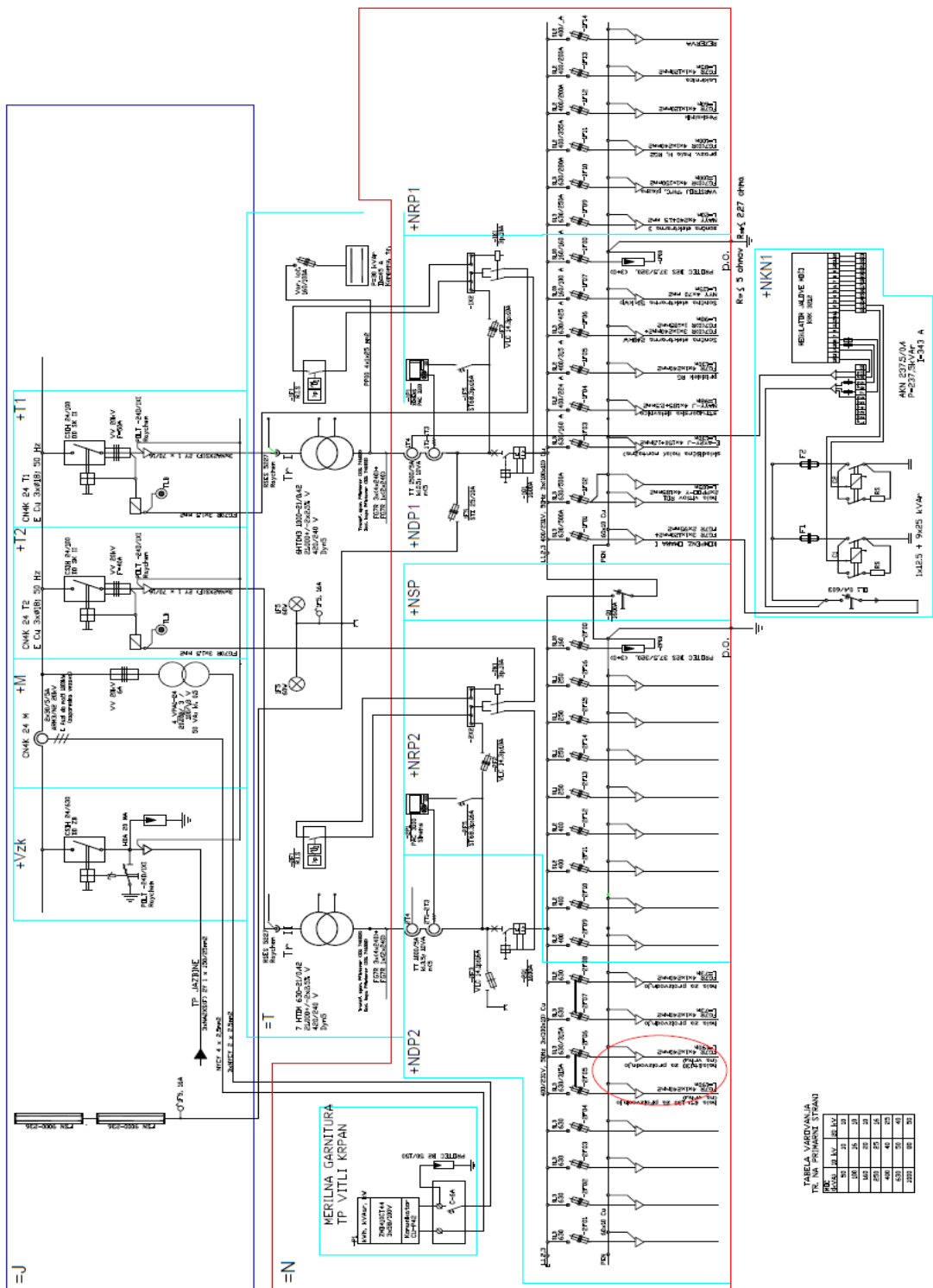
Kabel, ki smo ga na novo dimenzionirali, je  $2 \times (FG7R \ 3 \times 240) + 1 \times 240 \text{ mm}^2$  in poteka od TP do kabelskega jaška 8 v razdelilec RG4.



Priloga 1: Tlorisna situacija priključnega NN kabla (Vir: Pišek – Vitli Krpan)

### 14.2 ENOPOLNA SCHEMA TP PIŠEK VITLI KRPAN

V enopolni shemi (priloga 2) je obkrožen novi dimenzionirani FG7R kabel – hala 130.

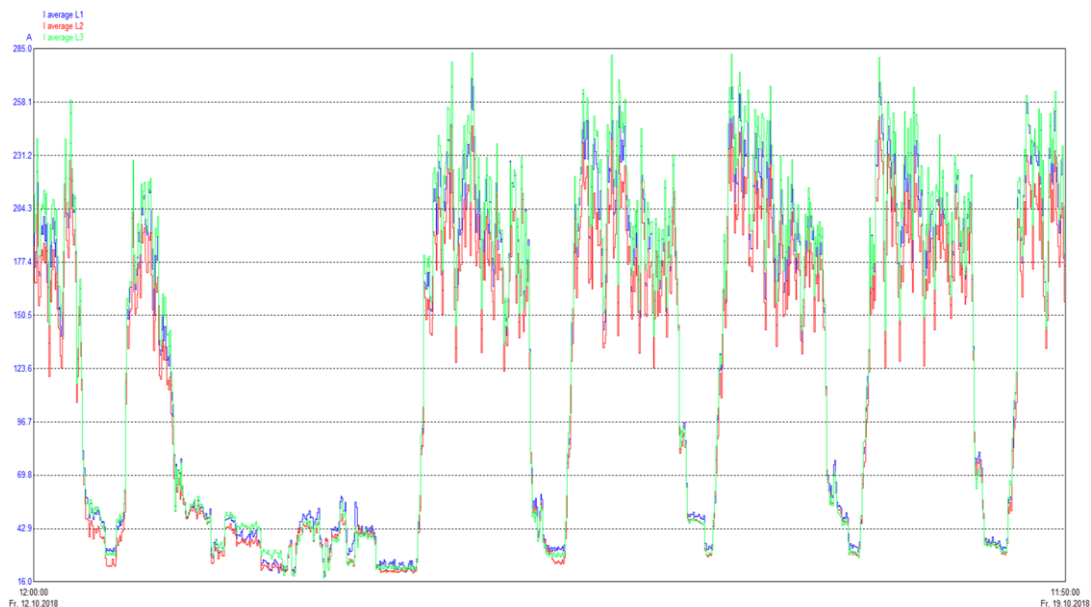


Priloga 2: Enopolna shema TP Pišek Vitli Krpan  
(Vir: Pišek Vitli Krpan)



### 14.3 POVPREČNI TOKOVI

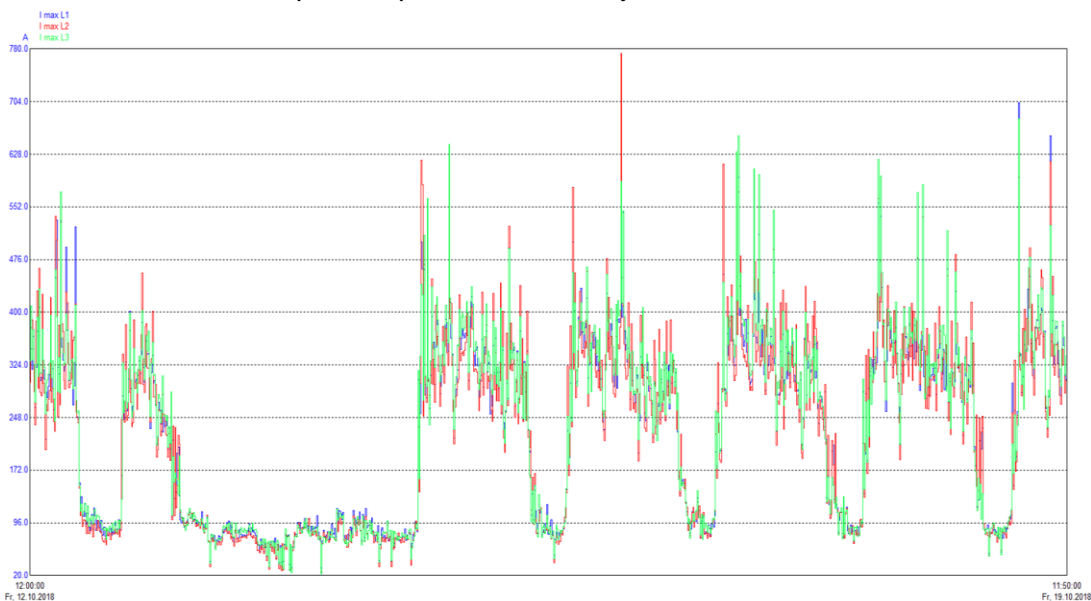
Graf povprečnih tokov je identičen zgoraj prikazanemu grafu v sliki 9, le da je izdelan v programu Codam. Meritve smo uporabili v poglavju 5 in 7.



Priloga 3: Graf povprečni tokovi, izdelan v programu Codam  
(Vir: Lasten)

### 14.4 MAKSIMALNI TOKOVI

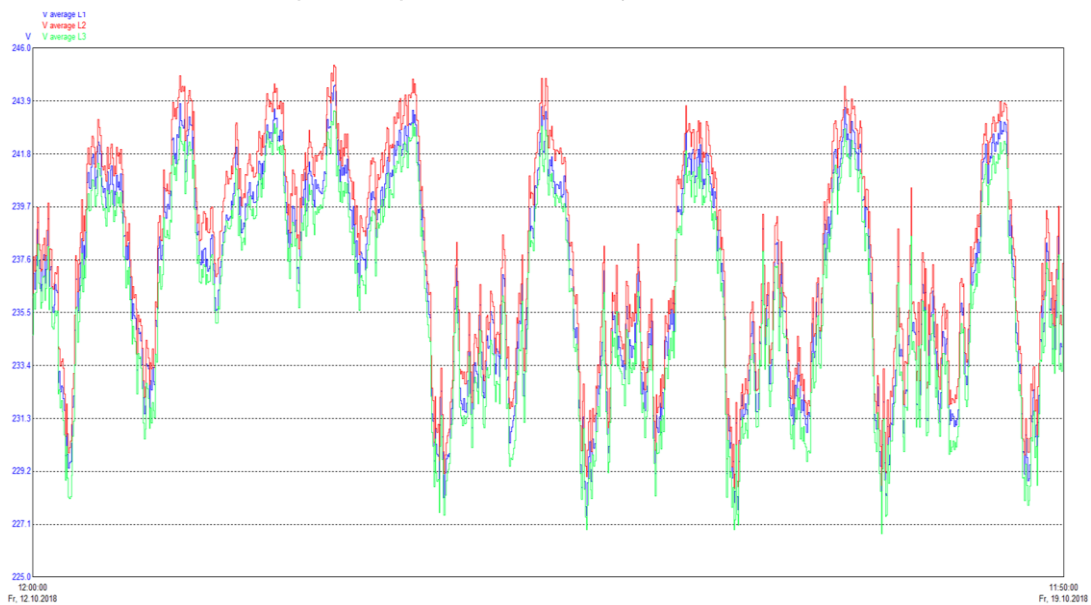
Graf maksimalnih tokov je identičen grafu v sliki 10, le da je izdelan v programu Codam. Meritve smo uporabili pri dimenzioniranju kabla.



Priloga 4: Graf maksimalni tokovi, izdelan v programu Codam  
(Vir: Lasten)

## 14.5 POVPREČNE NAPETOSTI

Graf povprečnih napetosti je identičen grafu v sliki 11, le da je izdelan v programu Codam. Meritve smo uporabili pri dimenzioniranju kabla.



Priloga 5: Graf povprečne napetosti, izdelan v programu Codam  
(Vir: Lasten)