



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

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

REKONSTRUKCIJA NAPAJANJA BLEJSKEGA OTOKA Z ELEKTRIČNO ENERGIJO

Mentorica: dr. Vildana Sulić Kenk, univ. dipl. inž. el.

Somentor: David Gogala, inž. el.

Lektorica: Ana Peklenik, prof. slov.

Kandidat: Igor Pečenik

Kranj, januar 2018

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici dr. Vildani Sulić Kenk, univ. dipl. inž. el., in somentorju iz podjetja Davidu Gogali, inž. el., za pomoč in orientacijo pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvala gre prav tako lektorici Ani Peklenik, ki je moje delo slovnično pregledala in uredila, ter podjetju Elektro Gorenjska, ki mi je omogočilo dostop do podatkov, potrebnih za izdelavo diplomskega dela.

Največja zahvala gre moji družini, ki me je moralno in finančno podpirala v času študija in pisanja diplomske naloge.

IZJAVA

»Študent Igor Pečenik izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Vildane Sulić Kenk.«

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

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava rekonstrukcijo napajanja Blejskega otoka z električno energijo. V nalogi so navedeni razlogi za obnovo ali rekonstrukcijo. Podana bo stroškovna primerjava med adaptacijo obstoječe transformatorske postaje (TP) in rekonstrukcijo elektroenergetskega omrežja. Zajema več sklopov: tako dokumentacijo kot opis terenskega in praktičnega dela. Glavni namen naloge je prikazati nekatere postopke del od same zasnove projekta, priprave dokumentacije, izbire trase, izbire kabla in elektroenergetskih elementov do presoje tehnične in cenovne in upravičenosti investicije, ki je najpomembnejši element raziskave.

KLJUČNE BESEDE

- rekonstrukcija
- elektroenergetsko omrežje
- dokumentacija

ABSTRACT

In diploma thesis the reconstruction of Bled island power supply is described. All technical and financial reasons of the reconstruction are presented. The reconstruction process is described in stages from documentation preparation at the beginning till the installation of underwater low voltage cable at the end. The main purpose of thesis is to prove that selected technical solution is good and also cost-effective.

KEYWORDS

- Reconstruction
- Electricity network
- Documentation

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Namen diplomskega dela	1
1.2	Cilj diplomskega dela	1
1.3	Materiali in metode dela	1
2	OPIS OBSTOJEČEGA STANJA	1
2.1	Obstoječe stanje	1
2.2	Razlogi za rekonstrukcijo in predlagani ukrepi.....	3
2.2.1	Razlogi.....	3
2.2.2	Možni ukrepi.....	6
3	IZBIRA TRASE NOVEGA NAPAVALNEGA KABLA	6
3.1	Dovoljenja in soglasja.....	7
4	IZBIRA IN PREDSTAVITEV PRIMERNIH KABLOV ZA POLAGANJE V VODO 8	
4.1	Popolnoma vodotesen SN kabel AXAL-TT.....	8
4.2	Vodotesni NN kabel AXCMK-W 4 × 120/29 mm ²	9
4.3	NN kabel XP 44-A 4 × 120 mm ²	10
5	PRIMERJAVA STROŠKOV MED SN IN NN NAPAVALNEM.....	11
5.1	Popis materiala, del in ocena stroškov za SN napajanje	11
5.2	Popis materiala, del in ocena stroškov za NN napajanje	14
6	SKLEP, ODLOČITEV MED SN IN NN NAPAVALNEM	16
7	IZBIRA NN NAPAVALNEGA KABLA	17
8	ANALIZA NIZKONAPETOSTNEGA OMREŽJA	19
8.1	Dimenzioniranje odvodov glede na tok, padec napetosti, kratek stik in druge pomembne faktorje	19
8.1.1	Trajno dovoljeni tok.....	20
8.1.2	Zaščita pred preobremenitvenim tokom	21
8.1.3	Zaščita pred prevelikimi toki	22
8.1.4	Termična kontrola	23
8.1.5	Zaščita pred električnim udarom	23
9	IZVEDBA REKONSTRUKCIJE	24
9.1	Priprava dokumentacije.....	24
9.2	Izvedba gradbenih in elektromontažnih del	24
9.2.1	Elektromontažna dela	25
	Seznam kablov.....	25
9.2.2	Gradbena dela	29
9.3	Ozemljevanje	35
9.4	Odstranjevanje dotrajane elektroenergetske opreme	36
9.5	Ekološki otok podjetja Elektro Gorenjska, d. d.....	36
10	ZAKLJUČEK	37
	LITERATURA IN VIRI	38
	PRILOGI	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Transformator v TP T250 – Blejski otok-leto izdelave 1970	2
Slika 2: Dotrajana TSN celica.....	4
Slika 3: Območje distribucijskega omrežja Elektro Gorenjska, ki se deli na krajevna nadzorništva.....	5
Slika 4: Letalski posnetek orto foto – kabelska trasa obstoječega in novega kablovoda.	7
Slika 5: Trižilni SN kabel AXCEL/FXCEL.....	8
Slika 6: Popolnoma vodotesen SN kabel AXAL-TT	9
Slika 7: Prerez kabla AXAL-TT z vodozapornim vlaknom v sredini.....	9
Slika 8: Vodotesen 4-žilni NN kabel AXCMK-W.....	10
Slika 9: Sestava NN zemeljskega kabla XP 44-A 4 × 120 mm ²	11
Slika 10: Prehodna kabelska omara iz vodnega na priključni kabel na otoku	27
Slika 11: Polaganje kabla pri vstopu kablovoda v jezero	29
Slika 12: Križanje kablovoda z vodovodom ali kanalizacijo.....	30
Slika 13: Križanje kablovoda s plinovodom.....	31
Slika 14: Križanje kablovoda s TK-vodom	31
Slika 15: Struktura na polaganju preko jezera za vsemi vodi	32
Slika 16: Struktura na polaganju preko jezera pred otokom (nizkonapetostna kabla in telekomunikacijske cevi).....	33
Slika 17: Razvlek kolektorja z električnim čolnom.....	34
Slika 18: Sestavljena betonska utež	35
Slika 19: Začasna deponija za dotrajane elektroenergetske opreme v Kranju	36

KAZALO TABEL

Tabela 1: Stroškovna tabela za SN napajanje.....	12
Tabela 2: Stroškovna tabela za SN napajanje.....	13
Tabela 3: Stroškovna tabela za NN napajanje.....	14
Tabela 4: Stroškovna tabela za NN napajanje.....	15
Tabela 5: Primerjalna tabela med SN in NN napajanjem.....	16
Tabela 6: Tabela koničnih moči odjemalcev	17

KRATICE IN AKRONIMI

TP:	Transformatorska postaja
TK:	Telekomunikacija
NNO:	Nizkonapetostno omrežje
PVC:	Polivinilklorid – plastika
SN:	Srednja napetost
NN:	Nizka napetost

1 UVOD

Elektro Gorenjska, d. d., stremi k zagotavljanju kakovostne oskrbe z električno energijo, kar pomeni neprekinjeno napajanje in kakovostno napetost. Podjetje v okviru letnih investicijskih programov vlaga v izgradnjo novega omrežja in stalno posodablja obstoječe omrežje in naprave.

Ob normalnem delovanju se vsaj enkrat letno opravi tako imenovani redni letni pregled omrežja. V večini primerov gre za vizualni pregled vseh elektroenergetskih postrojev. Na podlagi ugotovitev o morebitnih nepravilnostih ali o dotrajanosti opreme se primerno ukrepa.

1.1 Namen diplomskega dela

Namen diplomske naloge je predstaviti in opisati vse postopke in sklope, ki se izvedejo pred investicijo. V ta sklop je vključena tako priprava tehnične dokumentacije kot delo na terenu, npr. elektromontažna in gradbena dela.

1.2 Cilj diplomskega dela

Cilj naloge je predstavitev projekta, ki je tehnično in stroškovno smiselno in likvidno upravičeno. S tem se poveča vrednosti napetostnega omrežja, najpomembneje pa je, da se uporabnikom zagotovi kakovostno in nemoteno oskrbo z električno energijo.

1.3 Materiali in metode dela

Pri izdelavi diplomske naloge je uporabljeno predvsem lastno znanje, pridobljeno z večletnimi izkušnjami na terenu med zaposlitvijo v podjetju Elektro Gorenjska, d. d., ter med študijem na višji strokovni šoli. Literatura za diplomsko delo je bila pridobljena v tiskani in v elektronski obliki predvsem iz projektne dokumentacije podjetja. Večina slikovnih virov je bilo posnetih v lastni režiji oziroma posredovana od sodelavcev.

2 OPIS OBSTOJEČEGA STANJA

2.1 Obstoječe stanje

V obstoječem stanju ima Elektro Gorenjska, d. d., za potrebe napajanja z električno energijo objektov na Blejskem otoku zgrajeno transformatorsko postajo T250 Blejski otok, 10/0,4 kV, 100 kVA, locirano pod tlakovano ploščadjo na vzhodni strani otoka. Transformatorska postaja je napajana z obstoječim 10 kV kablovodom K0108, izvedenim kot radialni odcep iz obstoječe TP Vila Bled. Za napajanje objektov na otoku je od obstoječe TP Blejski otok do energetske omare z nameščenimi vsemi

merilnimi mesti odjemalcev na otoku (4 merilna mesta), locirani v pomožnih prostorih pod restavracijo položen NN zemeljski Cu-kabel preseka $4 \times 95 \text{ mm}^2$.



Slika 1: Transformator v TP T250 – Blejski otok-leto izdelave 1970
(Vir: Elektro Gorenjska, 2015)

Osnovni tehnični podatki:

Naziv transformatorske postaje:	T250 – Blejski otok
Primarna obratovalna napetost:	10 kV
Sekundarna obratovalna napetost:	0,4 kV
Projektirana moč (kVA):	100 kVA
Napajano iz TP:	TP Vila Bled 10/0, 4 kV
Naziv kablovoda TP Vila Bled–TP Blejski otok:	K0108
Presek kablovoda:	3*16

Dolžina kablovoda:	733 m
Oznaka kabla:	NYRGBY 3*16 Cu 10 kV
Leto izgradnje:	1970
Število NN izvodov:	4

2.2 Razlogi za rekonstrukcijo in predlagani ukrepi

2.2.1 Razlogi

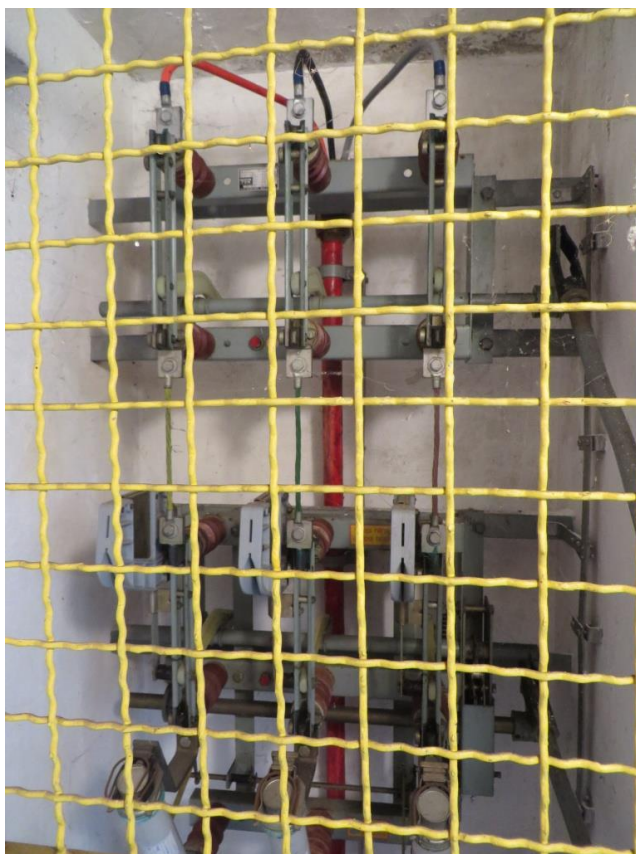
Na odločitev o projektu Rekonstrukcija Blejskega otoka z električno energijo je vplivalo več dejavnikov.

Eden izmed glavnih faktorjev, ki je pospešil začetek rekonstrukcije, je izgradnja kanalizacijskega priključka do otoka. Trasa kanalizacije čez jezero poteka v večji meri vzporedno z elektro in telekomunikacijskimi vodi, kar bi nam kot soinvestitorju bistveno zmanjšalo stroške rekonstrukcije.

TP Vila Bled, od koder je Blejski otok trenutno napajan, bo treba na željo lastnika TP odstraniti in prestaviti na drugo lokacijo.

Eden od razlogov je tudi dotrajana oprema (slika 2. prikazuje staro TSN celico za katero so rezervni deli prava redkost) in posledično odstranitev 10 kV kablovoda, položenega leta 1970. Mesto, kjer je trenutno TP Blejski otok, je težko dostopno in izpostavljeno vlagi. Elektro Gorenjska, d. d., pa si že dlje časa prizadeva ukiniti vse 10 in 35 kV daljnovode in kablovode.

V prid rekonstrukciji govori tudi okoljevarstveni vidik, saj bi z napajanjem preko NN kablovoda odstranili oljni transformator z otoka in preprečili izliv transformatorskega olja ob morebitni okvari.



*Slika 2: Dotrajana TSN celica.
(Vir: Elektro Gorenjska, 2015)*

Eden glavnih razlogov za rekonstrukcijo je vizija Elektro Gorenjske d. d., kjer je navedeno: »Vsem prebivalcem v gospodarstvu v svojem distribucijskem območju zagotavljamo najkakovostnejšo oskrbo z električno energijo. Družba zagotavlja zadostna sredstva za poslovanje in za letno obnavljanje vsaj 3 % elektroenergetske infrastrukture in njeno širitev najmanj v obsegu 1 % letno. (Zbirka treh knjižic za zaposlene v Elektro Gorenjska, d. d., 2017).

Kratek opis podjetja Elektro Gorenjska

Elektro Gorenjska, d. d., je podjetje za distribucijo električne energije, ki uporabnikom distribucijskega omrežja dnevno zagotavlja kakovostno in zanesljivo oskrbo z električno energijo (Elektro Gorenjska, 2017).

Elektro Gorenjska je eno izmed petih distribucijskih podjetij v Sloveniji. Električno energijo zagotavlja več kot 88.900 odjemalcem na površini preskrbovalnega območja v obsegu 2.091 km². Podjetje stalno nadgrajuje in vzdržuje energetska omrežje. Vsako leto se za 2 % poveča delež podzemeljskega kabla. Ob koncu leta 2016 je skupni delež podzemeljskega kabla zanašal že 64 %.

Splošni podatki družbe na dan 13. 12. 2016:

- št. odjemalcev, priključenih na distribucijsko omrežje 88.908
- št. gospodinjstev 77.833
- skupna distribucija el. energije v letu 2015 1.068,347.180 kWh
- poraba gospodinjstev 2015 33,300.284 kWh
- povprečna poraba na gospodinjstvo 4.295 kWh/gosp.

(Vir: Elektro Gorenjska, 2017)



Slika 3: Območje distribucijskega omrežja Elektro Gorenjska, ki se deli na krajevna nadzorništva.

(Vir: Elektro Gorenjska, 2017)

2.2.2 Možni ukrepi

Glede na vse zgoraj navedene razloge so odprte naslednje možnosti:

- Otok napajamo s SN 20 kV, položimo vodoodporni SN kabel, obnovimo TP, zamenjamo stare TSN celice s stikalnim blokom FS6 in zamenjamo nizko napetostni razdelilec.
- Po tehničnih možnostih in izračunih, ki bodo v nadaljevanju prikazani v diplomski nalogi, obstaja možnost napajanja 0,4 kV preko NN kabla. Položimo NN kabel in na otoku postavimo NN razdelilno prosto stoječo omaro.

3 IZBIRA TRASE NOVEGA NAPAVALNEGA KABLA

Za izbiro trase novega napajalnega kabla je potreben podroben ogled lokacije. Pri polaganju v vodo je tehnično in cenovno smiselno združiti kable po principu kolektorske strukture, da se skupaj položi kanalizacijske, telekomunikacijske in elektro vode. Kabelska trasa skupaj s kanalizacijskimi in telekomunikacijskimi vodi po jezeru vstopi pod Vilo Bled in gre v ravni liniji proti zahodni strani jezera, kjer se pred vzpenjačo loči od kanalizacijskih vodov.

Na Blejskem otoku kabelska trasa pod lesenim pomolom za privez čolnov pri tovarni vzpenjači izstopi iz jezera, poteka pod betonskimi stopnicami pešpoti vzporedno s tiri tovarne vzpenjače do objekta strojnice tovarne vzpenjače, kjer skozi betonsko steno vstopi v podkleteni del objekta.

Trasa kablovoda na kopnem poteka od nove predvidene TP, ki bo na že znani lokaciji z odkupljeno parcelo locirana na zahodnem robu parkirišča Pristave, po novi kabelski kanalizaciji vse do vstopa v jezero. Celotna tlorisna dolžina trase novega NN napajalnega kablovoda znaša 863 m.



Slika 4: Letalski posnetek orto foto – kablenska trasa obstoječega in novega kablovoda.

(Vir: Elektro Gorenjska, 2015)

3.1 Dovoljenja in soglasja

Na parcelah, kjer bodo novo zgrajeni elektroenergetski objekti oziroma bodo potekali podzemeljski kablovodi, mora investitor poskrbeti za vsa dovoljenja in soglasja ter zagotoviti zemljiškoknjižne služnosti dostopa v korist Elektro Gorenjska, d. d. Za to poskrbi služba za pridobivanje soglasij znotraj podjetja Elektro Gorenjska, d. d.

4 IZBIRA IN PREDSTAVITEV PRIMERNIH KABLOV ZA POLAGANJE V VODO

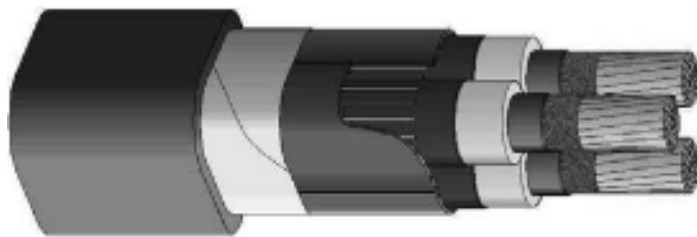
4.1 Popolnoma vodotesen SN kabel AXAL-TT

Zaradi svoje narave in pokrajine je uporaba trižilnih SN kablov najbolj razširjena v skandinavskih državah, zaradi tehnoloških prednosti pa so se začeli uporabljati tudi pri nas. Polaganje je hitrejše in lažje kot pri predhodnih trižilnih kablji, izgube pri prenosu električne energije pa so manjše. Kabli so namreč trikotne oblike, kar zmanjša trenje med razvlekom v kanalih ali v kanalizacijskih ceveh in v jaških. Prav tako pa moramo biti pozorni na vlečne sile in radije krivljenja. Zaradi teže je polaganje kabla izvedljivo s pomočjo mehanizacije, če ne gre za kratke konce.

Pri načrtovanju trase in jaškov je treba upoštevati radij krivljenja kabla. To pomeni, da morajo biti kotni jaški večji, začetni in končni jaški pa morajo imeti možnost, da se odprejo v celoti.

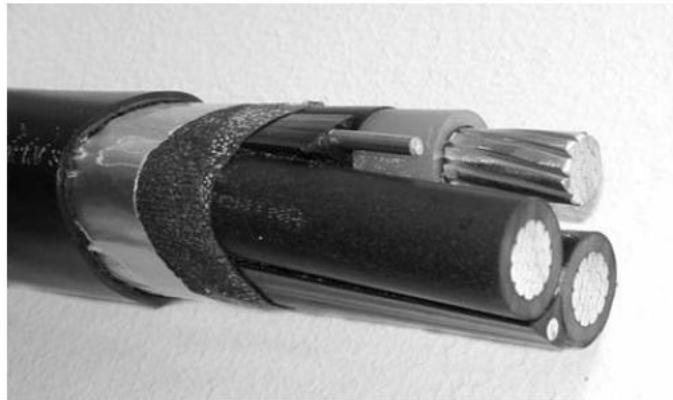
Zgradba trižilnega SN kabla

Kabel je trikotne oblike in brez polnila, saj s tem ne pridobi na teži in premeru. Skupni zaslon je iz bakrenih žic, obdanih s prevodnim materialom. Bakrene žice so tako zaščitene pred korozijo, žile pa pred mehanskimi poškodbami. Za prečno in vzdolžno zaporo vode skrbijo nabreklijiva vlakna in prah med samimi žilami. Rezultati s terena kažejo, da se kabel brez dodatne prečne vodne zapore uporablja tudi v vodi. Na zahtevo trga in željo po popolni vodotesnosti kabla se je v ta namen razvil revolucionarni popolnoma vodotesen trižilni SN kabel AXAL–TT, ki ga prikazujejo slike 5, 6 in 7.

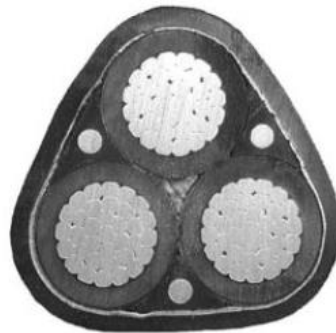


Slika 5: Trižilni SN kabel AXCEL/FXCEL
(Vir: Štojs, Žnidarič, 2017)

Na zahtevo trga in v želji po popolni vodotesnosti kabla se je razvil revolucionarni popolnoma vodotesni trižilni SN kabel AXAL–TT. Prioritete pri načrtovanju kabla so popolna vodotesnost (prečna in vzdolžna vodna zapora), robustnost (zaščita pred mehanskimi poškodbami in daljša življenjska doba kabla), in okoljevarstveni vidik (po uporabi je enostavna reciklaža, saj je v kablju samo ena kovina – aluminij).



*Slika 6: Popolnoma vodotesen SN kabel AXAL-TT
(Vir: Štojs, Žnidarič, 2017)*

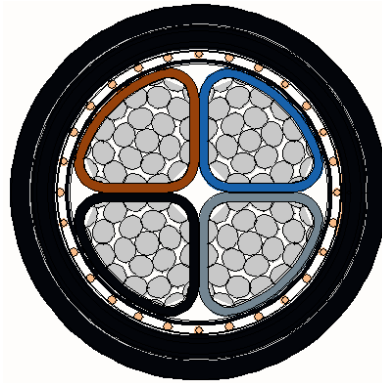


*Slika 7: Prerez kabla AXAL-TT z vodozapornim vlaknom v sredini
(Vir: Štojs, Žnidarič, 2017)*

Novost pri plašču AXAL-TT je zunanja plast, ki je iz trdnejšega materiala, zelo odporne na mehanske poškodbe, in mehkejša notranja plast, ki daje kablju potrebno fleksibilnost za dovoljeni radij krivljenja. Ugotovljeno je bilo, da je mehanska odpornost zunanjega plašča kabla AXAL-TT kar štirikrat odpornejša od konvencionalnega plašča iz polietilena (Štojs, Žnidarič, 2017).

4.2 Vodotesni NN kabel AXCMK-W 4 × 120/29 mm²

Za napajanje otoka preko 0,4 kV nivoja potrebujemo specialni nizkonapetostni (NN) kabel, ki je primeren za polaganje v vodo (prečna in vzdolžna vodna zapora) in zdrži pritisk na globini polaganja. Pri evropskih proizvajalcih NN kablov smo iskali primerne, vendar se je izkazalo, da ga izdelujeta le dva proizvajalca. Eden je imel bakrene vodnike, kar ima pomembno vlogo pri ceni, izbran je bil tip kabla AXCMK-W finskega proizvajalca REKA Cables. (slika 8. in slika 9.)



Slika 8: Vodotesen 4-žilni NN kabel AXCMK-W
(Vir: ReKa Cables)

Kabel je primeren za stalno direktno zunanjo podzemeljsko montažo, pa tudi za mokro in močvirnato podlago, lahko se ga položi direktno v vodo.

Specifikacije:

Max. delovna temperatura	+90 °C
Min. delovna temperatura	-20 °C
Max. temp. vodnika pri kratkem stiku (max. 5 sec.)	+250 °C
Min. radij krivljenja	588 mm
Max. vlečna sila:	preko plašča 7,20 kN

Konstrukcija kabla:

Vodnik: aluminijasta vrv preseka 120 mm² sektorske oblike

Izolacija: XLPE masa

4-žilni vodnik: barve izolacijske mase, ki obdajajo vodnike: modra, rjava, črna, siva

Kabel ima vzdolžno in prečno zaporo vode, ki jo preprečuje s pomočjo nabreklih aluminijastih trakov.

Zunanja zaščita: PVC

(Vir: katalog Reka Cables)

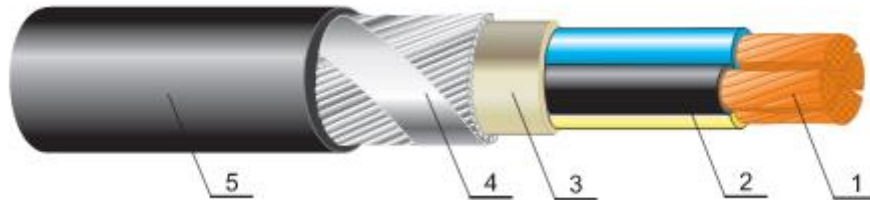
4.3 NN kabel XP 44-A 4 × 120 mm²

Kabel, ki je namenjen polaganju v vlažen močvirnat teren ali direktno v vodo, je zaradi same konstrukcije dražji od običajnega zemeljskega kabla. Smiselno in racionalno je, da se v preostali del kablovoda, ki poteka po kopnem, položi cenejši kabel s kovinskim ekranom, enakega materiala in preseka, kabel tipa XP 44-A 4 × 120 mm².

Konstrukcija kabla

1. Vodnik: aluminijasta vrv
2. Izolacija: masa XLPE

3. Polnilo: brizgana elastomerna ali plastomerna mešanica ali naviti termoplastični trakovi
4. Armatura: jeklene pocinkane okrogle žice in v nasprotni smeri ovite s pocinkanim jeklenim trakom
5. Plašč: PVC



Slika 9: Sestava NN zemeljskega kabla XP 44-A 4 × 120 mm²
(Vir: Elka, 2017)

Kabel je vsestranski, namenjen je polaganju tako v zemljo kot v kabelske jaške. Primeren je za polaganje v suhe in vlažne prostore ter na izpostavljenih mestih za mehanske poškodbe. Kabel je treba zelo pozorno polagati, saj ni izpostavljen mehanskemu vlečnemu raztezanju. Pri razvleku kabla se držimo navodil proizvajalca o nateznih silah.

Področja uporabe (Elka, 2017):

- v mestnih omrežjih,
- v industriji,
- v elektrarnah in
- v drugih napravah za povečane tokovne in termične obremenitve (obratovalna temperatura vodnika do 90 °C).

5 PRIMERJAVA STROŠKOV MED SN IN NN NAPAJANJEM

5.1 Popis materiala, del in ocena stroškov za SN napajanje

A elektro material

OPIS POSTAVKE	kol	enota	cena	znesek
Dobava SN bloka Siemens, tip 8DJH, vezalne sheme RT. Blok je opremljen z enim vodnim poljem s tripoložajnim ločilno-ozemljilnim stikalom 630 A in enim transformatorskim poljem s tripoložajnim ločilno-ozemljilnim stikalom 200 A in SN varovalkami 10 A.	1	kos	4.010,00	4.010,00
Dobava distribucijskega transformatorja tipa 6HTIM3 100-21 s hermetično zaprtim kotlom brez konzervatorja in s konektorskimi priključki. Nazivna moč 100 kVA, napetost transformatorja 21/0,42 kV, z vezalno skupino Yzn5 ter napetostjo kratkega stika 4 %.	1	kos	5.100,00	5.100,00
Dobava nizkonapetostnega dovodnega polja širine 430 mm, z vgrajeno opremo za priklop iz transformatorja, ter prigrajenega merilnega polja širine 430 mm, z vgrajeno opremo merilnega mesta "Enerprom MRO-16":	1	klp	5.700,00	5.700,00
Dobava materiala in opreme za SN kabelsko povezavo SN blok–transformator	1	kpl	520,32	520,32
Dobava in montaža materiala in opreme za NN kabelsko povezavo: transformator–NN plošča	1	kpl	675,31	675,31
Dobava materiala za izvedbo el. instalacije	1	kpl	78,2	78,2
Dobava materiala za izvedbo ozemljitve opreme	1	kpl	152,3	152,3
Dobava trižilnega 20 kV kabla tipa AXAL-TT preseka $1 \times 3 \times 150 \text{ mm}^2$	935	m	18,2	17.017,00
Dobava 20 kV ločljivega oklopljenega T-konektorja za naprave izolirane s plinom s skožniki tipa C, 630A, za kabel $1 \times 3 \times 150 \text{ mm}^2$, tip RSTI 5854+TRF02	1	kpl	238,8	238,8
Dobava, montaža in priklop 20 kV kabelske glave, za kabel $1 \times 3 \times 150 \text{ mm}^2$, tip POLT 24D/3XI-H4	1	kpl	121,56	121,56
Drobni, pritrdilni in vezni material	1	kpl	362,52	362,52
Skupaj:		€		33.976,01
Ostali drobni in nespecificirani material, prevozi materiala in oseb	5	%		1698,8
Skupaj ocenjena vrednost materiala		€		35.674,81

*Tabela 1: Stroškovna tabela za SN napajanje.
(Lastni vir)*

B elektromontažna dela

OPIS POSTAVKE	kol	enota	cena	znesek
Montaža SN bloka tipa »Siemens«; 8DJH sheme R,T z nazivno napetostjo 24 kV in tokom 630 A	1	kos	477,36	477,36
Montaža distribucijskega transformatorja navedenega v popisu materiala, vključno s podstavkom in prevozom	1	kos	397,8	397,8
Montaža nizkonapetostne plošče »Enerprom« MRO-16 v dvodelni sestavi	1	kos	318,24	318,24
Izvedba SN kableske povezave; SN blok–transformator	1	kpl	437,58	437,58
Izvedba NN kableske povezave; transformator–NN plošča	1	kpl	318,24	318,24
Izvedba električne instalacije v TP	1	kpl	159,12	159,12
Izvedba ozemljitev v TP	1	kpl	159,12	159,12
Izdelava in priklop SN kableskega konektorja	1	kom	179,01	179,01
Izdelava in priklop kableskega končnika	1	kom	159,12	159,12
Skupaj:		€		2.605,59
Razna manjša nepredvidena dela	10	%		260,56
Skupaj ocenjena vrednost elektromontažnih del: B		€		2.866,15
Rekapitulacija stroškov: Skupaj: (A + B)		€		38.541,76

*Tabela 2: Stroškovna tabela za SN napajanje
(Lastni vir)*

5.2 Popis materiala, del in ocena stroškov za NN napajanje

A elektro material

OPIS POSTAVKE	kol	enota	cena	znesek
Dobava štirižilnega nizkonapetostnega kabla, primerne za polaganje v vodo, tip AXCMK-W 4 × 120/29 mm ² , 0,6/1 kV, REKA Cables	1080	m	14,8	15.984,00
Dobava štiri-žilnega nizkonapetostnega kabla, tip XP 44-A, 4 × 120 mm ² , 1 kV, Elka	790	m	12,5	9.875,00
Dobava kablanskega končnika za NN kable, izolirane s polimeri, 0,6/1 kV, tip EPKT 0047, Tyco – Raychem	4	kos	9,85	39,4
Dobava kablanskega čevlja:* GN AlCu 120 mm ²	16	kos	10,5	168
Dobava kablanske spojke za kable izolirane spolimeri, z armaturo, 0,6/1 kV, tip SMOE 81524, Tyco – Raychem" zveznimi tulci GN Al 120 mm ² (4 kosi/spojko)	2	kos	59	118
Dobava nadometne kablanske omare tip PO2, Prebilplast z opremo	1	kpl	509,58	509,58
Dobava materiala za izvedbo ozemljitve opreme	1	kpl	152,3	152,3
Dobava enožilnega visokofleksibilnega energetskega kabla tip FG7R 1 × 95 mm ² , 0,6/1 kV, barva plašča siva, barva izolacije siva (4 × 23 m)	92	m	11,5	1.058,00
Dobava kablanskega čevlja:* GN Cu 95 mm ²	4	kos	9,8	39,2
Drobni, pritrdilni in vezni material	1	kpl	362,52	362,52
Skupaj:		€		28.306,00
Ostali drobni in nespecificirani material, prevozi materiala in oseb	5	%		1415,3
Skupaj ocenjena vrednost materiala		€		29.721,30

Tabela 3: Stroškovna tabela za NN napajanje
(Lastni vir)

B elektromontažna dela

OPIS POSTAVKE	kol	enota	cena	znesek
Izdelava kablanskega končnika 1 kV za kabel prereza 4 × 120 mm ² , in priklop kabla v PMO ali NNR	4	kos	51,52	206,08
Izdelava NN kablanske spojke za kable od 70 do 150 mm ²	2	kos	59,34	118,68
Montaža nadometne kablanske omare tip PO2 in kablov	1	kos	240	240
Izvedba SN kablanske povezave; SN blok–transformator	1	kpl	437,58	437,58
Izvedba NN kablansko povezavo; transformator–NN plošča	1	kpl	318,24	318,24
Izvedba električne instalacije v TP	1	kpl	159,12	159,12
Izvedba ozemljitev v TP	1	kpl	159,12	159,12
Izdelava in priklop SN kablanskega konektorja	1	kom	179,01	179,01
Izdelava in priklop kablanskega končnika	1	kom	159,12	159,12
Skupaj:		€		1.976,95
Razna manjša nepredvidena dela	10	%		197,7
Skupaj ocenjena vrednost elektromontažnih del: B		€		2.174,65
Rekapitulacija stroškov skupaj: (A + B)		€		31.895,95

*Tabela 4: Stroškovna tabela za NN napajanje
(Lastni vir)*

6 SKLEP, ODLOČITEV MED SN IN NN NAPAJANJEM

Na podlagi predpostavk in ugotovitev je prikazana tabela za lažjo predstavo in odločitev med izbiro NN in SN kablovodom.

Ocenjevalni kriteriji	Napajanje s SN kablovodom	Napajanje z NN kablovodom
Izboljšanje napetostnih razmer	3	3
Investicijska vrednost	2	3
Zanesljivost napajanja	3	3
Vzdrževanje	1	3
Težavnost izvedbe	2	3
Kakovost napetosti	3	3
Pridobitev soglasij in dokumentacije	1	3
Pogled iz okoljevarstvenega vidika	1	3
OCENA SKUPAJ:	16	24

*Tabela 5: Primerjalna tabela med SN in NN napajanjem
(Lastni vir)*

Pomen ocenjevalni točk:

- ⇒ 1 = neugodno, slabo
- ⇒ 2 = zadovoljivo, srednje
- ⇒ 3 = ugodno, dobro

Po izračunu je cenejša varianta napajanje z NN kablovodom, kar zmanjša stroške vzdrževanja, saj nam ne bi bilo treba vsaki dve leti opraviti revizije TP. Iz tabele je razvidno, da v obeh primerih dobimo kakovostno napetost, zanesljivost napajanja ter izboljšamo napetostne razmere.

Revizija TP obsega odklop, ki je nujno potreben, pregled SN končnikov, preverjanje delovanja stikalnega bloka, po potrebi odvzem in meritve TRF-olja, preverjanje nivoja olja v TRF, pregled NN razdelilca in izvodov, čiščenje TP in celotne opreme, ki se nahaja v TP.

Pri pridobitvi soglasij in dokumentacije bi nastal problem pri odkupu zemljišča za novo TP, ker je obstoječa lokacija neprimerna in težko dostopna, poleg vsega je zelo

izpostavljena vlagi. Že sama lokacija TP, ker je na otoku, predstavlja težavo, saj je ob morebitni okvari TRF, ki tehta 0,67 T, ali druge opreme mogoč prevoz le s helikopterjem.

Z napajanjem preko NN kablovoda dobimo velik plus v okoljevarstvenem smislu. Posledično se z ukinitvijo TP na Blejskem otoku rešimo morebitnega izliva transformatorskega olja iz otoka v jezero. Na podlagi predpostavk in ugotovitev je odločitev za napajanje Blejskega otoka preko NN kabla utemeljena.

7 IZBIRA NN NAPAVALNEGA KABLA

Trasa novega NN napajalnega kabla je glede na način polaganja razdeljena na dva dela. Na delu trase med TP Vila Bled – nadometna in obalo Blejskega jezera bo kabel položen prosto v zemljo, delno pa v kabelsko kanalizacijo. Na delu trase preko Blejskega jezera pa bo kabel položen direktno v vodo, na jezersko dno.

Običajni zemeljski kabli, specificirani v standardu SIST HD 620 S2, niso namenjeni polaganju v vodo, zato je treba dodatno opredeliti specifične zahteve. Priporoča se uporaba vodoodpornega zunanjšega plašča (polietileni z visoko gostoto) ter konstrukcija kabla z dodanimi vzdolžnimi in prečnimi vodnimi zaporami.

SIST HD 620 S2 – je standard, ki ga Elektro Gorenjska, d. d., zahteva pri javnih naročilih kablov.

Določitev koničnih obtežb

Konične moči posameznih odjemalcev, na osnovi katerih je bil dimenzioniran nov napajalni kablovod, so določene glede na nazivne velikosti priključnih varovalk posameznih odjemalcev, kar je razvidno iz naslednje razpredelnice:

Ime odjemalca	nazivne vrednosti varovalk	konična moč
Odjemalec 1	3 × 25 A	1 × 17 kW
Odjemalec 2	3 × 25 A	1 × 17 kW
Odjemalec 3	3 × 50 A	1 × 35 kW
Odjemalec 4	3 × 50 A	1 × 35 kW

Tabela 6: Tabela koničnih moči odjemalcev

(Vir : Elektro Gorenjska, d. d.)

Upoštevanje povprečnih vrednosti obremenitev posameznega odjemalca nam določa tokovno obremenitev celotnega kabelskega odvoda (I_{br}). Celotni padec napetosti (d_{uc})

ne presega vrednosti ± 10 % na mestu priključne merilne omarice posameznega objekta (SIST EN 50160).

S pomočjo standarda SIST EN 50160 ocenjujemo kakovost električne napetosti, ki se upošteva ob normalnih pogojih obratovanja. Standard omenja, da odkloni napajalne napetosti pri končnem uporabniku ne smejo presegati ± 10 %, odstopanje omrežne frekvence pa ne več kot ± 1 % (Elektro Primorska, 2017).

Izbrani tip kabla

Glede na ponudbo NN kablov, namenjenih polaganju v vodo, je bil izbran kabel tipa AXCMK-W $4 \times 120/29$ mm², 0,6/1 kV finskega proizvajalca REKA Cables. Dolžina podvodnega dela kabla, vključno s traso na otoku in potrebno rezervo za prehod kabla na kopno (približno do gozdne jase zahodno od objekta Vile Bled), znaša 540 m.

Nazivni podatki o kablu:

Kabel:	AXCMK-W
Presek kabla:	$4 \times 120/29$ mm ²
Nazivna napetost:	0,6/1 kV
Maksimalna napetost:	1,2 kV
Dovoljena temperatura:	pri nazivni obremenitvi +90 °C pri kratkem stiku +250 °C
Premer kabla:	49 mm
Maks. vlečna sila:	7,20 kN (preko plašča)
Min. radij krivljenja:	588 mm
Teža kabla:	2350 kg/km

Na preostalem delu trase bo nov napajalni kablovod izveden z zemeljskim kablom s kovinskim ekranom enakega materiala in preseka. Preostali del kablovoda bo izveden s kablom tipa XP 44-A 4×120 mm², 1 kV. Dolžina zemeljskega kabla na tem odseku znaša 395 m.

Nazivni podatki o kablu:

Kabel:	XP 44-A
Presek kabla:	4×120 mm ²
Nazivna napetost:	1 kV
Preizkusna napetost:	3,5 kV
Dovoljena temperatura:	pri nazivni obremenitvi +90 °C pri kratkem stiku +250 °C
Premer kabla:	49,3 mm
Maks. vlečna sila:	7,20 kN (preko plašča)
Min. radij krivljenja:	588 mm

Teža kabla: 4570 kg/km
Standard: BS 5467
IEC 60502-1

Obremenitev nove kableske povezave v normalnem ali izjemnem obratovanju mora biti vedno manjša od navedenih dopustnih obremenitev. Da nova kableska povezava tokovno in kratkostično zadosti vsem zahtevam, bo na celotni trasi treba položiti dva vzporedna kabla (paralelno delovanje kablov).

8 ANALIZA NIZKONAPETOSTNEGA OMREŽJA

Analizo smo opravili s pomočjo računalniškega programa RAZNNOW, ki ga razvija elektroinštitut Milan Vidmar. Program nam glede na podano konfiguracijo omrežja in konične obtežbe izračuna obremenitev posameznih vodov, padce napetosti v vejah, izgube, kratkostične tokove in nazivne vrednosti varovalk izvodov. Omrežje je dimenzionirano tako, da ustreza splošnim pogojem za dobavo in odjem električne energije.

Pri izračunu upoštevamo $\cos\varphi = 0,95$. Faktor prekrivanja med odjemalci na posameznem izvodu je odvisen od števila odjemalcev, in ga program določi po naslednji formuli:

$$F_{pi} = F_{p\infty} + \frac{1 - F_{p\infty}}{\sqrt{n}}$$

Pri tem je:

- F_{pi} – faktor prekrivanja bremen pri odjemalcu i
- n – število odjemalcev priključenih za odjemalcem i
- $F_{p\infty}$ – faktor prekrivanja bremen pri neskončnem številu odjemalcev, odvisen od stopnje elektrificiranosti objekta (0,15).

Analiza, ki je bila opravljena z programom RAZNNOW, je shematično podana v Prilogi 1.

8.1 Dimenzioniranje odvodov glede na tok, padec napetosti, kratek stik in druge pomembne faktorje

Pri dimenzioniranju odvodov stanovanjskih objektov je upoštevana povprečna vrednost obremenitev posameznega objekta. Te določajo tokovno obremenitev kableskega odvoda (I_{br}). Celotni padec napetosti (d_{uc}) ne presega vrednosti $\pm 10\%$ na mestu priključne merilne omarice posameznega objekta (SIST EN 50160).

Glede na izračun bo padec napetosti na mestu energetske omare z merilnimi mesti porabnikov na otoku znašal:

$$d_{uc} = 5,5 \%,$$

kar ustreza zahtevanim vrednostim.

Za izdelavo izračuna smo uporabili električne karakteristike za nizkonapetostni energetski kabel tipa AXCMK-W in XP44-A.

Uporabljen je sledeči presek kablovoda z Al – vodniki:

- AXCMK-W $4 \times 120/29 \text{ mm}^2$
- XP44-A $4 \times 120 \text{ mm}^2$

8.1.1 Trajno dovoljeni tok

Tok, ki teče skozi katerikoli vodnik med trajnim obratovanjem, ne sme povzročiti višjih temperatur, kot je najvišja dovoljena temperatura za kable z XLPE izolacijo. Maksimalna temperatura vodnika kabla v normalnem obratovanju je $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Trajno dovoljen tok glede na izbrani prerez kabla znaša:

- AXCMK-W (XP44-A) $4 \times 120 \text{ mm}^2 = 269 \text{ A}$

Dovoljena tokovna obremenitev (A) za vodnike z XLPE izolacijo je določena z upoštevanjem sledečih pogojev:

- Globina polaganja v zemljo $0,7 \text{ m}$
- Temperatura zemlje $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura zraka pri polaganju $30 \text{ }^\circ\text{C}$

Pri izračunu upoštevamo naslednje korekcijske (redukcijske) faktorje:

f_1 – korekcijski faktor za preračunavanje tokovne obremenitve kablov, položenih v zemljo, v odvisnosti od specifične toplotne upornosti in temperature zemljišča. Za primer, če je kablovod položen delno v kabelsko kanalizacijo, delno pa prosto v zemljo, se priporoča znižanje obremenitve na 85 %. Tako v našem primeru znaša $f_1 = 0,85$.

f_2 – korekcijski faktor za skupinske tokokroge, odvisen od specifične toplotne upornosti zemljišča, in faktorja dnevne obremenitve kabla (0,7).

$f_2 = 0,85$ (dva sistema kablovodov v rovu na medsebojni oddaljenosti 7 cm)

Trajno dovoljeni tok za posamezen kablovod AXCMK-W (XP44-A), uporabljen v našem primeru, ob upoštevanju redukcijskih faktorjev tako znaša:

$$I_{d\ 120} = I_{tr} \cdot f_1 \cdot f_2 = 269\text{ A} \cdot 0,85 \cdot 0,85 = \mathbf{194,35\text{ A}}$$

Prenosna zmogljivost dveh paralelnih kablov na trasi znaša:

$$I_{d\ 2 \times 120} = 2 \cdot I_{d\ 120} = 2 \cdot 194,35\text{ A} = \mathbf{388,70\text{ A}}$$

Prenosna zmogljivost zadošča trenutnim potrebam oskrbe Blejskega otoka z električno energijo, upoštevana je rezerva za morebitne povečane potrebe v prihodnosti.

8.1.2 Zaščita pred preobremenitvenim tokom

1.) Nazivni tok zaščitne naprave (talilne varovalke) mora biti večji od toka, za katerega je tokokrog predviden, in manjši od trajno dovoljenega toka kabla (varovanje kabla).

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

I_B – predvideni bremenski tok (A),

I_n – nazivni tok zaščitne naprave (A),

I_Z – trajno dovoljeni tok za predvideni kabel (A).

2.) Tok, ki zagotavlja zanesljivo delovanje zaščitne naprave, mora biti enak trajnemu vzdržnemu toku vodnika ali kabla oziroma manjši od 1,45-kratnika vrednosti tega toka.

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \neq 1,45 \cdot 194,35 \neq 281,8\text{ A}$$

$$I_2 = k \cdot I_n \neq 1,6 \cdot 125 \neq 200\text{ A}$$

I_2 – tok, ki zagotavlja delovanje zaščitne naprave (A) pri zanjo normalnih pogojih delovanja,

k – faktor za izračun zgornjega preizkusnega toka (za NN taljive varovalke nad 25 A znaša 1,6).

V program vnesemo naslednji parameter, da zadostimo zgornjima pogojema:

$$\frac{I_n}{I_b} \geq 1,1$$

$$\frac{125}{45,6} = 2,74 \geq 1,1$$

I_n – nazivni tok zaščitne naprave (A),

I_B – predvideni bremenski tok (A),

I_b – predvideni bremenski tok 45,6 A (za posamezen kabel)

I_n – nazivni tok varovalke 125 A

I_z – trajno zdržni tok voda 194,35

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$45,6 \leq 125 \leq 194,35$$

Pri tem mora nazivni tok varovalke izpolnjevati še naslednji pogoj:

$$I_n \leq \frac{1,45}{1,6} \cdot I_z \Rightarrow 125 \leq \frac{1,45}{1,6} \cdot 194,35 \Rightarrow 125 \leq 176,13$$

8.1.3 Zaščita pred prevelikimi toki

Pri okvarah (kratkih stikih) na NN vodih pomenijo daljši izklopni časi povečano stopnjo ogroženosti. Na izklopni čas ob izbrani velikosti varovalke vpliva velikost toka kratkega stika. Manjša kot je ta, daljši so izklopni časi. Zaradi navedenega je za nas zanimiv le tok enofaznega kratkega stika, ki je razen v območju NN zbiralnic nižji od toka trifaznega kratkega stika.

Za dimenzioniranje varovalk moramo upoštevati najbolj neugodne primere, ko so kratki stiki na koncu izvodov. Takrat so kratkostični tokovi zaradi velike upornosti kratkostične zanke majhni. Ti tokovi morajo povzročiti prekinitev tokokroga, kar zagotavljajo zaščitne varovalke. Da bi varovalka pravočasno pregorela, mora biti kratkostični tok za faktor k večji od nazivnega toka varovalke. Če z varovalko na začetku izvoda ne moremo zadostiti temu pogoju, je treba primerne varovalke vstaviti tudi v podveje, tako da je v vsaki veji izpolnjen pogoj.

Pogoja, pod katerima velja dopustni tok kratkega stika glede na presek kabla:

- Vodniki se lahko z XLPE izolacijo segrejejo do 250 °C (max. kratkotrajna zdržnost izolacije je 5 s).
- Začetna temperatura je lahko 90 °C.

8.1.4 Termična kontrola

Vsak kratkostični tok mora biti prekinjen v času, v katerem se vodniki ne bodo segreli preko dopustne temperature za izolacijo XLPE. Dopustni čas, s katerim je lahko obremenjen vodnik s kratkostičnim tokom, se izračuna iz izraza:

$$t = \left(k \cdot \frac{S}{I_k} \right)^2$$

kjer pomeni:

t	dopustni čas trajanja toka kratkega stika (s)
$k = 75$	faktor za XLPE izolacijo in Al tokovodnike
S	prerez vodnika (mm ²)
I_k	vrednost kratkostičnega toka (A)

Glede na izbrano varovalko (125 A v TP Vila Bled) in izračunano vrednost toka kratkega stika (650,9 A) bo po tabeli talilnih karakteristik NV talilnih vložkov gl-gG, ETI, varovalka pregorela v pribl. $t^* = 2,8$ s.

$$t \geq t^* \Rightarrow 191,19 \text{ s} \geq 2,8 \text{ s} \quad \text{s tem je zagotovljena termična trdnost kabla.}$$

8.1.5 Zaščita pred električnim udarom

Kot zaščita proti posrednim dotikom je v obravnavanem nizkonapetostnem omrežju uporabljen sistem napajanja TN C, v katerem sta nevtralni vodnik N in zaščitni vodnik PE združena v vodnik PEN do glavnega razdelilca v objektu, od tu pa sta ločena.

Vodnik nizkonapetostnega omrežja PEN je treba povezati z zaščitno ozemljitvijo transformatorske postaje in temeljnimi ozemljili napajanih objektov nizkonapetostnega omrežja. Na ozemljitve oz. vodnik PEN se priključijo vse kovinske priključno-razdelilne, priključno-merilne in glavne omarice v objektih, v vseh objektih pa mora biti izvedena izenačitev potencialov. Tako bo dosežena izenačitev potencialov na celotnem področju nizkonapetostnega omrežja.

9 IZVEDBA REKONSTRUKCIJE

9.1 Priprava dokumentacije

Ko so znani vsi ključni elementi, kot so kabel, ki ustreza določenim standardom, trasa kabla, soglasje lastnikov parcel., sledi projektna dokumentacija PZI – projekt za izvedbo. Za pripravo projekta poskrbi služba za projektivo, pripravita ga odgovorni projektant projekta in odgovorni vodja projekta.

Projektna dokumentacija se pripravi po naslednjih tehničnih regulativah:

- Načrt električnih inštalacij in električne opreme je izdelan na osnovi **tehnične smernice TSG-N-002:2013 "Nizkonapetostne električne instalacije"** v skladu s 13. členom Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Ur. list RS, št. 41/09, 2/12).
- Načrt električnih inštalacij in električne opreme je izdelan na podlagi **tehnične smernice TSG-N-003:2013 "Zaščita pred delovanjem strele"** v skladu s 5. členom Pravilnika o zaščiti stavb pred delovanjem strele (Ur. list RS, št. 28/09).

9.2 Izvedba gradbenih in elektromontažnih del

Napajanje Blejskega otoka preko NN kablovoda je pogojeno z izvedbo kanalizacijskega priključka do otoka in samo postavitvijo nove TP, kamor bo priključen novi NN napajalni kablovod. Tako bodo gradbena in elektromontažna dela izvedena v dveh delih.

1. DEL IZVEDBE

Prvi del projekta rekonstrukcije napajanja Blejskega otoka z električno energijo obsega naslednja gradbena in elektromontažna dela:

- gradbena dela na trasi na otoku, izvedba prehoda vodov iz jezera na obalo, izkop ter polaganje zaščitne cevi na travnati brežini vzporedno s tiri tovarne vzpenjače, obbetoniranje cevi ter zasutje jarka z ureditvijo brežine, uvedba cevi v kletni del objekta strojnice vzpenjače,
- polaganje ozemljitvene vrvi v kabelski jarek poleg dovodnega kablovoda ter v jarek poleg kanalizacijskega priključka (oboje na otoku),
- povezovanje komunalnih vodov v kolektor,
- polaganje kolektorske strukture komunalnih vodov na dno jezera z razvleko po gladini, obteževanjem z betonskimi utežmi ter kontroliranim potopom na dno jezera,

- gradbena dela za prehod komunalnih vodov iz jezera na obalo pod Vilo Bled, spodkop kamnitega opornega zidu, prekop peščene pešpoti ter podboj brežine z uvedbo cevi v jezero, polaganje zaščitne cevi, obbetoniranje cevi ter zasutje jarka z ureditvijo terena,
- izvedba skupnega dela trase komunalnih vodov po travnati brežini od jezera proti Vili Bled v dolžini pribl. 10 m,
- izvedba dela trase NN kabla do spojke na običajen zemeljski kabel, locirane na jasi zahodno od Vile Bled v dolžini pribl. 75 m.

2. DEL IZVEDBE

Začetek drugega dela izvedbe je pogojen z izgradnjo nove TP, od koder bo Blejski otok napajan. Investitor, v tem primeru Elektro Gorenjska d.d., načrtuje pridobitev gradbenega dovoljenja za novo TP. Izgradnjo nove TP načrtuje v prihodnjih letih.

Drugi del projekta rekonstrukcije napajanja Blejskega otoka z električno energijo obsega naslednja gradbena in elektromontažna dela:

- montažo prehodne kableske omare za prehod iz vodnega na priključni kabel, na notranjo steno v strojnici tovarne vzpenjače, priklop dovodnih (vodnih) kablov v omaro,
- izvedbo povezovalnega priključnega kabla med prehodno omaro v strojnici vzpenjače in energetske omare z nameščenimi merilnimi mesti porabnikov na otoku, priklop kabla v energetske omare,
- izvedbo dela trase NN kabla od spojke na vodni kabel, locirane na jasi zahodno od Vile Bled, do občinske ceste v Zako (Kidričeva cesta) v dolžini pribl. 260 m,
- izvedbo podboja občinske ceste,
- izvedbo kableske kanalizacije in polaganje kablov vanjo, od podboja ceste do nove transformatorske postaje TP Vila Bled – nadomestna,
- priklop kablov v novo TP Vila Bled – nadomestna,
- demontažo obstoječe TP Blejski otok, kompletno z vso elektroenergetsko opremo, odvoz opreme z otoka, prostor TP se v celoti opusti in preide v upravljanje lastnika zemljišča, stare SN in NN kableske trase se opustijo.

9.2.1 Elektromontažna dela

Seznam kablov

- Od TP Vila Bled (nadomestna) – do NN spojke, XP44-A 4 × 120 mm², 2 × 395 m (paralelna kabela).
- Od NN spojke – do PKO-prehodna omara (na Blejskem otoku), AXCMK-W4 ×

120/29 mm², 2 × 540 m (paralelna kabla).

- Od PKO – do PMO- merilna omara, FG7R 4 × 1 × 95 mm², 23 m.

Priklop kablov v TP Vila Bled – nadomestna

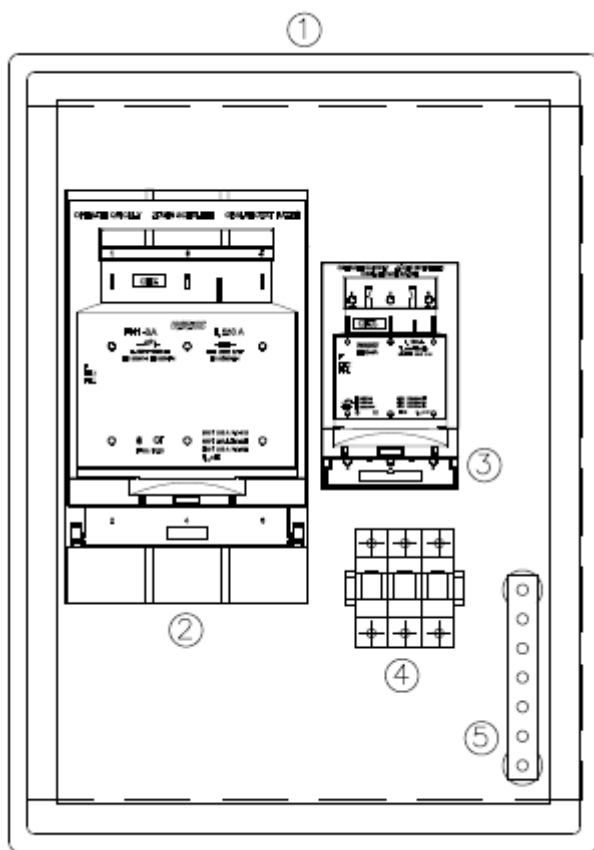
Nova NN kabla bosta po kabelski kanalizaciji uvedena v kletni del transformatorske postaje in priključena na tripolni stikalni letvi v NN stikalnem bloku v TP. Stikalni letvi za paralelno obratovanje kablov bosta medsebojno povezani z adapterjem za hkratni izklop obeh letev. S tem je zagotovljeno ustrezno varovanje vsakega od paralelnih kablov posebej ter možnost hkratnega tripolnega izklopa celotnega izvoda.

Priklop kablov na Blejskem otoku

Na Blejskem otoku nova paralelna napajalna kabla priključimo v novo prehodno omaro (PKO) iz vodnega na priključni kabel. Novo nadometno kabelsko omaro montiramo na notranjo steno v strojnici tovarne vzpenjače.

V novi nadometni kabelski omari tip PO2, Prebilplast, dimenzij 450 × 600 × 190 mm, s tritočkovnim zapiranjem bo nameščena naslednja oprema:

- 3p varovalčni ločilnik ETI NV1, 250 A z varovalčnimi vložki NV/NH 1 160 A,
- 3p varovalčni ločilnik ETI NV00, 160 A z varovalčnimi vložki NV/NH 00 160 A,
- odvodnik prenapetosti PROTEC B2S,
- ničelna letev s podpornimi izolatorji,
- ožičenje omare s Cu-žico ter ostali drobni, pritrdilni in vezni material.



OZNAKE:

1. nadometna omara tip PO2, Prebilplast
2. 3p varovalčni ločilnik ETI NV1, 250A, z varovalčnimi vložki NV/NH 1 Gg 160A
3. 3p varovalčni ločilnik ETI NV00, 160A, z varovalčnimi vložki NV/NH 00 Gg 160A
4. Odvodniki prenapetosti PROTEC B2S
5. Ničelna letev z podpornimi izolatorji

Slika 10: Prehodna kabelska omara iz vodnega na priključni kabel na otoku
(Vir: Elektro Gorenjska, 2015)

Povezavo med prehodno omaro (slika 10.) in energetske omare z nameščenimi merilnimi mesti porabnikov na otoku (PMO) izvedemo z visokofleksibilnimi enožilnimi Cu-kabli, tip FG7R, presek $4 \times (1 \times 95 \text{ mm}^2)$. Kabelsko povezavo izvedemo nadometno, po kabelskih policah. Trasa celotne povezave poteka znotraj objekta.

V energetske prostoru pod restavracijo kable nove NN povezave priključimo na obstoječe dovodne sponke v spodnjem delu energetske omare. Obstoječi NN napajalni kabel iz TP Blejski otok se predhodno odklopi, izvleče iz omare in opusti.

Izdelava kabelskih končnikov

Na vseh kabelskih uvodih v omarice je treba izdelati kabelske končnike z ustreznimi kabelskimi čevlji, ki se jih, kot je predpisano, stisne z ustreznim orodjem, nato pa jih je treba še dodatno izolirati s toploskrčno cevjo (požirko). Barva požirke ničelnega voda se mora razlikovati od faznih vodov (modra barva; rumenozelena). Na mesto kabla, kjer je odstranjen zunanji plašč izolacije in se nadaljujejo vodniki kabla, je treba namestiti toploskrčni zaključek (rokavico), ki ščiti kabelski končnik pred vdorom vlage v notranjost kabla. Odprtine za pritrdjevanje kabelskih čevljev se izbirajo glede na

premer priključnega vijaka stikalnih letev, v ostalih primerih pa se večajo glede na presek kablanskega vodnika. Prevelika luknja na kablanskem čevlju, ki bo pritrjen z manjšim premerom vijaka, ne bo zagotavljala kvalitetnega spoja zaradi zmanjšane stične površine in lahko povzroči pregrevanje spoja. Zelo pomemben je tudi stik ploskve Al-kablanskega čevlja z bakreno Cu-zbiralko, za katerega primer uporabimo kombinirane Al/Cu-kablanske čevlje ustreznih dimenzij glede na presek kabla in način pritrdjevanja.

Zatezni moment vijachenja podaja proizvajalec izdelka (stikalne letve, varovalčni ločilniki) in ga je potrebno upoštevati v izogib poškodbam varovalnih in priključnih elementov.

Polaganje kablov v jezero

Posebne zahteve so tudi pri polaganju podvodnega kabla. Položeni kabel na dnu ne sme biti napet, ampak se mora prilagoditi konfiguraciji tal. Kabel ne sme biti položen na ostre predmete, kot so podvodne stene, čeri, kamni ipd. Pred polaganjem kabla je treba ugotoviti profil jezerskega dna, saj mora biti kabel iz enega kosa.

Osnovni podatki prečkanja vodne površine Blejskega jezera:

- tlorisna dolžina prečkanja vodnega zemljišča: 385 m,
- največja globina jezera na trasi kablovoda: pribl. 17 m.

Kablaska trasa po jezeru poteka v ravni liniji od vstopa v jezero pod Vilo Bled proti zahodni obali otoka, kjer delno poteka vzporedno z obalo na odmiku pribl. 25 m ter se v loku zaključi pod pomolom za privez čolnov ob tovorni vzpenjači.



*Slika 11: Polaganje kabla pri vstopu kablovoda v jezero
(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)*

9.2.2 Gradbena dela

Pri primerjavi stroškov nismo upoštevali gradbenih del, saj stroškovno ne bi bilo veliko odstopanja med SN ali NN napajanjem Blejskega otoka. Večji obseg gradbenih del bo potekal v prihodnje, saj je pogojen z izgradnjo nove TP. Trasa napajalnega kabla bo potekala od nove TP do občinske ceste po šestcevni kanalizaciji s predvidenimi kabelskimi jaški. Po prečkanju ceste je kabel položen prosto v zemljo v kabelski jarek, globok 0,8 m. Posebno pozorno je treba v jarku odstraniti kamenje, večja zrna gramoza in druge predmete, ki bi lahko kabel poškodovali. Kabel se položi v peščeno blazino drobno sejanega peska ter zaščiti s plastičnimi ščitniki, da se ne poškoduje, ko se ga ob morebitni sanaciji pri okvari ponovno odkoplje. Da se kabel v prihodnje med gradbenim posegom ne bi poškodoval z gradbeno mehanizacijo, se 30 cm pod zemljo nad kablom položi opozorilni trak – pozor visoka napetost.

Trasa predvidenega novega NN napajalnega kablovoda na več mestih križa ali poteka vzporedno v varovalnih pasovih in varovanih območjih. Zato se veliko gradbenih del opravi ročno.

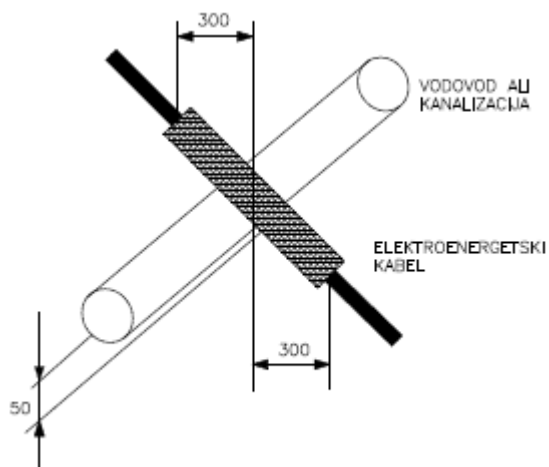
Odvečni izkopani material, ki se ne porabi za ponovno zasutje kablanskega jarka, se odpelje na ustrezno deponijo za sprejem gradbenega materiala. Zemeljska dela ne smejo vplivati na gozdni ekosistem, preprečena mora biti vsakršna možnost pojava erozijskih procesov na kablanski trasi in vplivnih površinah. Po končanih gradbenih delih se zemljišče povrne v prvotno stanje.

Križanje NN kabla z ostalimi vodi

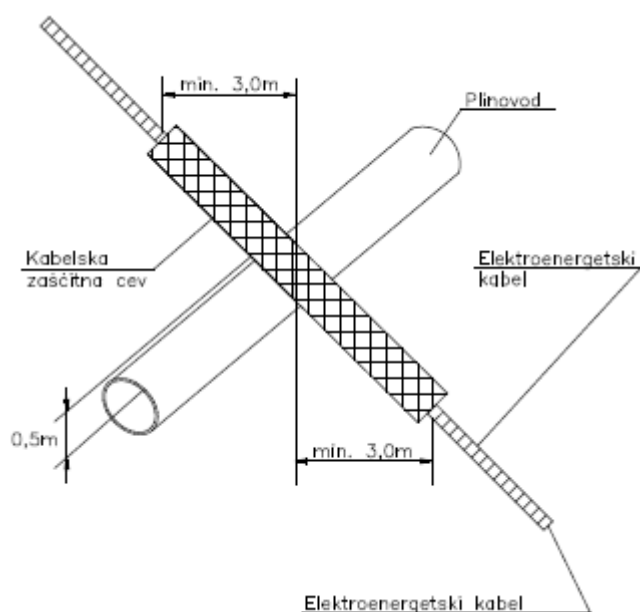
Pri gradbenih delih moramo biti pozorni na križanja z ostalimi vodi, kot so plinovod, telekomunikacijski vodi, vodovod ali kanalizacija. Pred samim začetkom kopanja se obvesti pristojne službe, da označijo vse vode, ki se križajo s kablovodom. Na mestih križanja se vsa dela izvedejo ročno, da ne pride do kakšne škode oziroma nevarnega dogodka. Elektro Gorenjska, d. d., prakticira način, ko se pri izkopu kablovoda naredi varnostni izklop. Pri križanjih vodov moramo upoštevati tudi nekatere zahteve, ki jih je smiselno v nalogi omeniti.

Križanje elektroenergetskega kabla z vodovodom in plinovodom

Pri križanjih elektroenergetskih vodov z vodovodom ali plinovodom gre za enake zahteve in minimalne odmike. Minimalna razdalja med kablovodom in vodovodom oziroma plinovodom je 0,5 m, v posebnih primerih je lahko 0,3 m. Na mestu križanja se kablovod položi v zaščitno PVC-cev. Cev pa mora segati 3 m na vsako stran križanja.



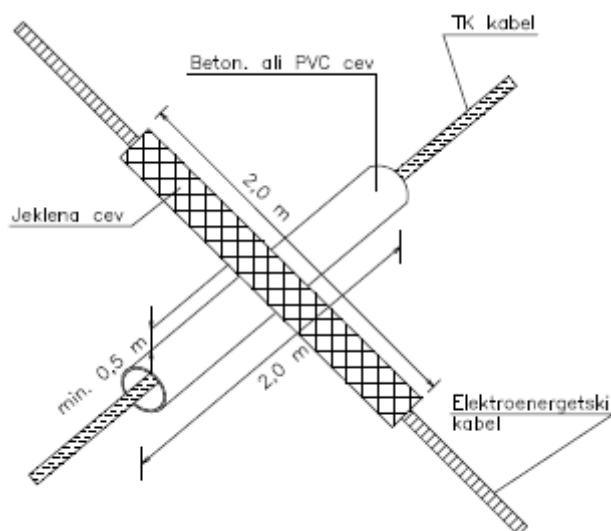
Slika 12: Križanje kablovoda z vodovodom ali kanalizacijo
(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)



Slika 13: Križanje kablovoda s plinovodom
(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)

Križanje kablovoda s telekomunikacijskim vodom

Telekomunikacijski vodi morajo biti pri križanju s kablovodom v betonski ali PVC-cevi. Minimalna razdalja med njimi je 0,5 m. Kjer gre skozi kablovod, mora biti cev jeklena, obe cevi pa morata segati 1 m vstran na mestu križanja. Izkop se na mestu križanja prav tako izvede ročno.

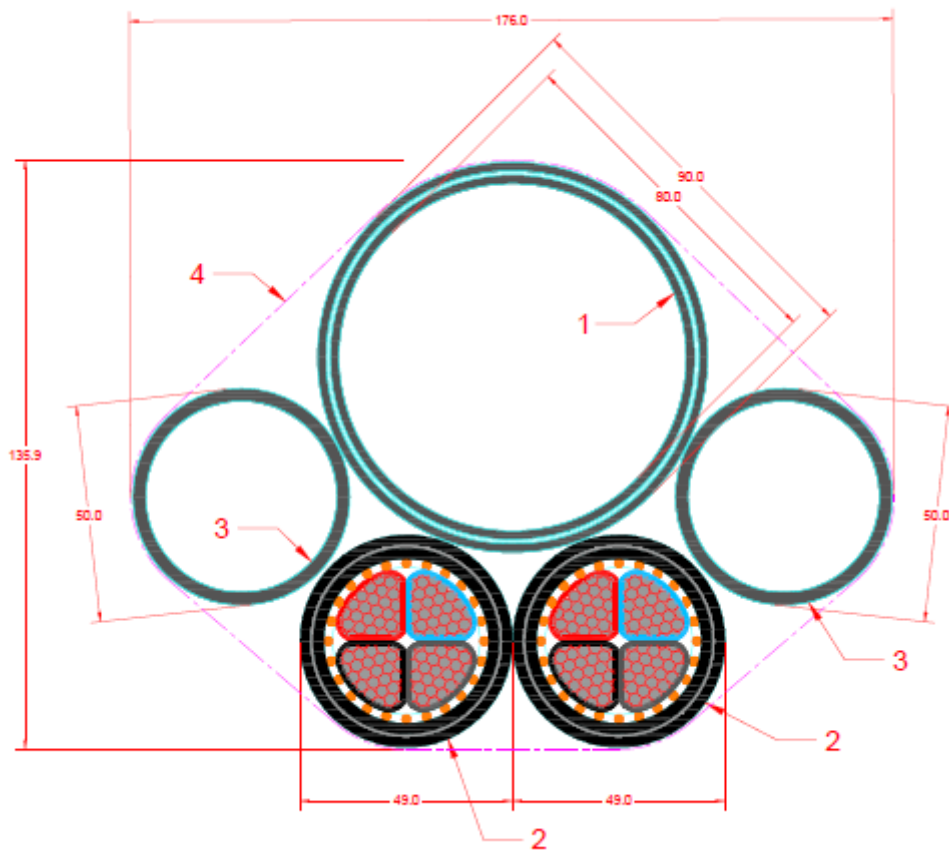


Slika 14: Križanje kablovoda s TK-vodom
(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)

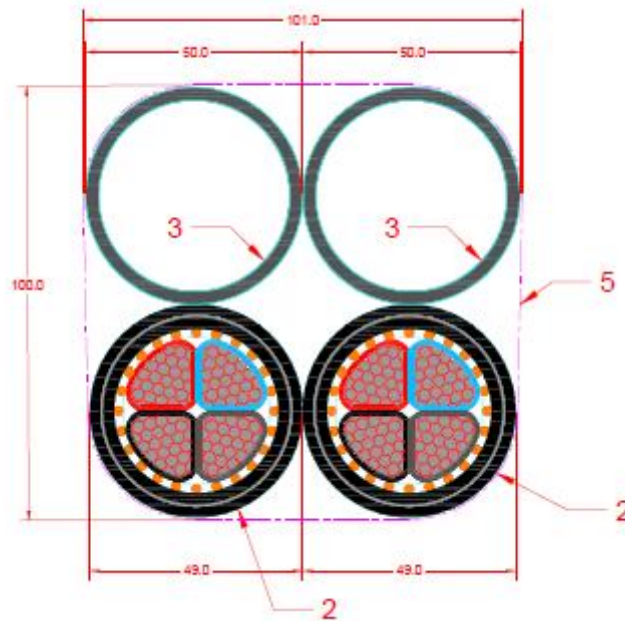
Kolektorska struktura komunalnih vodov pri polaganju v vodo

Na trasi bodo po principu kolektorske strukture skupaj položeni novi komunalni vodi. Spodaj so prikazane strukture in oznake vodov.

1. 1-krat cev kanalizacijskega priključka, Φ 90 mm,
2. 2-krat NN elektro kabel (zunanji premer kabla $D = 49$ mm, teža kabla $m = 2350$ kg/km),
3. 2-krat telekomunikacijska PEHD cev, Φ 50 mm,
4. PVC-vezica,
5. PVC-vezica.



Slika 15: Struktura na polaganju preko jezera za vsemi vodi
(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)



Slika 16: Struktura na polaganju preko jezera pred otokom (niskonapetostna kabla in telekomunikacijske cevi)

(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)

Na obali pod Vilo Bled vsi trije komunalni vodi skupaj vstopijo v jezero in skupaj potekajo do otoka, kjer se elektro in TK-voda ločita in na jugozahodnem delu otoka preideta na kopno, vod kanalizacijskega priključka pa poteka naprej po jezeru do severozahodnega dela otoka, kjer se priključi na obstoječi objekt z greznico.

Komunalne vode pred razvleko po jezeru povežemo v kolektorsko strukturo. NN elektro kabla, ki predstavljata najtežji del strukture, razporedimo na spodnjem delu, kanalizacijsko cev položimo na sredino nad kabla, cevi TK-vodov razporedimo na vsako stran kanalizacijske cevi nad kabloma po eno cev. Tako dobimo simetrično, v vodi stabilno strukturo. Komunalne vode povežemo v kolektor s PVC-vezico ustrezne dolžine z medsebojnim razmikom 1 m.

Kolektor vodov skozi enotno zaščitno cev alcaten, Φ 315 mm, za uvod kablov v jezero na obali pod vilo Bled uvlečemo v jezero. Kolektor s čolnom vlečemo proti otoku. Za razvlek kolektorja po jezeru bodo po moči zadostovali obstoječi čolni za oskrbovanje otoka na električni pogon.



*Slika 17: Razvlek kolektorja z električnim čolnom
(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)*

Pri otoku se elektro in TK-voda ločita od kanalizacijskega voda ter skupaj povezana, skozi skupno zaščitno cev alcaten, Φ 250 mm, predpripravljeno pri pomolu ob tovorni vzpenjači, preideta na kopno. Voda se po enotni cevi zaključita v kletnem delu strojnice tovarne vzpenjače.

Po razvleku kolektorja komunalnih vodov po jezeru ga obtežimo s sestavljivimi betonskimi utežmi, kar prikazuje slika 18.



*Slika 18: Sestavljena betonska utež
(Vir: Elektro Gorenjska, 2016–2017)*

V zadnji fazi se v tlačno kanalizacijsko cev začne črpati voda, pri čemer se bo kolektor vodov potopil na dno jezera. Potapljanje kolektorja ter njegovo lego na jezerskem dnu morajo sprti nadzirati potapljači.

9.3 Ozemljevanje

Za potrebe izboljšanja združene ozemljitve predvidene transformatorske postaje TP Vila Bled in napajanih objektov v kabelski jarek poleg nove kabelske kanalizacije na delu trase med predvideno TP in križanjem občinske ceste položimo krak ozemljitvenega traku, pocinkanega valjanca Fe-Zn 25 × 4 mm dolžine 100 m.

Za potrebe izboljšanja združene ozemljitve napajanih objektov v kabelski jarek poleg nove kabelske kanalizacije na Blejskem otoku ter v jarek poleg fekalne kanalizacije na otoku položimo krake ozemljitvene vrvi, Cu 95 mm², skupne dolžine 50 m. Nove ozemljitve v zemlji povežemo z vsemi obstoječimi ozemljitvami objektov na obravnavanem področju.

Pri polaganju ozemljila moramo biti pozorni na material (zemljino), v katerega položimo ozemljilo. Sprejemljiv je, če je skupna ozemljilna upornost manjša od 10 Ω, za specifične upornosti tal pod 250 Ωm. V primeru, da je specifična upornost tal višja, skupna ozemljilna upornost ne sme presegati 8 % specifične upornosti tal.

9.4 Odstranjevanje dotrajane elektroenergetske opreme

Po izvedbi novega NN priključka se obstoječa TP Blejski otok skupaj s pripadajočim 10 kV napajalnim kablom izvedenim iz TP Vila Bled, ter NN napajalni kabel do energetske omare opusti.

Vsa oprema transformatorske postaje se demontira, odstrani z otoka ter odpelje na pooblaščen deponijo, tako imenovane ekološke otoke. Transformator se demontira in po potrebi obnovi ter shrani za nadaljnjo uporabo. Prostor transformatorske postaje preide v upravljanje lastnika zemljišča. Obstoječe kabelske trase se opustijo.

9.5 Ekološki otok podjetja Elektro Gorenjska, d. d.

Za začasno zbiranje dotrajane elektroenergetske opreme imamo v podjetju dve deponiji za zbiranje ločenih odpadkov. Ena deponija se nahaja v Žirovnici, druga v Kranju. Za reciklažo odpadkov je v podjetju Elektro Gorenjska, d. d., namenjenih šest zalogovnikov za naslednje vrste odpadkov:

- aluminij,
- papir,
- plastika,
- kabel,
- izolator,
- kovina.



Slika 19: Začasna deponija za dotrajane elektroenergetske opreme v Kranju
(Lastni vir)

10 ZAKLJUČEK

Vzdrževanje elektroenergetskih naprav v distribuciji je ključnega pomena za dobro delovanje elektroenergetske mreže. Z rednim vzdrževanjem poskušamo napake sanirati oziroma odpraviti, preden zaradi njih nastane izpad omrežja ali naprave. Skrbniki omrežja, v našem primeru so to krajevni nadzorniki, izvajajo redne preglede naprav, in sicer ciklično, predvidoma enkrat letno, odvisno od naprave. Skrbnik omrežja pred letnim remontom opravi vizualni pregled naprav, da se ob remontu tudi sanirajo. Za to je treba omrežje odklopiti, torej je planiran vnaprej. Pri samem remontu se izvedejo meritve transformatorja, preverjanje delovanje stikalnih naprav, ugotavljanje stanja opreme ter čiščenje postrojev. Služba za vzdrževanje pridobi seznam pomanjkljivosti oziroma ugotovljeno stanje in temu primerno ukrepa z možnimi rešitvami.

V diplomski nalogi smo opisali in predstavili postopke, ki so potrebni, preden pade odločitev o neki rekonstrukciji. Opisani so postopki vse od začetka načrtovanja, kot so ogledi, ugotavljanje trenutnega stanja, možne rešitve, priprava dokumentacije, stroškovni izračuni, do opisa končnih izvedenih del, kot so elektromontažna in gradbena dela.

Predstavili smo dve možnosti za obnovitev napajanja Blejskega otoka. Prva opcija je napajanje Blejskega otoka preko SN kabla, druga za napajanje preko NN kabla. Odločitev za slednjo varianto napajanja preko NN kabla upravičuje prav to diplomsko delo, kar je bil glavni namen. Dokazali smo, da je napajanje otoka preko NN kabla cenejša rešitev, ki ne prevedeva praktično nobenega nadaljnjega vzdrževanja, obenem pa ekološko manj sporna. Z NN napajanjem smo se znebili transformatorske postaje na otoku, s čimer smo zmanjšali poseg v okolje ter ob možni okvari transformatorja preprečili izliv olja.

Podjetje pa je dokazalo, da stoji za enim izmed svojih temeljnim strateških ciljev, tj. stroškovno učinkovitostjo in kakovostno izvedbo investicijskih in drugih projektov.

LITERATURA IN VIRI

Električne prostostoječe omarice in omarice za na drog (b. l.). Pridobljeno 24. 3. 2017 z naslova <http://www.prebilplast.si/katalogi/03-PS.pdf>.

Elektro Gorenjska (2010). *Priporočila za vgradnjo NN odvodnikov v distribucijskem omrežju*. Pridobljeno 24. 3. 2017 z naslova http://www.elektro-gorenjska.si/resources/files/Vgradnja_Odvodnikov_2010.pdf.

Elektro Gorenjska (2015). PZI – Blejski otok.

Elektro Gorenjska (2016). *Koristne informacije o podjetju Elektro Gorenjska d. d.* Pridobljeno 9. 3. 2017 z naslova http://www.elektrogorenjska.si/resources/files/pdf/mediji/Zlozenka_EG_koristne_informacije_2016.pdf.

Elektro Gorenjska (2016–2017). *Interna dokumentacija*. Kranj: Elektro Gorenjska.

Elektro Gorenjska (2017a). *Kontakti in lokacije*. Pridobljeno 9. 3. 2017 z naslova <http://www.elektro-gorenjska.si/o-podjetju/kontakti-in-lokacije>.

Elektro Gorenjska (2017b). *Koristne informacije o podjetju Elektro Gorenjska d. d.* Pridobljeno 28. 8. 2017 z naslova http://www.elektro-gorenjska.si/resources/files/pdf/mediji/KON_Zlozenka_EG_koristne_informacije_2017.pdf.

Elektro Primorska (b. l.). *Kakovost napetosti*. Pridobljeno 16. 4. 2017 z naslova <http://www.elektro-primorska.si/omrezje/kakovost-napetosti>.

Elka (b. l.). *Katalog*. Pridobljeno 24. 3. 2017 z naslova http://www.eltima.si/Katalogi/Elka_kabli%20do1%20kV/30-42%20str%20krivulje.pdf.

Eti (2017). *Varovalčni ločilniki*. Pridobljeno 24. 3. 2017 z naslova <http://www.eti.si/product-search-2?view=search&levelid=257>.

Eti (b. l.). *Karakteristike varovalk*. Pridobljeno 1. 4. 2017 z naslova http://www.eti.si//images/userfiles/sl-SI/documents/products/building_industry/NV_TD.pdf.

Katalog REKA CABLES.

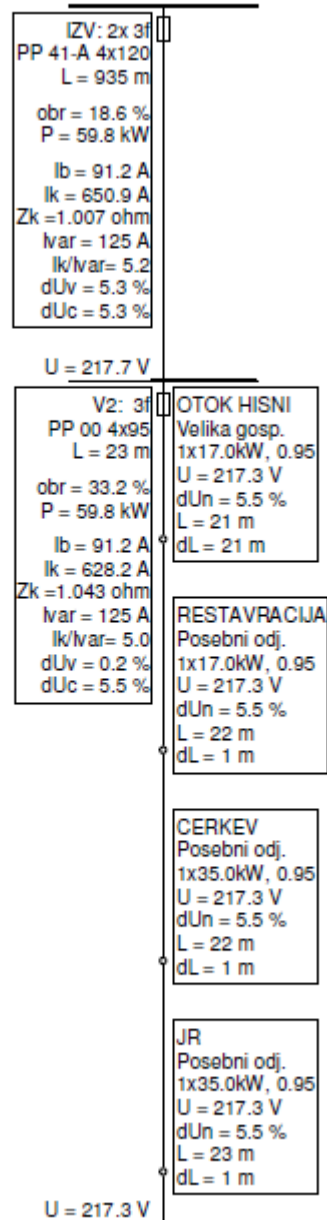
Štojs, S., Žnidarič, M. (2007). *Uporaba sodobnih trižilnih kablov v SN omrežjih*. Pridobljeno 22. 3. 2017 z naslova http://www.mrstoritve.si/linked/uporaba_sodobnih_trizilnih_kablov_v_sn_omrezjih.pdf.

Zbirka treh knjižic za zaposlene v Elektro Gorenjska, d. d. – 16. 9. 2017.

PRILOGI

Priloga 1

NNO OTOK BLED
 RK 3TBNv 400 kVA 24/0.381 kV
 $U_n = 230.0 \text{ V}$ (-10.0 %, +10.0 %)
 $U = 230.0 \text{ V}$
 Letna rast: 1.0 %
 Porast 2015/2015: 0.0 %
 Obremenitev: 59.800 kW (ali 15.7 %)
 Izgube omrežja: 4.346 kW
 Ocenjene letne
 izgube energije: 14.145 MWh



Priloga 2: Shema napajanja objektov na Blejskem otoku

