



GEOMAP - Geološko raziskovanje

Davčna št. SI 10653350  
Matična št. 194389800

Dimičeva ulica 16, 1000 Ljubljana

[info@geo.si](mailto:info@geo.si)

Št. DN	GEOMAP : 29 - 6 - 2017
Objekt	VN kabel 110 kV
Naročnik :	SODO d.o.o.

**Inženirsko - geološki elaborat o geomehanskih in geotermalnih razmerah na območju projektiranega kablovoda 110 kV RTP Toplarna - RTP PCL ( odsek RTP PCL - KJ6 )**



p. p.

**Datum: julij 2017**

18. 6. 2020

## KAZALO VSEBINE

1.0 UVOD	3
1.1 Potek trase	4
2.0 SPLOŠNE GEOMORFOLOŠKO - GEOLOŠKE RAZMERE	4
3.0 TEKTONIKA, STABILNOSTNE RAZMERE	4
3.1 Vrsta temeljnih tal (po EC 8)	5
3.2 Modul reakcije tal	6
4.0 TERENSKE RAZISKAVE	6
4.1 Metode raziskav	7
4.1 Okvirne karakteristike zemljin:	7
5.0 OPIS KARAKTERISTIČNIH PROFILOV TAL	10
6.0 HIDROGEOLOŠKE RAZMERE	12
7.0 POGOJI TEMELJENJA	13
8.0 OPIS TRASE KABLIRANJA PO POSAMEZNIH ODSEKIH	14
9.0 SONDAŽE : SESTAVA TAL - GEOMEHANSKE RAZISKAVE	17
10.0 MERITVE TOPLOTNIH UPORNOSTI ZEMLJIN IN HRIBIN	21
11.0 PREDLOGI IZBOLJŠANJA TOPLOTNIH PREVODNOSTI ZEMLJIN	26
11.1 Karakteristike zasipnih materialov	27
11.2 Polaganje silikatnih zasipov	28
12.0 ZAKLJUČKI Z INŽENIRSKO - GEOLOŠKIMI PREDLOGI	30
PRILOGA: REZULTATI MERITEV TOPLOTNIH UPORNOSTI ZEMLJIN	31

## **Inženirsko - geološko elaborat o geomehanskih in geotermalnih razmerah na območju projektiranega kablovoda 110 kV RTP Toplarna - RTP PCL (odsek RTP PCL - KJ6)**

### **1.0 UVOD**

Predmet inženirsko - geološkega poročila je kabliranje trase VN kablovoda 110 kV RTP Toplarna - RTP PCL.

Na omenjeni trasi so bile opravljene geološko - geotenične raziskave, z namenom ugotoviti inženirsko - geološke razmere, sestavo tal z geomehanskimi karakteristikami zemljin. Pridobljeni podatki se uporabijo pri projektiranju kablovoda.

Poleg geomehanskih raziskav so bile na trasi opravljene tudi geotermalne raziskave okolja v katerem se bo nahajal projektirani VN kabel, na teh osnovah so podani predlogi izboljšanja geotermalnih razmer.

Geomehanske karakteristike zemljin in hribin v poročilu so določene ob terenskih meritvah in iz laboratorijskih poročil raziskav na večjih objektih v okolici obravnavanega območja.

Geološko - geomehanske raziskave:	Geotermalne raziskave:
<ul style="list-style-type: none"><li>- inženirsko - geološka prospekcija terena</li><li>- izvedba in - situ meritev (sondažne vrtine, georadarske meritve)</li><li>- penetracijske meritve zemljin in hribin</li><li>- pregled stabilnostnih in hidrogeoloških razmer širše okolice</li><li>- pregled obstoječih geoloških in geomehanskih podatkov iz katastrof</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- in - situ meritve toplotnih upornosti zemljin in hribin</li><li>- toplotne meritve okolja do globine 2 m</li><li>- določitev sestave TBF zasipov za izboljšanje toplotnega okolja kabliranja</li></ul>

Obravnavane geotermalne razmere se nanašajo na odseke z odprtimi vkopi, ne na območja podvrtavanj, kjer so pričakovane geotermalne razmere pod referenčnimi standardi.

## 1.1 Potek trase

---

Trasa kabliranja poteka med RTP PCL in RTP Toplarna, po Kolinski ulici, Ob Zeleni Jami in se nadaljuje ob železniški progi Ljubljana - Zidani most.

V dolžini prvih 1419,1 m poteka v odprtem vkopu na različnih globinah (glede na lego drugih obstoječih komunalnih in infrastrukturnih vodov). Na stacionaži 1419,1 m + 168, 3 m je na trasi kabliranja predvideno podvrtavanje. Na zadnjem delu trase (stacionaža 1587,4 m + 67,9 m) je izvedba kabliranja predvidena z mikrotuneliranjem - opis v predhodnem poročilu (Geomap, 13/3/2016).

## 2.0 SPLOŠNE GEOMORFOLOŠKO - GEOLOŠKE RAZMERE

Obravnavano območje leži na pretežno kvartarnih sedimentih; konglomeratni in prodni zasip Ljubljanskega polja. V hribinski sestavi prevladujejo karbonatni prodi. Med prodom se pojavljajo plasti melja, zaglinjenih prodov, vključki meljno - peščenih glin in konglomerata. V zgornjih horizontih se na nekaterih delih pojavljajo umetna nasutja in segajo na različne globine (ponekod do 2 m, v bližini objektov). Sestavljajo jih različni gradbeni materiali, gline in umetni dopadki.

Območje je ravninsko, prepredeno s komunalno infrastrukturo, prometnicami in objekti. Tektonika je na širšem območju neizrazita, geodinamični pojavi niso značilni.

## 3.0 TEKTONIKA, STABILNOSTNE RAZMERE

Po slovenskem predstandaru SIST - ENV 1998-1-1, ki upošteva povratno dobo potresov 500 let spada raziskano območje v 7. potresno stopnjo z vrednostjo potresnega pospeška  $Q_g = 10 \%$ , tla pa se uvršča v razred B.

Širše območje je tektonsko pretrto z lokalnimi prelomi in narivi. Na obravnavanem območju ni opaziti geodinamičnih pojavov.



Iz uradne karte projektnega pospeška temeljnih tal za povratno dobo 475 let (2002) je razvidno, da je na obravnavanem območju vrednost projektnega pospeška temeljnih tal 0,200 - 0,250 g. Pri tem se projektni pospešek nanaša na trdna tla tipa B po EC8 - 1.

Za primerjavo karte intenzitete in karte projektnega pospeška so v spodnji preglednici prikazane njune glavne lastnosti.

	<b>Intenziteta MSK (EMS)</b>	<b>Projektni pospešek</b>
<b>Povratna doba</b>	500 let	475 let
<b>Letna verjetnost prekoračitve</b>	0,002	0,0021
<b>50 - letna verjetnost</b>	9,5%	10%
<b>Tla</b>	II. kategorija	Tip B po EC8- 1
	Intenziteta MSK (EMS)	Vršni pospešek
<b>Projektni parameter</b>	VII ali 0,200	Projektni pospešek 0,200 g

Iz preglednice je razvidno, da je vrednost projektnega pospeška temeljnih tal na varnejši strani kot vrednost intenzitete po MSK (EMS).

Razlika je dejansko še večja, če upoštevamo slabšo podlago - nahaja se mestoma pod temeljnimi tlemi. Tu ocenjujemo projektni pospešek tal do 0,200 g.

### 3.1 Vrsta temeljnih tal (po EC 8)

Obravnavane hribine (aluvijalni nanosi prodov) uvrstimo v tip B - preglednica spodaj

<b>Tip tal</b>	
A	Skala ali druga podobna geološka formacija, na kateri je največ 5 m slabšega površinskega materiala
B	Zelo gost pesek, prod ali zelo toga glina, debeline vsaj nekaj deset metrov, pri katerih mehanske značilnosti z globino postopoma naraščajo
C	Globoki sedimenti gostega ali srednje gostega peska, prod ali toge gline globine nekaj deset do več sto metrov
D	Sedimenti rahlih do srednje gostih nevezljivih zemljin (z nekaj mehкими vezljivimi plastmi ali brez njih) ali pretežno mehkih do trdnih vezljivih zemljin
E	Profil tal, kjer površinska aluvialna plast debeline med okrog 5 in 20 metri in vrednostmi $v_s$ , ki ustrezajo tipoma C in D, leži na najbolj togem materialu z $> 800$ m/s

Od tipa tal so odvisne vrednosti nihajnih časov  $T_B$ ,  $T_C$ , in  $T_D$  in koeficient tal  $S$ .

Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva v Sloveniji				
Tip Tal	S	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,00	0,10	0,4	2,0
B	1,20	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,70	0,10	0,4	2,0

### 3.2 Modul reakcije tal

Ta model temelji na takoimenovanemu modulu reakcije tal  $k$ . Po definiciji je modul reakcije tal enak količniku med obremenitvijo in posedkom tal:

$$k \text{ ( kN/m}^3 \text{ )} = p \text{ ( kN/m}^2 \text{ )} \rho \text{ ( m}^2 \text{ )}$$

**Izkustvena vrednost modula reakcije tal ( po Terzaghiju ) je v zelo gostih homogenih peščeno - prodnih zemljinah, ki predstavljajo hribinsko podlago - 40 000 kN / m<sup>3</sup>**

### 4.0 TERENSKÉ RAZISKAVE

Za ugotovitev sestave tal in karakteristik zemljin so bile junija 2017 na delih trase kabliranja izvedene sondaže do globine 2,4 m, georadarske meritve, penetracijske meritve, terenske raziskave na osnovi enostavnih identifikacijskih preizkusov in primerjava podatkov iz obstoječih geomehanskih elaboratov na tem območju.

Mesta sondiranja so bila določena glede na pričakovano spremembo sestave zemljin; izogibanje lokacijam s podzemnimi komunalnimi vodi in drugo infrastrukturo. Shematski prikaz sestave tal v sondažah je prikazan v prilogah.

#### 4.1 Metode raziskav

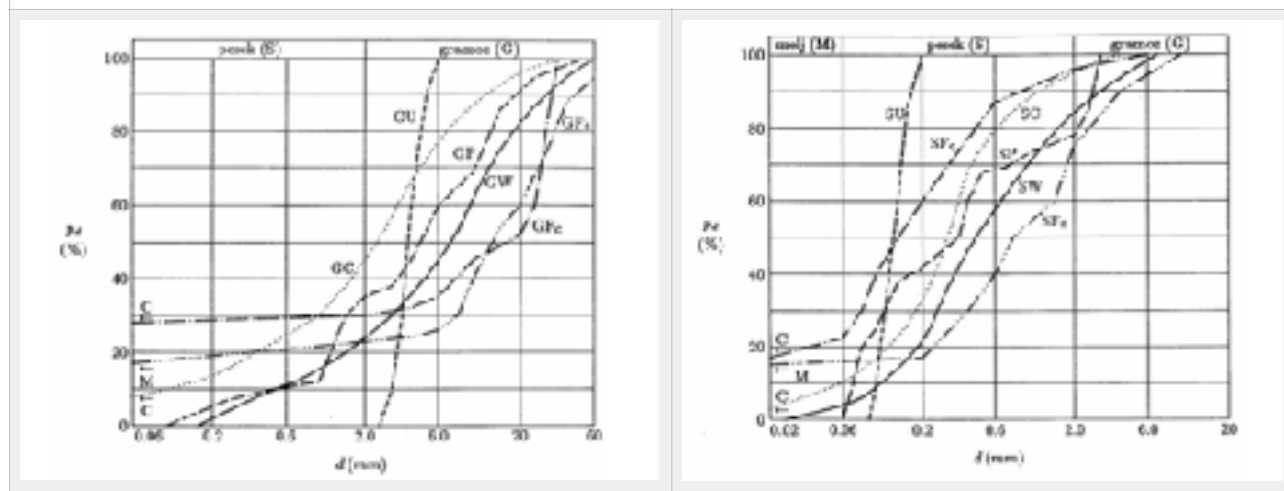
- sestav temeljnih tal je določen na osnovi identifikacije na terenu z vizualno klasifikacijo po A. Cassagrandeju
- konsistenčna stanja zemljin so določena z ročnim penetrometrom - pri konstantni hitrosti deformacij (preizkus enosne tlačne trdnosti prostih vzorcev in strižnega kota zemljin).
- koherentnost zemljin (indeks plastičnosti, meja židkosti) je bila določena glede na njihovo zrnastost (granulometrični sestav), gostoto in konsistenco
- koeficienti vodoprepustnosti so bili iz vrednotenih iz granulacij po USBR metodi. Izračun je bil izveden po enačbi  $k = 0,36 \times d_{20}^{2.3} / 100$  (m/s)

#### 4.1 Okvirne karakteristike zemljin:

Granulometrični sestav kohezivnih zemljin:

- čisti peski ali gramozi (SW, SP, SU in GW, GP, GU), če je  $p_{0.06} < 5 \%$
- dobro granularni gramozi (GW), če je  $1 < C_c < 3$  in  $C_u > 7$
- GC, SC, glinasto vezivo v zmerni količini (5 do 12 %)

Slika 1: Klasifikacija zemljin glede na konsistenco (AC klasifikacija)



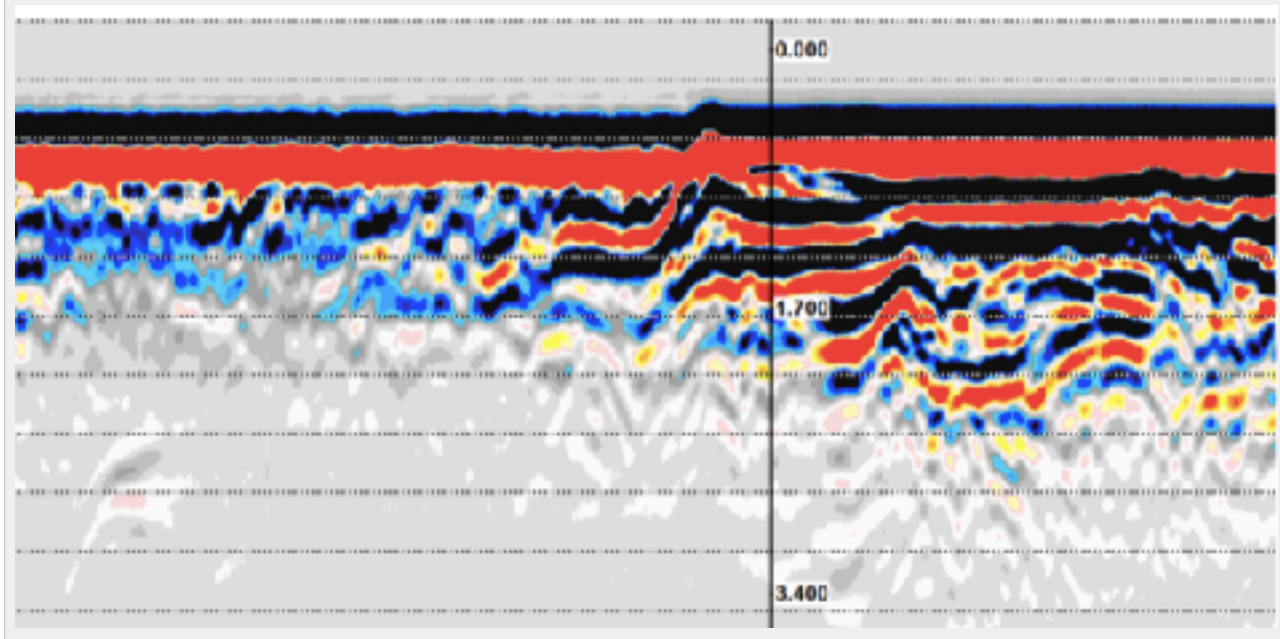
NEKOHEZIVNE ZEMLJINE (pesek, prod, grušč)				
Število udarcev (N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Indeks gostote I <sub>D</sub> (%)	Gostotno stanje	Modul stisljivosti M <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	
			Drobno zrnat in zameljen pesek	Debel pesek, prod, grušč
0 - 3	0 - 15	zelo rahlo	< 5000	< 7500
3 - 8	15 - 35	rahlo	5000 - 7000	7500 - 13500
8 - 25	35 - 65	srednje gosto	7000 - 15500	13500 - 33500
25 - 42	65 - 85	gosto	15500 - 23500	33500 - 53500
42 - 58	85 - 100	zelo gosto	23500 - 30000	53500 - 72500

Indeks gostote I <sub>D</sub> (%)	STRIŽNI KOT (φ )		
	Drobnozrnat material	Srednjezrnat material	Debelozrnat material
40	34° - 36°	36° - 38°	38° - 41°
60	36° - 38°	38° - 41°	41° - 43°
80	39° - 41°	41° - 43°	43° - 44°
100	42° - 43°	43° - 44°	44° - 46°

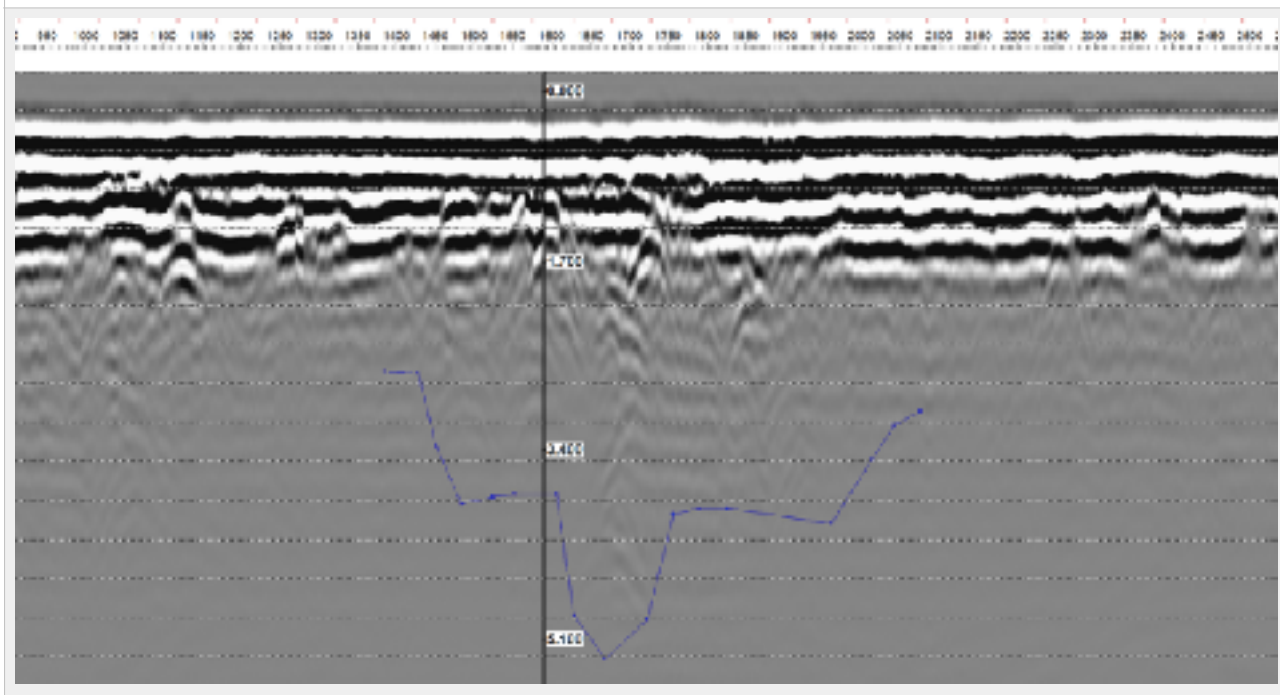
KOHEZIVNE ZEMLJINE (gline, melji)					
Število udarcev (N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Konsistenčno stanje	Indeks konsistence	Indeks gostote I <sub>D</sub> (%)	Enoosna tlačna trdnost q <sub>u</sub> (kN/ m <sup>2</sup> )	Modul stisljivosti M <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
< 2	židko	I <sub>c</sub> < 0 (I <sub>c</sub> = 0)	< 10	< 25	< 500
2 - 4	lahko gnetno	0 < I <sub>c</sub> < 1/3	10 - 20	25 - 50	500 - 1000
4 - 8	srednjegnetno	1/3 < I <sub>c</sub> < 2/3	20 - 35	50 - 100	1000 - 2000
8 - 15	težkognetno	2/3 < I <sub>c</sub> < 1	35 - 45	100 - 200	2000 - 5000
15 - 30	poltrdno	I <sub>c</sub> = 1	45 - 70	200 - 400	5000 - 20000
> 30	trdno	I <sub>c</sub> > 1	> 70	> 400	> 20000

Kategorije vodoprepustnosti	Vrsta zemljine	k (cm/s)
zelo dobra prepustnost	čisti gramozi	100 - 1
dobra prepustnost	debel pesek, peščeni gramozi	1 - 10 <sup>-2</sup>
srednja prepustnost	drobni pesek, peščeni melji	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-3</sup>
slaba prepustnost	melji, zaglinjeni melji	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-5</sup>
zelo slaba prepustnost	gline	> 10 <sup>-6</sup>

Slika 3: Prikaz rezultatov georadsrskih meritev




Slika 4: Prikaz rezultatov georadsrskih meritev



## 5.0 OPIS KARAKTERISTIČNIH PROFILOV TAL


### Umetni nasipi

Pojavljajo se mestoma na celotnem območju. Glede na omejeno število sondaž in raziskav sta njihov obseg in natančnejša sestava težko določljiva. Sestavljajo pretežno zgornje horizonte tal in segajo na različne globine (do - 2,0 m). Sestava je heteorgena: gradbeni ostanki in različni nekoherentni materiali (peščeni in zaglinjeni prodi, grušči) v različnem gostotnem stanju (rahlo do gosto).

AC klasifikacija	SF - CG	
kot notranjega trenja	30°	
prostorninska teža	20 - 22 kN/m <sup>3</sup>	
nosilnost temeljnih tal	50 - 120 kN/m <sup>2</sup>	
koeficient vodoprepustnosti (k)	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-5</sup> cm/s	

### Peski, meljno - peščene gline

Sedimenti v katerih prevladujejo karbonatni peski z vložki glin se nahajajo na pretežnem delu trase kablovoda. Pojavljajo se večinoma v zgornjih horizontih, pod umetnimi nasutji oz. preperinskim slojem. Sestava je heterogena, spreminja se delež glin in peskov.


AC klasifikacija	SU - SF	
kot notranjega trenja	30°	
prostorninska teža	20 - 22 kN/m <sup>3</sup>	
nosilnost temeljnih tal	140 kN/m <sup>2</sup>	
koeficient vodoprepustnosti (k)	10 <sup>-4</sup> cm/s	



### **Prodi, zaglinjeni prodi**


Kvartarni sedimenti v katerih prevladujejo karbonatni peski z vložki glin in prodniki različnih granulacij se nahajajo na pretežnem delu trase pod preperino oz. umetnimi nasutji. Mestoma se menjavajo plasti prodno peščenih zemljin in glinasto meljnih zemljin. Peščene in prodno peščene zemljine z glino in meljem so pretežno srednje gostega sestava, prodno peščene zemljine v globljih struktrah pa gostega sestava.

Geomehanske karakteristike so ugodne. Vodoprepustnost je dobra, ob kartiranju podtalna voda ni bila zaznana.

AC klasifikacija	GF - GP	
kot notranjega trenja	40°	
prostorninska teža	20 - 21 kN/m <sup>3</sup>	
nosilnost temeljnih tal	200 - 250 kN/m <sup>2</sup>	
koeficient vodoprepustnosti (k)	410 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-4</sup> cm/s	
indeks gostote (I <sub>D</sub> )	22,3 - 69,9 %	

### **Konglomerati**

Konglomerati - vezani karbonatni prodi in peski se pojavljajo mestoma na celotnem območju. Do globine sondiranja jih nismo zaznali, lokalno segajo na različne globine.

AC klasifikacija	CG	
kot notranjega trenja	40 - 50°	
prostorninska teža	20 - 22 kN/m <sup>3</sup>	
nosilnost temeljnih tal	300 - 350 kN/m <sup>2</sup>	
koeficient vodoprepustnosti (k)	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-4</sup> cm/s	

Temeljna tla so v zgornjih horizontih - umetni nasipi slabše nosilna, nekonsolidirana in visoko do zmerno deformabilna.

Homogena in dobro nosilna temeljna tla predstavljajo prodno peščene zemljine in konglomerati.

## Usedki temeljnih tal

Usedki temeljnih tal so določeni iz geomehanskih karakteristik zemljin, glede na njihovo deformabilnost in vrednosti modula stisljivosti.

Pri temeljenju v privzetih zemljinah in izkoriščenih dopustnih obremenitvah, je pričakovati absolutne usedke do  $u < 2,0$  cm (ocena na podlagi IG karakteristik hribin in zemljin).

## 6.0 HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

Ob kartiranju in sondažnih razkopih na obravnavanem območju ni bilo opaziti pojavov podtalne vode. Horizont podtalne vode ima prosto gladino in se nahaja v prodno peščenem sloju in glinastih zemljinah s peski.

Nivo podtalne vode se nahaja na večjih globinah ( ocena pod 15 m ).

Ob močnejših padavinah so možna manjša precejjanja in zadrževanja podtalnice na območjih, kjer se nahajajo večji vložki meljno - peščenih glin.

Možni so dotoki vode iz neurejenih kanalizacij, dreniranj.



## 7.0 POGOJI TEMELJENJA

### Globina in sistem temeljenja

Kriterij za določitev globine temeljenja je nivo raščeni tal - peščeni prodi, konglomerat.

Na trasi kabliranja je obvezna odstranitev vseh umetnih nasipov in nadomeščanje s prodno - peščenimi zasipi.

Za izvedbo izkopov kabliranja je predviden vertikalni opažen izkop. Globina vkopa se prilagaja konfiguraciji terena in drugim komunalnim in infrastrukturnim vodom (globina vkopov do cca. 3,0 m - projektna dokumentacija).

Na mestih, kjer se pojavljajo nižje debeline plasti umetnih nasutji in kompaktne zemljine je možen izkop pod naravnim naklonom  $> 50^\circ$  ( inženirsko - geološki nadzor ).

Na mestih, kjer se pojavljajo bolj nekoherentne zemljine se izkop izvaja v krajših kampadah. Na mestih kjer razmere tega ne dopuščajo (širša dimenzija zikova ni možna) se izkopna dela izvajajo z zaščito izkopnih brežin - opazno razpiranje, zagatna stena.

Glede na terenski pregled območja smo določili izkopne kategorije zemljin na odseku (kategorizacija zemljin in kamnin: Dopolnila splošnih in tehničnih pogojev, IV. knjiga, DARS, 2001).

Približno 40 % zemljin uvrsti v 3. kategorijo (vezljive in nevezljive zemljin ) in 60 % v 4. kategorijo ( mehke kamnine ).


## Razvrstitev zemljin in hribin v kategorije

Kat.	Ime kategorije	Opis materiala	Zrnavost	Način izkopa
1	plodna zemljina	na površini, humus in travna ruša s primesmi gramoza, peska, melja in/ali glin		buldožer, bager
2	slabo nosilna zemljina	židke do lahko gnetna konsistence, organske primesi (šota, preperina)	> 15 % $\varnothing < 0,063$ mm	buldožer, bager
3	drobnozrnata (vezljiva) in grobozrnata (nevezljiva) zemljina	srednje gnetne do trdne konsistence (zemljine) ali v zbitem stanju (pesek, grušč)	> 15 % $\varnothing > 0,063$ mm < 30 % $\varnothing > 63$ mm $\varnothing < 300$ mm	buldožer z rijačem bager
4	mehka kamnina	lapor, fliš, skrilavec, tektonsko pretrti peščenjak, dolomit	> 30 % $\varnothing > 63$ mm $\varnothing > 300$ mm $\varnothing < 600$ mm	bager s konico, rezkanje,
5	trda kamnina	kompaktni dolomit ali material z nad 50 % kosov $\varnothing > 600$ mm, ki jih je treba minirati	raščena hribina $\varnothing > 600$ mm	miniranje, rezkanje

## 8.0 OPIS TRASE KABLIRANJA PO POSAMEZNIH ODSEKIH

### Prvi odsek:

Začetek kabliranja (dolžina: 93,4 m), KJ 1 do KJ2 (dolžina 254,73 m), globina izkopa 2,3 do 2,8 m (povprečje -2,5 m). Potek kabliranja preko utrjenih površin (cestišča). V zgornjih plasteh prevladujejo umetni nasipi - peski, grušči in meljno peščene glin. V spodnjih plasteh se pojavljajo zaglinjeni prodi.


INŽENIRSKO - GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE							
		Začetek kabliranja - KJ 1 - KJ 2					
GEOMEHANIKA							
	hribine, zemljine	oznaka	nosilnost	strižni kot	gostota	modul stisljivosti	koeficient vodoprepust.
		USCS	kN/m²	φ	kN / m²	Mv (MN/m²)	k (cm / s)
zgornja plast	umetna nasutja	SF - ML	150	30	22	30	10 <sup>-4</sup>
temeljna tla	zaglinjeni prodi	GW - ML	200	50	21	30	10 <sup>-4</sup>
GEODINAMIKA			HIDROLOGIJA		IZKOP		
Stabilnost	Erozija	Tektonika	Podtalnica	Meteorne vode	Zaščita izkopne brežine		Kat. hribine
stabilno	srednja	da	ne	izcejanje	naravni naklon, kampada		3.

## Drugi odsek:

KJ 2 - KJ 3, dolžina odseka 280 m, približna globina izkopa 1,7 - 2,3 m (povprečje 2,0 m). Potek kabliranja preko utrjenih površin (cestišča). V zgornjih plasteh prevladujejo umetni nasipi - peski, grušči in meljno peščene glin. V spodnjih plasteh se pojavljajo peski in prodi z vložki meljno - peščenih glin. Z globino se delež glin zmanjšuje.


## Opomba:

Jašek KJ 3 z brežinami izkopa posega v brežino nasutja železniške proge - potrebna je izvedba dodatne zaščite izkopnih brežin, izkop vpliva na stabilnost brežin železniške proge.

INŽENIRSKO - GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE							
		KJ 2 - KJ 3					
GEOMEHANIKA							
	hribine, zemljine	oznaka	nosilnost	strižni kot	gostota	modul stisljivosti	koeficient vodoprepust.
		USCS	kN/m <sup>2</sup>	φ	kN / m <sup>2</sup>	Mv (MN/m <sup>2</sup> )	k (cm / s)
zgornja plast	umetna nasutja	SF - ML	160	35	21	30	10 <sup>-4</sup>
temeljna tla	peski, prodi, meljne glin	SF - ML	180	45	22	30	10 <sup>-4</sup>
GEODINAMIKA			HIDROLOGIJA		IZKOP		
Stabilnost	Erozija	Tektonika	Podtalnica	Meteorne vode	Zaščita izkopne brežine		Kat. hribine
stabilno	srednja	da	ne	izcejanje	naravni naklon, kampade KJ 3 - zagatna stena		4.


## Tretji odsek:

KJ 3 - KJ 4, dolžina odseka 237,7 m, približna globina izkopov 1,4 m - 2,5 m (v povprečju 2,0 m). Potek kabliranja po makedamski površini, sloji zemljin niso enakomerno komprimirani. Prevladujejo zaglinjeni prodi, mestoma peski, v zgornjih plasteh se pojavlja večji delež meljno - peščenih glin.




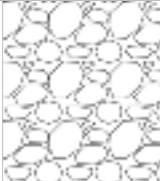
		KJ 3 - KJ 4					
GEOMEHANIKA							
	hribine, zemljine	oznaka	nosilnost	strižni kot	gostota	modul stisljivosti	koeficient vodoprepust.
		USCS	kN/m <sup>2</sup>	φ	kN / m <sup>2</sup>	Mv (MN/m <sup>2</sup> )	k (cm / s)
zgornja plast	peski, prodi, meljne gline	SF - ML	150	35	21	30	10 <sup>-4</sup>
temeljna tla	zaglinjeni prodi	GW - ML	190	45	22	30	10 <sup>-4</sup>
GEODINAMIKA			HIDROLOGIJA		IZKOP		
Stabilnost	Erozija	Tektonika	Podtalnica	Meteorne vode	Zaščita izkopne brežine		Kat. hribine
stabilno	srednja	da	ne	izcejanje	naravni naklon, kampade		4.


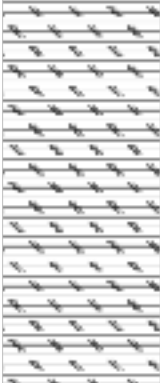
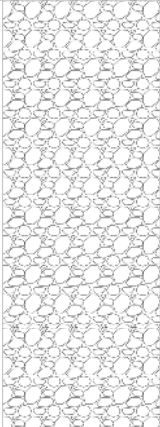
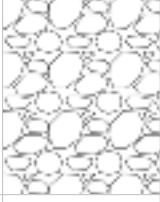
#### Četrty odsek:



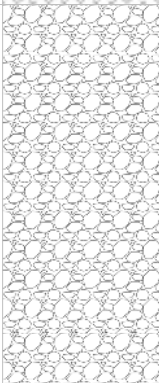
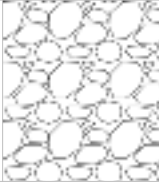
KJ 4 - KJ 7, dolžina odseka 720 m, izvedba z vodenim vrtanjem (različne globine). V zgornjih plasteh se pojavljajo umetna nasutja - peski, grušči z vložki meljno - peščenih glin, v spodnjih plasteh prevladujejo prodi in peski.


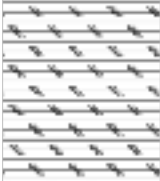


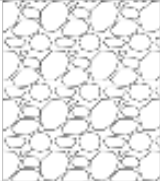
INŽENIRSKO - GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE							
		KJ 3 - KJ 4					
GEOMEHANIKA							
	hribine, zemljine	oznaka	nosilnost	strižni kot	gostota	modul stisljivosti	koeficient vodoprepust.
		USCS	kN/m <sup>2</sup>	φ	kN / m <sup>2</sup>	Mv (MN/m <sup>2</sup> )	k (cm / s)
zgornja plast	peski, grušči meljne gline	SF - ML	150	35	21	30	10 <sup>-4</sup>
temeljna tla	peski, prodi	GW - SF	200	45	22	30	10 <sup>-4</sup>
GEODINAMIKA			HIDROLOGIJA		IZKOP		
Stabilnost	Erozija	Tektonika	Podtalnica	Meteorne vode	Zaščita izkopne brežine		Kat. hribine
stabilno	srednja	da	ne	izcejanje	podvrtavanje		3.

## 9.0 SONDAŽE : SESTAVA TAL - GEOMEHANSKE RAZISKAVE

POPIS SESTAVE TAL - geomehanske raziskave										
Sonda: <b>S1</b> Globina: 2,4 m Vrsta: sondaža Namen: geomehanika Kota vrha: Datum vrtanja: 26. 6. 2017				DN: List: 1 x: y: z: Merilo: 1 : 20						Objekt
N A Č I N	G L O B I N A	KLASIFIKACIJA		S T A R O S T	LITOLOŠKI OPIS	V Z O R E C	TERENSKÉ RAZISKAVE			OPOMBE
		GEOLOŠKI PROFIL	AC				N/P		T	
1.	0		SF - CH	n a s i p	umetni nasipi  SF (50 %) CH (50 %)	o				> odstranitev umetnih zasipov - nadomeščanje gruščnati zasipi
2.	0		SF - ML	a l u v i j	zaglinjeni pešчени prodi, grušči  SF (60 %) ML (40 %)					> vzorec 1,5 m
2.	4		GW -ML		zaglinjeni prodi  GW (70 %) ML (30 %)	o				> globina kabliranja > ustrezne geom. karakteristike > $k = 10^{-3}$ m/s
Nivo podtalnice: /			Kota: /			Datum:				

POPIS SESTAVE TAL - geomehanske raziskave										
<b>Sonda: S2</b> Globina: 2,3 m Vrsta: sondaža Namen: geomehanika Kota vrha: Datum vrtanja: 26. 6. 2017				DN: List: 1 x: y: z: Merilo: 1 : 20					Objekt	
N A Č I N	G L O B I N A	KLASIFIKACIJA		S T A R O S T	LITOLOŠKI OPIS	V Z O R E C	TERENSKÉ RAZISKAVE			OPOMBE
		GEOLOŠKI PROFIL	AC				N/P		T	
1.	0		ML -GW	a l u v i j	meljne glin, prodi  ML (20 %) GW (80 %)	o				> odstranitev umetnih zasipov - nadomeščanje gruščnati zasipi
2.	0		SF - ML	a l u v i j	zaglinjeni pešчени prodi, peski  SF (60 %) ML (40 %)	o				> vzorec 1.1 m > SF ptd. kons. > w = 27,7 % > lc = 1,0
2.	3		GW -ML		zaglinjeni prodi  GW (50 %) ML (50 %)					> globina kabliranja > ustrezne geom. karakteristike > k = 10 <sup>-3</sup> m/s
Nivo podtalnice /		Kota /				Datum /				

POPIS SESTAVE TAL - geomehanske raziskave									
Sonda: <b>S3</b> Globina: 2,4 m Vrsta: sondaža Namen: geomehanika Kota vrha: Datum vrtanja: 26. 6. 2017					DN: List: 1 x: y: z: Merilo: 1 : 20		Objekt		
N A Č I N	G L O B I N A	KLASIFIKACIJA		S T A R O S T	LITOLOŠKI OPIS	V Z O R E C	TERENSKÉ RAZISKAVE		OPOMBE
		GEOLOŠKI PROFIL	AC				N/P	T	
1. 0		SF - CH	n a s i p	umetni nasipi  SF (50 %) CH (50 %)	o				> odstranitev umetnih zasipov - nadomeščanje gruščnati zasipi
2. 0		SF - ML	a l u v i j	zaglinjeni peščeni prodi, grušči  SF (60 %) ML (40 %)					> vzorec 1,2 m
2. 4		GW -ML		zaglinjeni prodi  GW (70 %) ML (30 %)	o				> globina kabliranja > ustrezne geom. karakteristike > k = 10 <sup>-3</sup> m/s
Nivo podtalnice: /		Kota: /				Datum:			

POPIS SESTAVE TAL - geomehanske raziskave										
<b>Sonda: S4</b> Globina: 2,3 m Vrsta: sondaža Namen: geomehanika Kota vrha: Datum vrtanja: 26. 6. 2017				DN: List: 1 x: y: z: Merilo: 1 : 20				Objekt		
N A Č I N	G L O B I N A	KLASIFIKACIJA		S T A R O S T	LITOLOŠKI OPIS	V Z O R E C	TERENSKÉ RAZISKAVE			OPOMBE
		GEOLOŠKI PROFIL	AC				N/P		T	
	0.5		SF - ML	n a s i p	umetni nasipi  SF (50 %) ML (50 %)	o				> odstranitev umetnih zasipov - nadomeščanje gruščnati zasipi
	1.2		SC - SU	a l u v i j	peski, peščene gline  SC (60 %) SU (40 %)	o				> vzorec 1.0 m > SF ptd. kons. > w = 24,7 % > lc = 1,3
	2.0		SF - ML		zaglinjeni peščeni prodi, grušči  SF (60 %) ML (40 %)					
	2.4		GW -ML		zaglinjeni prodi  GW (70 %) ML (30 %)					> globina kabliranja > ustrezne geom. karakteristike > k = 10 <sup>-3</sup> m/s
Nivo podtalnice /		Kota /			Datum /					



Slika 2: Prikaz lokacij sondiranja



## 10.0 MERITVE TOPLOTNIH UPORNOSTI ZEMLJIN IN HRIBIN

Vrednosti toplotnih upornosti na trasi so podane s primerjalnimi merskimi vrednostmi, že izvedenih merjenj toplotnih upornosti v podobnih zemljinah (predhodno inženirsko - geološko poročilo, Geomap 13/3/2016), hribinah in in - situ termografskih meritev izvedenih vzdolž trase.

Meritve toplotnih upornosti se nanašajo na termično okolje do globine 2,5 m, saj večje globine presegajo ( območja globljih podvrtavanj ) priporočila polaganja VN kablov ( IEC 60287 , WG 7 ).

Značilnosti okolja meritev

\*Vrednosti toplotnih upornosti variirajo v odvisnosti od vlage in gostote materialov

Privzeta temperatura zraka	Temperatura tal (globina 1 - 2 m)	Vlaga v tleh
25 °C	17 °C	35%

## Meritve temperature zemljin na različnih globinah

Na trasi projektiranega VN kablovoda so bile izvedene enkratne in - situ temperaturne meritve tal - meritve temperature in toplotne upornosti tal (v času terenskih raziskav, junij 2017) na različnih mestih trase kablovoda, do globine 2,0 m.

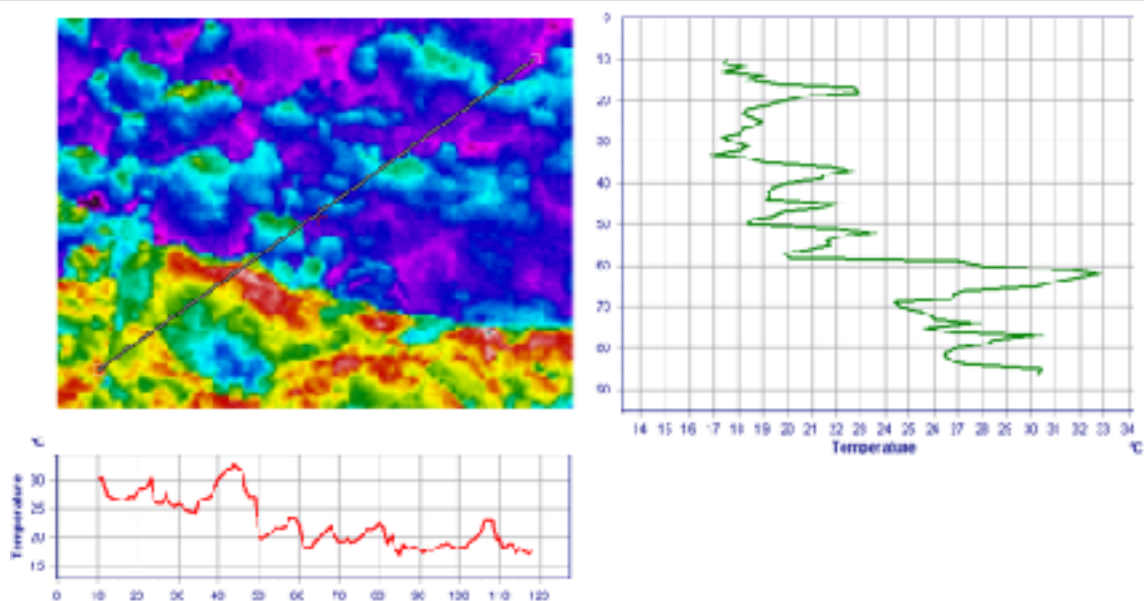
Izris lokacije meritev in rezultati so prikazani v prilogah.

Izmerjene temperature so varirale v odvisnosti od zemljinske in hribinske sestave, ter položaja meritvenih mest.

Za potrebe projektiranja primerih globin je potrebno upoštevati temperaturna nihanja na različnih globinah (vkopi, podvrtavanja) skozi vse leto - meritve v daljših časovnih intervalih.

Vrednosti toplotnih upornosti varirajo v odvisnosti od temperature, vlage in gostote materialov. Pod vplivom višje zunanje temperature, posledično temperature zemljin, so toplotne upornosti višje.

Slika 5: Prikaz nihanja temperature tal v odvisnosti od globine



## Izračun tal temperature na različnih globinah

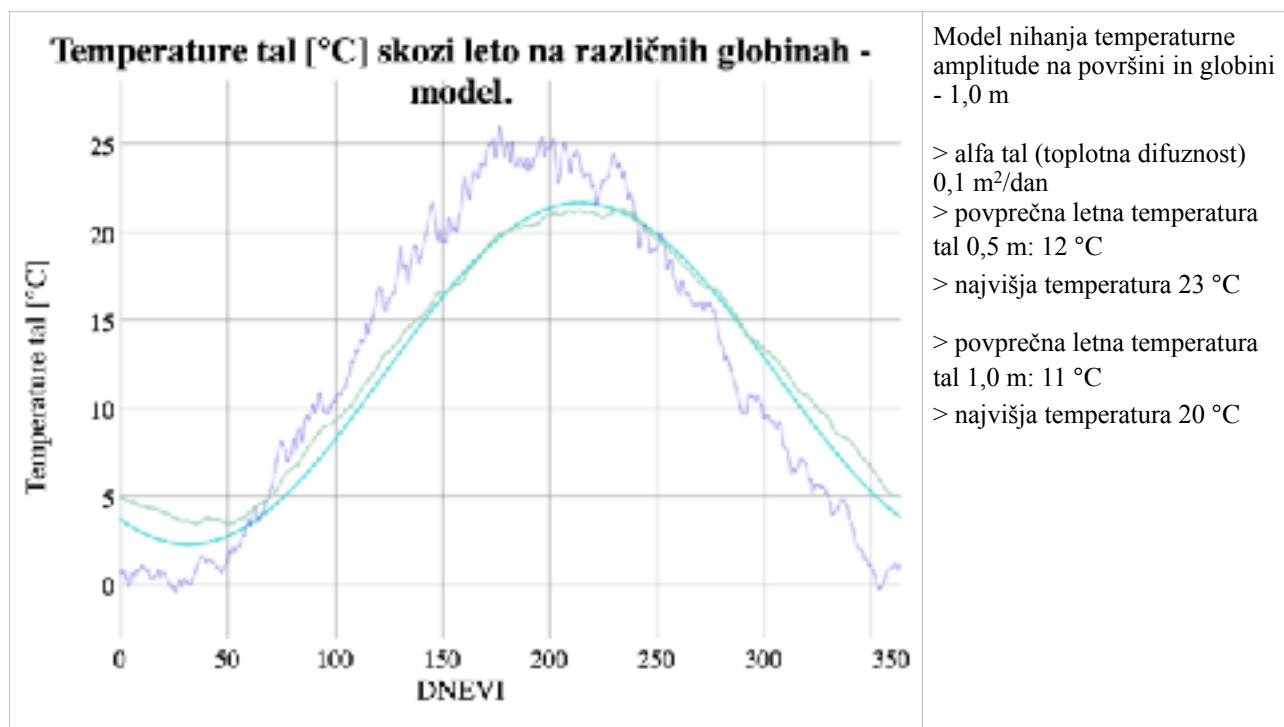
Za določitev pričakovanih temperaturnih razmer smo uporabili Kasudovo enačbo nihanja temperature tal na različnih globinah skozi vse leto v odvisnosti z toplotno difuznostjo.

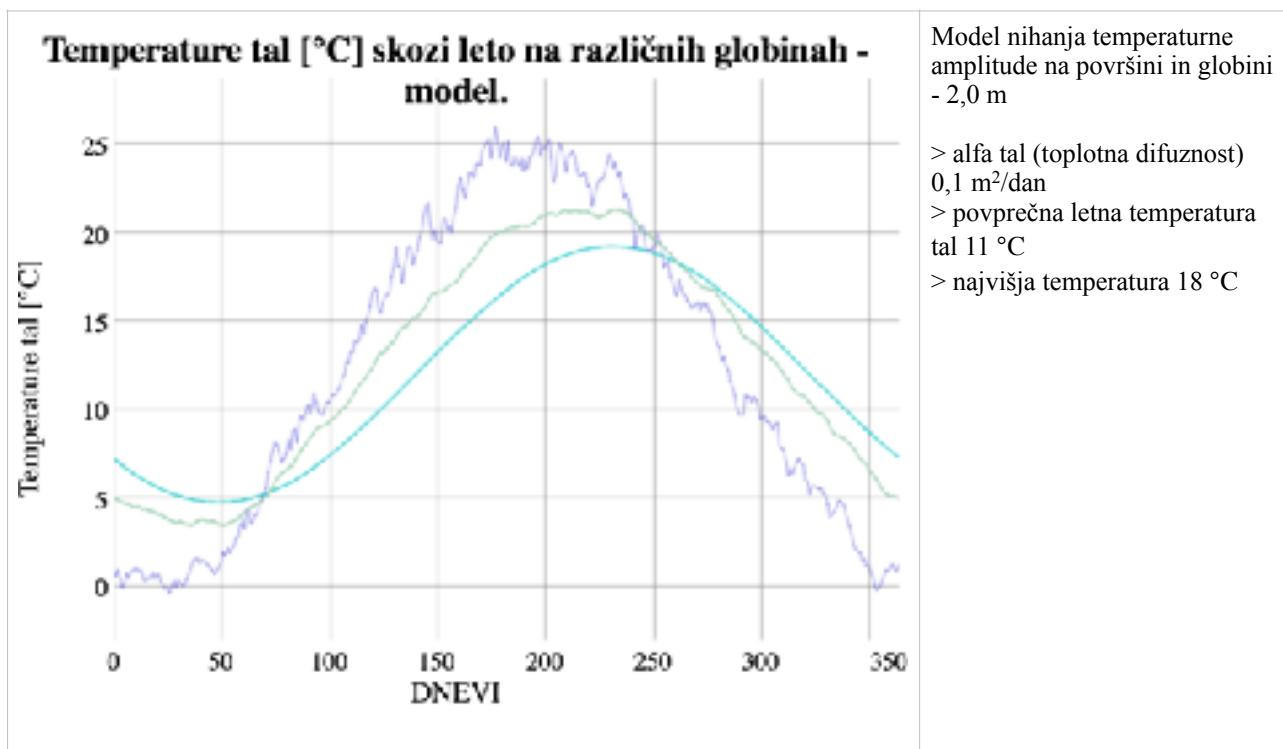
$$T = T_{mean} - T_{amp} * \exp\left(-Z * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}}\right) * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * \left[t_{year} - t_{shift} - \frac{Z}{2} * \sqrt{\frac{365}{\pi * \alpha}}\right]\right)$$

## Rezultati meritev - model

V tabeli so prikazane povprečne vrednosti toplotnih upornosti v karakterističnih profilih tal.

P	Sestava	Globina	Temperatura	Vlaga	Toplotna upornost
P1	umetni nasipi	0,7 m	18 °C	40%	2,5 K°m/W
P2	peski, zaglinjeni prodi	1,8 m	16 °C	50%	2,1 K°m/W
P3	peščene gline, peski	1,2 m	17 °C	60%	1,8 K°m/W
P4	meljne gline, gruščci	2,2 m	16 °C	60%	1,6 K°m/W



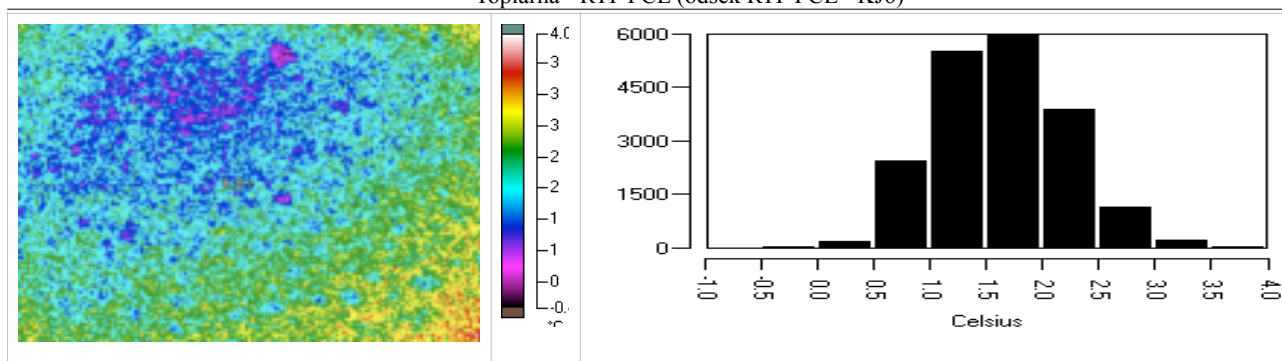


### Geotermalne značilnosti karakterističnih profilov tal - globina kabliranja

Rezultati meritev toplotne upornosti posameznih slojev kvartarnih sedimentov so prikazani s termografskimi slikami in diagrami. Podana je povprečna vrednost toplotne upornosti za vsak karakteristični profil tal. Vrednost toplotnih upornosti se nanašajo na suhe zemljine in hribine z naravno vlago in gostoto (konsolidacija sloja) na globinah 1,5 do 2,4 m.

### Peski, meljno - peščene gline

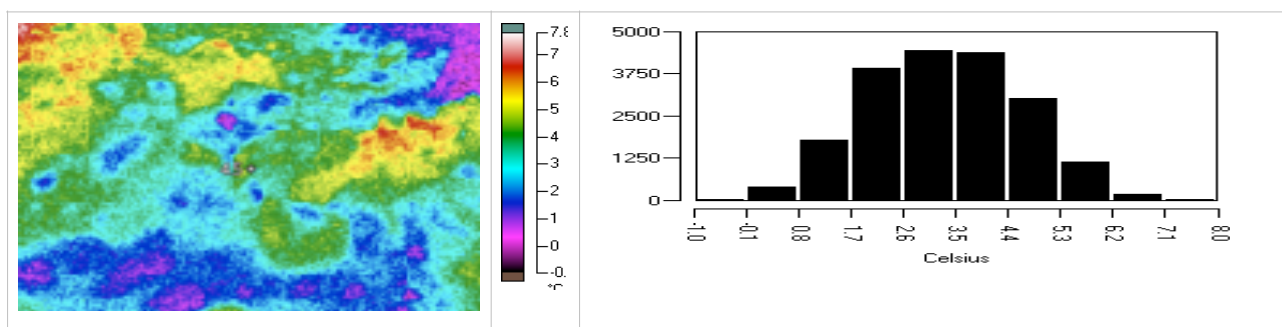
Zgornji horizont kvartarnih sedimentov, nahajajo se na pretežnem delu trase kabliranja pod slojem umentnih nasipov. Višji delež glin izboljšuje toplotno okolje sloja (zadrževanje naravne vlažnosti - večja toplotna prevodnost).



TOPLOTNA UPORNOST (K°m/W)	2,4
---------------------------	-----

### Prodi, zaglinjeni prodi

Zaglinjeni prodi različnih granulacij se pojavljajo pretežno na globinah pod 2,0 m. Geomehanske karakteristike sloja za izvedbo kabliranja so ugodne. Temperaturno okolje se spreminja glede na granulacijo prodiv in delež meljno - peščenih glin (spreminjanje deleža zračnih komor).

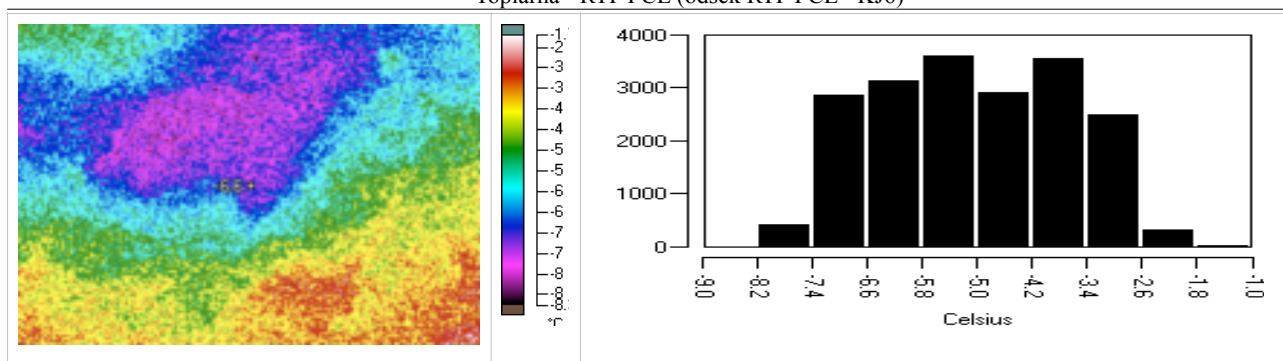


TOPLOTNA UPORNOST (K°m/W)	2,6
---------------------------	-----

### Konglomerati

Na trasi kablijanja se pojavljajo lokalno na različnih globinah. Sestavljajo jih vezani karbonatni prodi in peski. Temperaturno okolje sloja je dokaj konstantno, brez primesi meljno - peščenih glin in zračnih komor.





<b>TOPLOTNA UPORNOST (<math>K^{\circ}m/W</math>)</b>	<b>2,2</b>
--	------------

Geotermalne razmere so na območju trase VN kablovoda razmeroma neugodne (kvartarni sedimenti heterogene sestave).

Vrednosti toplotnih upornosti talnih horizontov se v povprečju gibljejo nad  $2,2 K^{\circ}m/W$  in so precej višje od priporočljivih vrenosti proizvajalcev VN kablov (CIGRE - WG 21 - pod  $1,0 K^{\circ}m/W$ ).

Obvezna je izvedba izboljšanja geotermalnih lastnosti okolja kablovoda z geotermalnimi zasipi.

## 11.0 PREDLOGI IZBOLJŠANJA TOPLOTNIH PREVODNOSTI ZEMLJIN

Toplotne upornosti zemljin izmerjenih na odsekih (mesta sondaž) projektirane trase kablovoda so bile v povprečju med  $2,2 - 2,6 K^{\circ}m/W$ , kar je nad dovoljeno mejo priporočil proizvajalcev VN kablov =  $1,0 K^{\circ}m/W$ .

Glede na predvideno tehnologijo izvedbe polaganja kablovoda (odprti vkopi, podvrtavanje) in izvedbe same notranje zaščite kablov (PEHD cevi  $\varnothing 180$  mm, zaščitne betonske plošče, betonske cevi) se bo toplotno okolje kablovoda še poslabšalo.


Material	Toplotna upornost ( $K^{\circ}m/W$ )
prod, peski, delno peščene gline	2,2 - 2,6
PEHD, PVC cevi	3,8 - 4,5
betonske cevi ( beton )	2,0 - 2,5

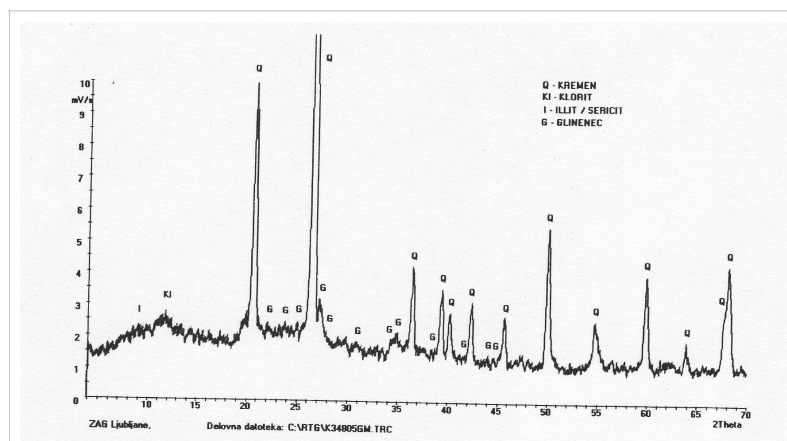
Za izboljšanje toplotnih razmer okolja predlagamo izvedbo obsutja kablovoda z geotermalnimi (TBF) zasipi (silikatni peski in glinovci).

Predlog spodaj opisanih zasipnih materialov ustreza geomehanskim in geotermalnim zahtevam IEC 60287, CIGRE - WG 7.

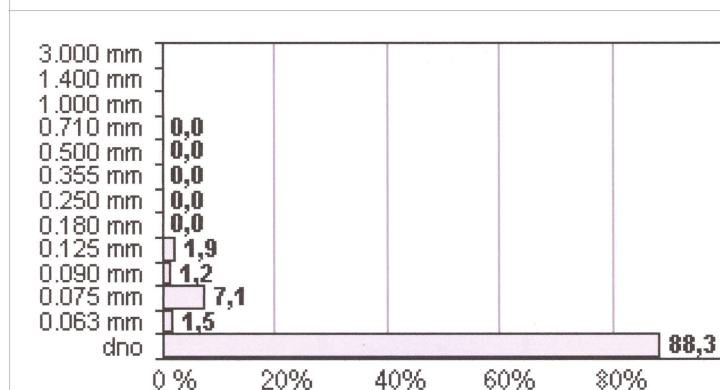
## 11.1 Karakteristike zasipnih materialov

### Primer: karakteristike silikatnih glin - "posteljica" (MKG 8)

AC klasifikacija	ML	
kot notranjega trenja	30 - 40°	
prostorninska teža	19 - 20 kN/m <sup>3</sup>	
koeficient vodoprepustnosti (k)	10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-6</sup> cm/s	
toplotna upornost (K <sup>o</sup> m/W)	0,5 - 0,7	



- Kemijska sestava silikatnih zmesi (kremenčevi glinovci)

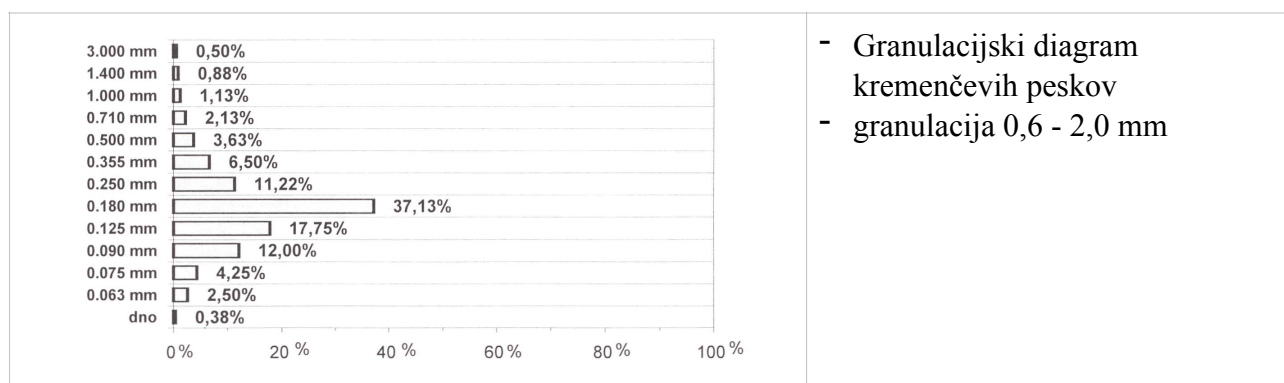


- Granulacijski diagram kremenčevih glinavcev

- granulacija 0,002 - 0,06 mm

## Primer: karakteristike silikatnih peskov - zasip (MP 6)

AC klasifikacija	ML - SFc	
kot notranjega trenja	30 - 40°	
prostorninska teža	19 - 21 kN/m <sup>3</sup>	
koeficient vodoprepustnosti (k)	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-5</sup> cm/s	
toplotna upornost (K°m/W)	0,7 - 1,0	



## 11.2 Polaganje silikatnih zasipov

- izvedba vkopov na različnih globinah (cca. 3,0 m, prilagajanje komunalni infrastrukturi) s primerno zaščito vkopnih brežin
- na odsekih kablovoda s predvidenimi vkopi predlagamo uporabo silikatnih zasipov za izboljšanje toplotnih in granulacijskih razmer
- na trasi kablovoda ima sestava zemljin slabe granulacijske razmere, pričakovati je izpiranje zasipnih materialov, predlog zaščite z vodoprepusnimi geotekstili
- pod kablovodom izvedba tanjše plasti silikatnih zasipov - posteljice - debeline 15 - 20 cm, granulacija silikatnega materiala 1 - 3 mm. S tem zmanjšajo negativni vplivi heterogene sestave zemljin (zaglinjeni prodi), ki lahko povzročijo poškodbe kablanskega plašča (abrazivnost delcev - stalni manjši premiki delcev posebno pod voziščnimi konstrukcijami, prisotnost podtalne vode).
- obsutje kablovoda - debelina se določa ob sprotne inženirsko - geološkem nadzoru s termografskimi meritvami - predlagana debelina 20 - 30 cm.
- predlog uporabe silikatnih peskov (granulacija 1 - 3 mm) z deležem glin (granulacija do 0,06 mm)



### **Predlog: zaščita silikatnih zasipov**

Granulacijske lastnosti kvartarnih sedimentov - zaglijenih prodov, peskov so slabe (heterogena sestava: velikostni red granulacij, različen delež meljno - peščenih glin).

Na območju kablovoda se pojavljajo dotoki meteorne vode (neurejena dreniranja meteornih in odpadnih voda z objektov, drugih utrjenih površin), kar izrazito vpliva na spiranje zasipov v nižje plasti hribine.

Predlagamo uporabo geotekstilov na delih odprtih vkopov - polaganje direktno na hribino (pod slojem kremenčevih zasipov - posteljice kablovoda).

#### Karakteristike geotekstila (primer Polyfelt TS 50) :

Natezna trdnost (vzdolžno)	14 - 18 kN/m
Natezna trdnost (prečno)	14 - 18 kN/m
Raztezek pri max. obremenitvi (vzdolžno)	100%
Raztezek pri max. obremenitvi (prečno)	100%
Odpornost na prebod	2300 N
Dinamični prebod (premer preboda)	22 mm
Vodoprepustnost skozi ravnino	90 l/m <sup>2</sup> s
Karakteristična velikost por	100 µm

Podane geomehanske in termalne karakteristike zmesi kremenčevih glin / meljev (MKG 8) in peskov (MP 6) dosegajo priporočljive vrednosti, ki jih določajo mednarodni standardi (TBF zasipi - CIGRE - WG 21) in proizvajalci VN kablov.

Zmesi kremenčevih glin in peskov imajo ustrezne geomehanske karakteristike (strižni kot, dobra oprijemljivost) in so slabo vodoprepustne, kar ob ustrezni izvedbi (pravilni utrditvi v slojih) preprečuje neposredno spiranje delcev ob pronicanju podtalne vode.

## 12.0 ZAKLJUČKI Z INŽENIRSKO - GEOLOŠKIMI PREDLOGI

Tasa VN kablovoda poteka na območju kvartarnih karbonatnih sedimentov heterogene sestave - različne granulacijske sestave, razmerja med prodrom, peski in meljno - peščenimi glinami. V zgornjih plasteh na nekaterih delih prevladujejo umetna nasutja (potrebna odstranitev in nadomeščanje z enakomernim gruščnatim materialom).

Zaradi omejenega števila raziskav natančna sestava temeljnih tal (debelina slojev umetnih nasutij, obseg konglomeratov) ni določena.

Geomehanske karakteristike temeljnih tal so na predvideni trasi kablovoda ustrezne. Toplotne razmere okolja kablovoda so slabe.

Toplotne upornosti zemljin izmerjenih na odseku projektirane trase kablovoda so bile v povprečju med 2,2 - 2,6 K<sup>o</sup>m/W, kar je nad dovoljeno mejo proizvajalcev VN kablov - 1,0 K<sup>o</sup>m/W in priporočili IEC 60287, CIGRE WG 7.

Opisi termografskih razmer se ne nanašajo na VN kabel položen v PEHD cevi in poalganja na globinah pod 3 m - območja izven priporočil - IEC 60287, CIGRE - WG 7.

Zaradi zahtevnih geotermalnih razmer predlagamo inženirsko - geološki nadzor pri izvedbi vkopov, podvrtavanju in pri vgradnji termalnih zasipov (določitev debeline zasipnih materialov glede na toplotne razmere okolja - odprti vkopi omogočajo večje število termografskih meritev).

Obvezna je izvedba meritev toplotnih upornosti zasipnih materialov (termografske meritve) po vgraditvi kablovoda.

## PRILOGA: REZULTATI MERITEV TOPLOTNIH UPORNOSTI ZEMLJIN

Prikaz lokacij termografskih meritev

Območja in - situ meritev toplotnih upornosti in povprečne vrednosti toplotnih upornosti na posameznem območju meritve



Meritev	Sestava	Temperatura	Vlaga	Toplotna upornost
M1	umetni nasipi	18 °C	40%	2,5 K°m/W
M2	peski, zaglinjeni prodi	16 °C	50%	2,1 K°m/W
M3	peščene gline, peski	17 °C	60%	1,8 K°m/W
M4	meljne gline, grušči	16 °C	60%	1,6 K°m/W
M5	prodi, meljne gline	19 °C	50%	2,1 K°m/W
M6	peščene gline, peski	17 °C	60%	2,0 K°m/W
M7	peski, meljne gline	18 °C	60%	1,8 K°m/W
M8	meljne gline, umetni nasipi	18 °C	40%	1,9 K°m/W

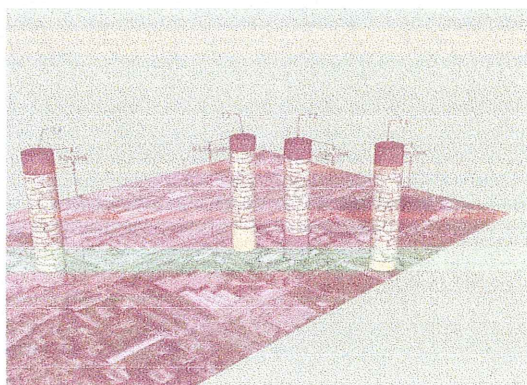


GEOMAP - inženirska geologija, geološke baze  
E – mail : [info@geo.si](mailto:info@geo.si)

D. N. 10 - 12 / 11

Naročnik: Elektro Ljubljana d.d.

## Inženirsko - geološko poročilo o geomehanskih pogojih polaganja podzemnega kabla 110 kV RTP Toplarna – RTP PCL



Datum: december 2011

## Vsebina

Tekstualni del	Stran
1.0 Splošno	3
2.0 Splošne geomorfološko- geološke razmere	3
3.0 Inženirsko -- geološki opis posameznih enot	5
4.0 Tektonika	7
5.0 Hidrogeološke razmere	7
6.0 Pogoji temeljenja	8
7.0 Geomehanske karakteristike zasipov	8
8.0 Zaključek z inženirsko -- geološkimi pogoji izvedbe	9
9.0 Priloga : Inženirsko -- geološke karakteristike	10 - 12



# Inženirsko - geološko poročilo o geomehanskih pogojih polaganja podzemnega kabla 110 kV RTP Toplarna – RTP PCL

## 1.0 Splošno

Po naročilu Elektro Ljubljana d.d. smo opravili v mesecu oktobru 2011, na območju projektirane kableske trase 110 kV – RTP Toplarna – RTP PCL opravili geološko - geotehnične raziskave, z namenom ugotoviti geomehanske karakteristike zemljin in inženirsko – geološke razmere, ki bodo služile pri načrtovanju projekta.

Geološko - geomehanske raziskave s termografskimi meritvami so obsegale :

1. inženirsko – geološka prospekcijska terena
2. izvedbo in - situ geomehanskih meritev ( sondaže )
3. penetracijske meritve, termografija
4. pregled hidrogeoloških razmer v širši okolici
5. pregled obstoječih geoloških in geomehanskih podatkov iz katastrov ( poročila, karte ) v širši okolici

Geomehanske karakteristike zemljin in hribin v poročilu so določene ob terenskih meritvah in iz laboratorijskih poročil raziskav na večjih objektih v okolici obravnavanega območja.

## 2.0 Splošne geomorfološko - geološke razmere



Obravnavano območje leži na območju pretežno kvartarnih sedimentov, kjer prevladujejo v sestavi prodi, peski z vložki meljno – peščenih glin in v zgornjem delu umetni nasipi, katerih razprostranjenost in debeline je težko ugotoviti.

Območje je ravninsko, preprejeno s komunalno infrastrukturo, prometnicami in objekti.

Trasa podzemnega 110 kV visokonapetostnega kabla poteka od RTP Toplarna do RTP PCL vzdolž obrobja večjih prometnic ( Kajuhova c., žel. proga, Zelena jama, Šmartinska c.).

Na pretežnem delu trase se v zgornjem horizontu nahajajo umetni nasipi, ponekod do globine 2 m, sestavljeni iz različnih nasutij, gradbenih materialov in odpadkov.

Debelino le teh je bilo z omejenim številom raziskav in problematiki lastništva težko določiti.

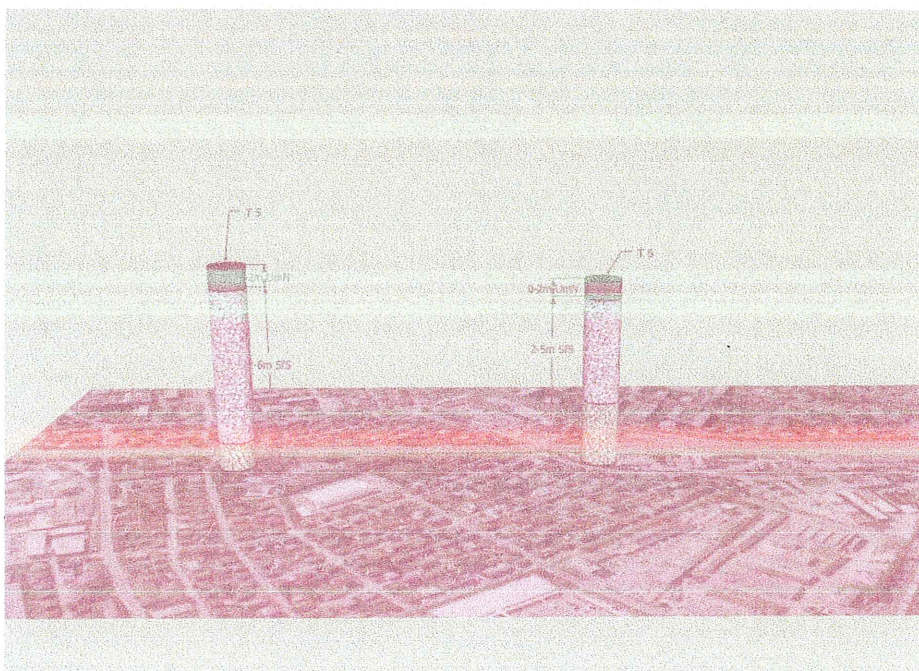
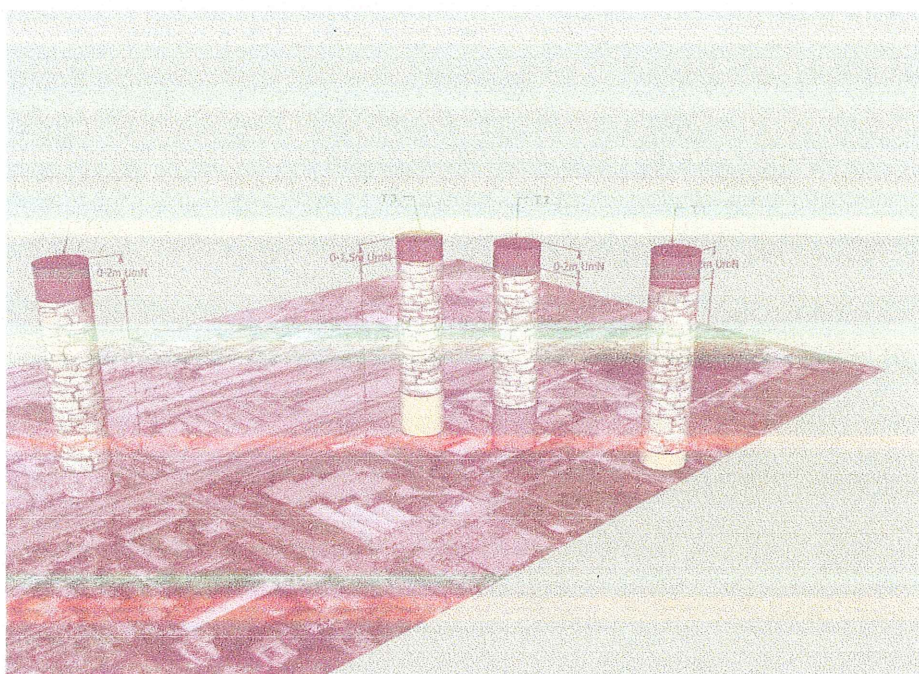


Preperino sestavljajo meljno – peščene gline z vložki peska in primarnih hribin..

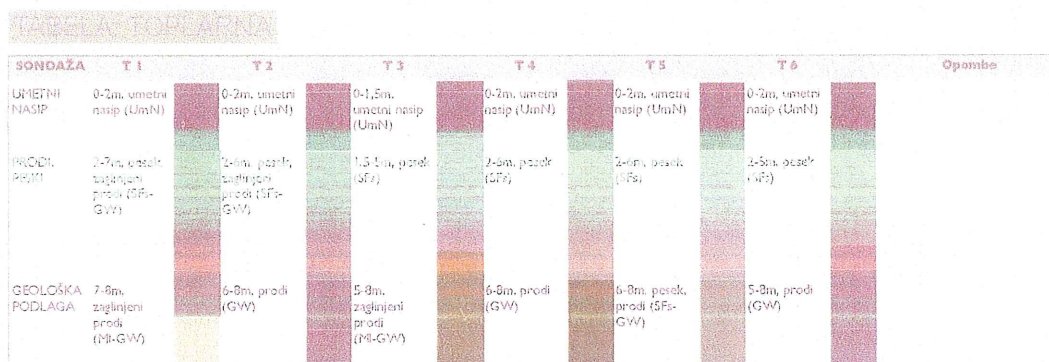
V hribinski kvartarni osnovi prevladujejo prodniki, peski, meljno - peščene gline, ponekod konglomerati.

Na trasi ni pričakovati dotokov podtalnice, razen ponekod v preperinskem sloju, kjer prevladujejo meljne gline ob močnih padavinah. Možni so dotoki vode iz neurejenih kanalizacij, drenažanj.

Tektonika je neizrazita, prav tako geodinamični pojavi.







Sestava tal in mesta sondaž

### 3.0 Inženirsko- geološki opis posameznih geoloških enot z geomehanskimi karakteristikami

Geomehanske karakteristike zemljin in hribin so pridobljene z inženirsko – geološkim kartiranjem, pregledom zemljin s pomočjo penetracij v razkopih, sondaž ter primerjavo podatkov iz obstoječih geomehanskih poročil na tem območju.

Po podatkih penetracijskih preiskav je vrhnji sloj nekoherentnih zemljin srednje gostega sestava, ki se na posameznih območjih spremeni v rahlo gosto, kar je posledica razmočenosti ob močnejših padavinah. Gostota zemljin z globino narašča.

Debelozrnate zemlj.		Koherentne zemljine			Šota
gramozi	peski	melji	organske	gline	
GW	SW	ML	OL	CL	P <sub>t</sub>
GP	SP	MI	OI	CI	
GU	SU	MH	OH	CH	
GC	SC				
GF <sub>e</sub>	SF <sub>e</sub>				
GF <sub>s</sub>	SF <sub>s</sub>				

Debelozrnate zemlj.		Koherentne zemljine			Šota
gramozi	peski	melji	organske	gline	
GW	SW	ML	OL	CL	P <sub>t</sub>
GP	SP	MH	OH	CH	
GC	SC				
GM	SM				

### 3.1 Umetni nasipi

Nahajajo se pod preperinskim pokrovom na globinah do 2 m. Sestava je zelo heterogena od različnih gradbenih materialov, glin, umetnih snovi...

Umetni nasipi se mestoma nahajajo na celotni trasi – njihov obseg in sestava sta glede na omejeno število sondaž težko določljiva.



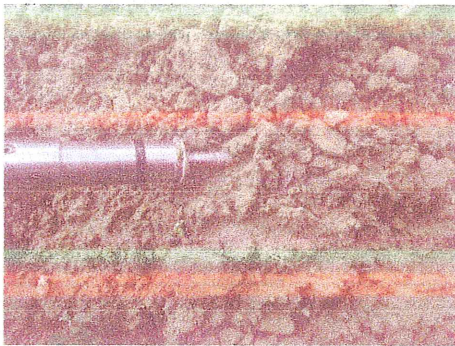


- AC klasifikacija : GFe - GC
- kot notranjega trenja:  $\varphi = 30^\circ$
- prostorninska teža:  $\gamma = 20 - 22 \text{ kN/m}^3$
- nosilnost temeljnih tal  $= 50 - 150 \text{ kN/m}^2$
- koef. vodoprep.  $k = 10^{-4} - 10^{-5} \text{ cm / s}$
- toplotna upornost  $\rho = 1,7 - 4,0 \text{ K}^\circ\text{m/W}$

Geomehanske, kakor tudi toplotne karakteristike teh nasipov so slabe, zato jih bo potrebno nadomestiti z ustreznimi nadomestnimi zasipi.

### 3.2 Preperina

Preperina se nahaja na površini in globinah do 0,5 m. Sestavljajo jo rjave meljno – peščene glin z vložki prodov, peska.



- AC klasifikacija : ML - SFc
- indeks gostote:  $I_D = 28 \% - 70 \%$
- kot notranjega trenja:  $\varphi = 40^\circ$
- prostorninska teža:  $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
- nosilnost temeljnih tal  $= 120 \text{ kN/m}^2$
- koef. vodoprep.  $k = 10^{-4} \text{ cm / s}$

V času kartiranja ni bilo opaziti podtalnice v preperini. Precejanja padavinske vode so možna v času močnejših padavin.

### 3.3 Prodi , zaglinjeni prodi ( GFs - GP )

Kvartarni sedimenti v katerih prevladujejo karbonatni peski z vložki glin se nahajajo na pretežnem delu trase pod preperino oziroma umetnimi zasipi.

Geomehanske karakteristike so ugodne.

Sestavljajo jih karbonatni prodniki in peski različnih granulacij.

Vodoprepustnost je dobra, ob kartiranju ni bilo opaziti pojavov podtalnice.

- AC klasifikacija : GFs - GP
- indeks gostote:  $I_D = 22.3 \% - 69.9 \%$
- ocenjen kot notranjega trenja:  $\varphi = 40^\circ$

- prostorninska teža:  $\gamma = 20 - 21 \text{ kN/m}^3$
- nosilnost temeljnih tal =  $300 - 350 \text{ kN/m}^2$
- k vodoprepustnosti :  $k = 10^{-2} - 10^{-3} \text{ cm/s}$
- toplotna upornost  $\rho = 2,0 - 2,5 \text{ K}^\circ\text{m/W}$

### 3.4 Konglomerati ( GC )

Pojavljajo se lokalno na globinah pod 3,0 m na območjih Toplarne, Zelene jame. Sestavljajo jih vezani karbonatni prodi in peski.



- AC klasifikacija : GC
- ocenjen kot notranjega trenja:  $\varphi = 40 - 50^\circ$
- prostorninska teža:  $\gamma = 20 - 22 \text{ kN/m}^3$
- nosilnost temeljnih tal =  $300 - 500 \text{ kN/m}^2$
- koef. vodoprepust. :  $k = 10^{-2} - 10^{-3} \text{ cm/s}$
- toplotna upornost  $\rho = 1,5 - 2,5 \text{ K}^\circ\text{m/W}$

### 4.0 Tektonika

Širše območje je tektonsko pretrto s številnimi lokalnimi prelomi in narivi

Po slovenskem predstandardu SIST – ENV 1998-1-1, ki upošteva povratno dobo potresov 500 let spada raziskano območje v 7. potresno stopnjo z vrednostjo potresnega pospeška  $Q_g = 10 \%$ , tla pa uvrščamo v razred B.

Na obravnavanem območju ni opaziti večjih geodinamičnih pojavov.

### 5.0 Hidrogeološke razmere

Ob kartiranju ( oktober 2011 ) ni bilo na obravnavanem območju opaziti pojavov podtalnice. Možna so manjša precejjanja in zadrževanja podtalnice na območjih, kjer se nahajajo večji vložki meljno – peščenih glin in umetnih nasipov ob močnejših padavinah.

### 6.0 Globina temeljenja in usedki temeljnih tal

Kriterij za določitev globine temeljenja je nivo raščanih tal – prod, peski, konglomerat.

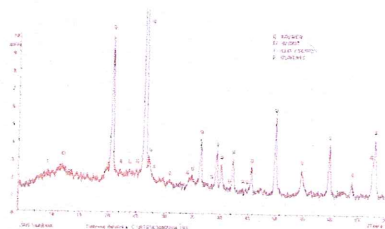
Absolutni usedki, kateri se bodo aktivirali pod temelji objektov so določeni po deformacijski metodi z upoštevanjem srednjega modula stisljivosti, ki definira temeljna tla kot elastičen izotropen polprostor.

Pri temeljenju v privzetih zemljinah in izkoriščenih dopustnih obremenitvah, je pričakovati absolutne usedke do  $u < 2$  cm.

## 7.0 Geomehanske karakteristike predlaganih zasipnih materialov

### 7.1 Geomehanske karakteristike zmesi silikatnih glin ( MKG )

- AC klasifikacija : MI
- kot notranjega trenja:  $\varphi = 30 - 40^\circ$
- prostorninska teža:  $\gamma = 19 - 20 \text{ kN/m}^3$
- nosilnost temeljnih tal =  $140 - 180 \text{ kN/m}^2$
- koef. vodoprep.  $k = 10^{-4} \text{ cm / s}$
- toplotna upornost  $\rho = 0,7 - 0,8 \text{ K}^\circ\text{m / W}$

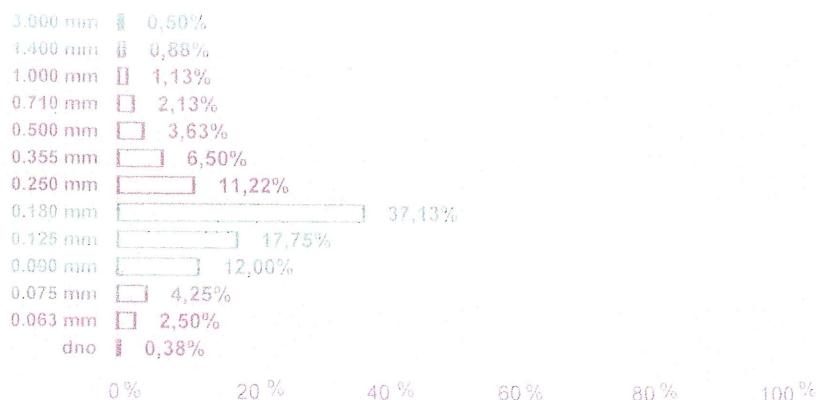


Difrakciogram kaolinitičnih glinovcev

### 7.2 Geomehanske karakteristike zmesi silikatnih peskov ( MP )

- AC klasifikacija : MI - SFc
- kot notranjega trenja:  $\varphi = 30 - 40^\circ$
- prostorninska teža:  $\gamma = 19 - 21 \text{ kN/m}^3$
- n. temeljnih tal =  $140 - 200 \text{ kN/m}^2$
- koef. vodopr.  $k = 10^{-4} \text{ cm / s}$
- toplotna upornost  $\rho = 0,8 - 1,0 \text{ K}^\circ\text{m / W}$





#### Granulacijska analiza silikatov ( MP )

### 8.0 Zaključek z inženirsko – geološkimi predlogi

Geomehanske razmere na obravnavani trasi so ugodne, razen na območjih, kjer prevladujejo umetni zasipi, ki jih bo potrebno odstranjevati in nadomeščati.

Na trasi se nahajajo pretežno kvartarni sedimenti različnih debelin in razmerij med prodom, peski in manjšimi vložki peščenih glin. V zgornjih horizontih prevladujejo preperina in umetni zasipi.

Debelino slojev umetnih zasipov in obseg težko določimo, zaradi omejenega števila sondaž in prevladujoče razširjenosti.

Nosilnost v prodih presega  $200 - 400 \text{ kN} / \text{m}^2$ .

Ob odprtih vkopih se lahko ob močnejših padavinah pojavlja erozija z erozijskimi kanali in izcejanjem meteornih voda.

Podane geomehanske karakteristike zmesi silikatnih glin ( MKG ) in peskov ( MP ) dosegajo priporočljive vrednosti, ki jih določajo mednarodni standardi za t.i. TBF ( thermal backfill ) zasilne ( CIGRE – WG 7 ) in proizvajalec kabla.

Zmesi kremenčevih glin ( MKG ) so slabo vodoprepustne, kar preprečuje izpiranje kremenčevih peskov ob pronicanju podtalnice.

Zmesi kremenčevih glin ( MKG ) imajo ugoden strižni kot in dobro oprijemljivost.

Zaradi zahtevnih inženirsko – geoloških razmer predlagamo inženirsko - geološki nadzor, pri določevanju debeline zasipnih materialov okoli VN kablov ( termografske meritve ).

Ljubljana, 12. 12. 2011

GEOMAP : Igor Buser

9.0 Priloge: inženirsko - geološke karakteristike zemljin in hribin ( po delih trase )

INŽENIRSKO - GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE							
Lokacija	RTP Toplarna - Kajuhova c.				Datum :	okt. 2011	
<b>1. Geomehanika</b>							
	Sestava	Debelina	Nosilnost	$\Phi$	$\eta$	c	Toplotna upornost
		m	kN / m <sup>2</sup>		kN / m <sup>3</sup>		K <sup>0</sup> m / W
Preperina	MI - SFc	0,5	150	30	21		
Osnova	GW - SFs	10	300 - 400	40	22		2,5 - 3,0
<b>2. Geodinamika</b>							
Stabilnost	stabilno						
Preperevanje	srednje						
Erozija	srednje						
Tektonika	ne						
<b>3. Hidrologija</b>							
Podtalnica	ne						
Površinske vode	ne						
4. IG - ocena primernosti ( 1 - 5 )				4			
<b>5. Dodatne raziskave</b>							
<b>6. Opombe</b>							

# INŽENIRSKO - GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Lokacija	Kajuhova c. - Zelena jama	Datum :	okt. 2011
----------	---------------------------	---------	-----------

## 1. Geomehanika

	Sestava	Debelina	Nosilnost	$\Phi$	$\eta$	c	Toplotna upornost
		m	kN / m <sup>2</sup>		kN / m <sup>3</sup>		K <sup>0</sup> m / W
Preperina	MI - SFc	0,7	120	30	20		
Osnova	GW - SU	2	300 - 350	40	22		2,5

## 2. Geodinamika

Stabilnost	stabilno
Preperevanje	srednje
Erozija	srednja
Tektonika	da

## 3. Hidrologija

Podtalnica	ne
Površinske vode	ne

## 4. IG - ocena primernosti ( 1 - 5 )

4

## 5. Dodatne raziskave

## 6. Opombe



# INŽENIRSKO - GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Lokacija	Zelena jama - RTP PCL	Datum :	okt. 2011
----------	-----------------------	---------	-----------

## 1. Geomehanika

	Sestava	Debelina	Nosilnost	$\Phi$	$\eta$	c	Toplotna upornost
		m	kN / m <sup>2</sup>		kN / m <sup>3</sup>		K <sup>0</sup> m / W
Preperina	MI - SFC	0,5	150	30	19		
Osnova	GW	7	250 - 300	40	22		2,5

## 2. Geodinamika

Stabilnost	stabilno
Preperevanje	srednje
Erozija	srednja
Tektonika	ne

## 3. Hidrologija

Podtalnica	ne
Površinske vode	ne

## 4. IG - ocena primernosti ( 1 - 5 )

4

## 5. Dodatne raziskave

## 6. Opombe

odstranjevanje, nadomeščanje umetnih nasipov



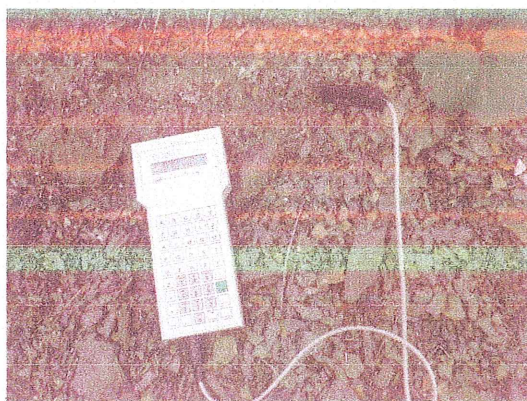


GEOMAP - inženirska geologija, geološke baze  
E – mail : [info@geo.si](mailto:info@geo.si)

D. N. 11 - 11 / 11

Naročnik: Elektro Ljubljana d.d.

## Inženirsko - geološko poročilo o toplotnih razmerah na kabelski trasi 110 kV RTP Toplarna – RTP PCL



Datum: december 2011

## Vsebina

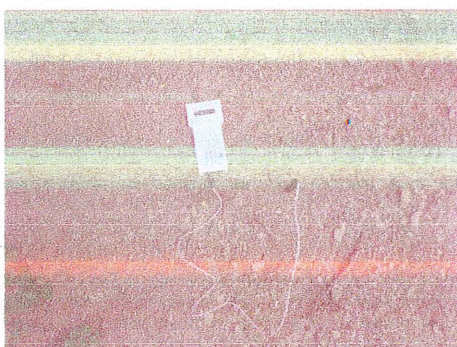
<b>Tekstualni del</b>	<b>Stran</b>
<b>1.0 Splošno</b>	<b>3</b>
<b>2.0 Splošne geomorfološko- geološke razmere</b>	<b>3</b>
<b>3.0 Meritve toplotnih upornosti zemljin in hribin</b>	<b>4</b>
<b>4.0 Predlogi za izboljšanje toplotnih razmer</b>	<b>8</b>
<b>5.0 Geomehanske karakteristike zasipov</b>	<b>9</b>
<b>6.0 Zaključek z inženirsko – geološkimi pogoji izvedbe</b>	<b>10</b>

# Inženirsko - geološko poročilo o toplotnih razmerah na kabelski trasi 110 kV RTP Toplarna – RTP PCL

## 1.0 Splošno

Po naročilu Elektro Ljubljana d.d. smo opravili v mesecu oktobru 2011, na območju projektirane kabelske trase 110 kV – RTP Toplarna – RTP PCL termografske raziskave z meritvami zemljin in hribin, z namenom ugotoviti toplotne prevodnosti in upornosti zemljin, ki bodo služile pri načrtovanju projekta.

Geološko - geomehanske raziskave s termografskimi meritvami so obsegale :



1. inženirsko – geološka prospekcijska terena
2. termografske meritve zemljin na trasi
3. termografske meritve upornosti na odvzetih vzorcih
4. primerjava izmerjenih vrednosti
5. določevanje termičnih zasipov

Toplotne upornosti zemljin in hribin so pridobljene s primerjalnimi analizami podatkov pridobljenih z in – situ termografskimi meritvami in izvedenimi meritvami toplotnih upornosti in prevodnosti na znanih vzorcih zemljin in hribin.

## 2.0 Splošne geomorfološke - geološke razmere

Obravnavano območje leži na območju pretežno kvartarnih sedimentov, kjer prevladujejo v sestavi prodi, peski z vložki meljno – peščenih glin in v zgornjem delu umetni nasipi, katerih razprostranjenost in debeline je težko ugotoviti.

Območje je ravninsko, preprejeno s komunalno infrastrukturo, prometnicami in objekti.

Trasa podzemnega 110 kV visokonapetostnega kabla poteka od RTP Toplarna do RTP PCL vzdolž obrobja večjih prometnic in železniške proge.

Na pretežnem delu trase se v zgornjem horizontu nahajajo umetni nasipi, ponekod do globine 2 m, sestavljeni iz različnih nasutij, gradbenih materialov in odpadkov.

Preperino sestavljajo meljno – peščene glinice z vložki peska in manjših prodnikov.



V hribinski kvartarni osnovi prevladujejo prodniki, peski, meljno - peščene gline, ponekod konglomerati.

Na celotni trasi ni pričakovati podtalnice, razen ponekod v preperinskem sloju, kjer prevladujejo meljne gline ob močnih padavinah. Možni so dotoki vode iz neurejenih kanalizacij, dreniranj.

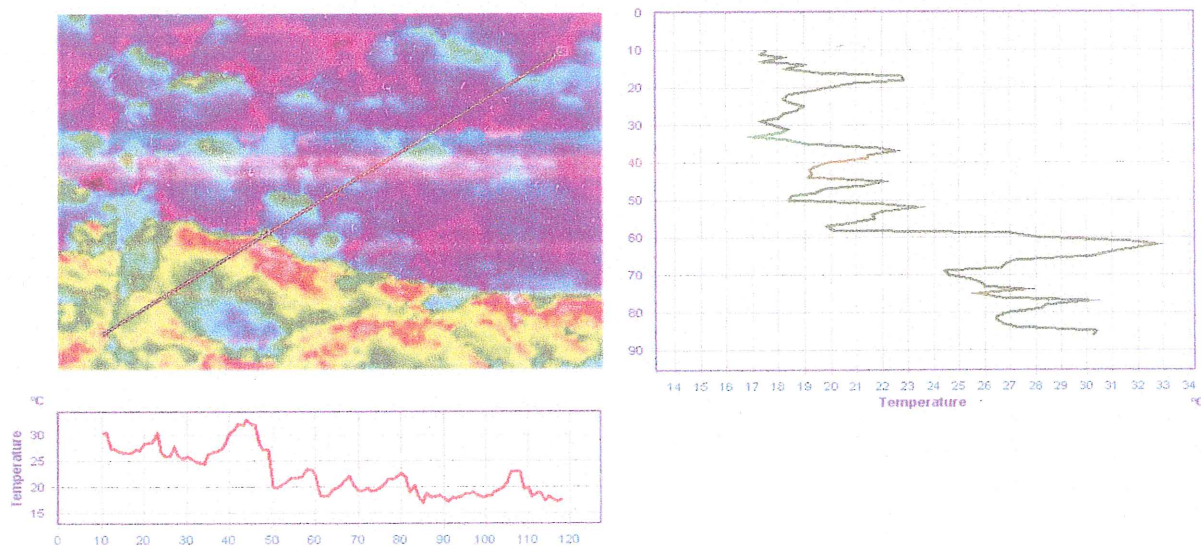
Tektonika je neizrazita, prav tako geodinamični pojavi.

### 3.0 Meritve toplotnih upornosti zemljin in hribin

Vrednosti toplotnih upornosti na trasi so podane s primerjalnimi merskimi vrednostmi, že izvedenih merjenj toplotnih upornosti v podobnih zemljinah, hribinah in in – situ termografskih meritev izvedenih vzdolž trase.

Privzeta temperatura okolice ( zrak ) v času merjenj vrednosti toplotne upornosti je bila okoli 10 - 12 C in temperatura v globini 1- 3 m ( zemljine ) okoli 8 C.

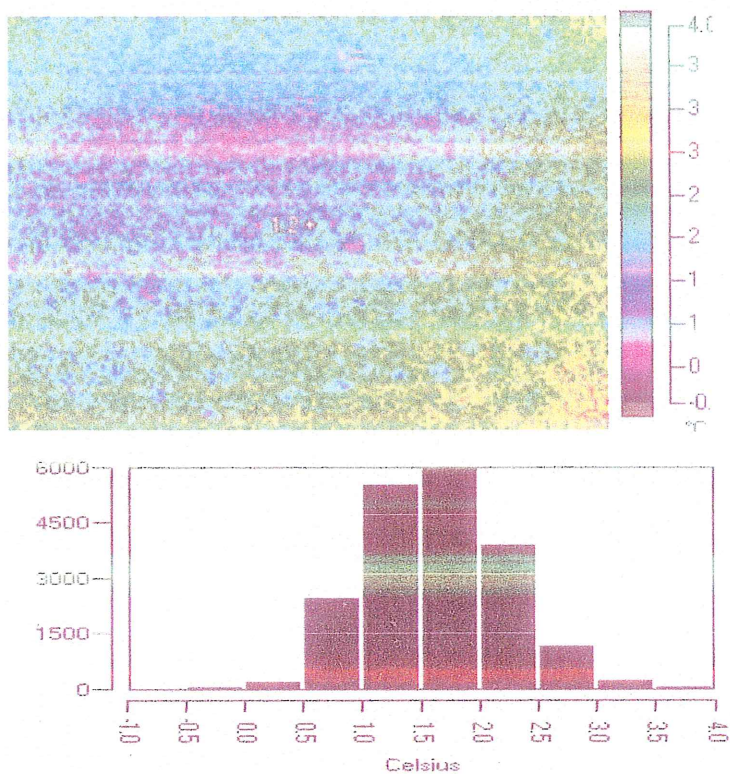
Vrednosti toplotnih upornosti varirajo v odvisnosti od vlage in gostote materialov.



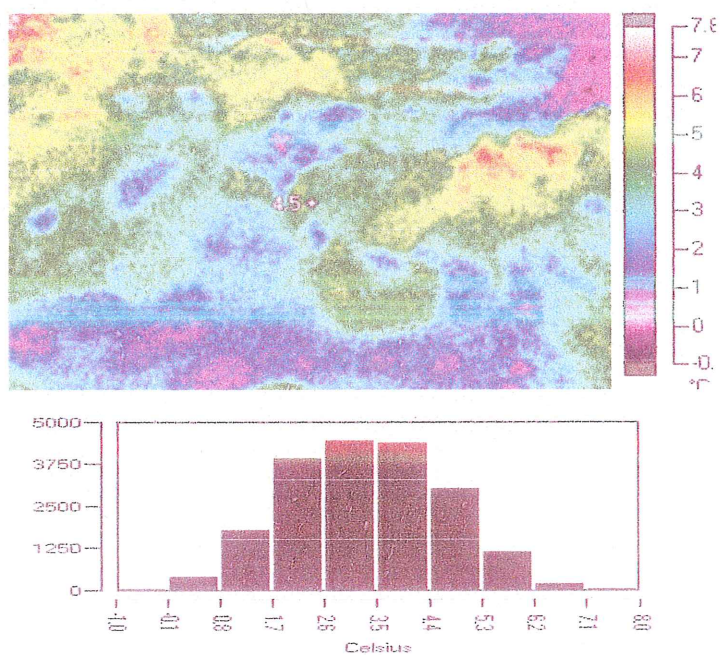
Primer termografske meritve

Termografske slike z diagrami kvartarnih sedimentov ( nekaj primerov ) :

### 1. Preperina ( gline, melji, prod )

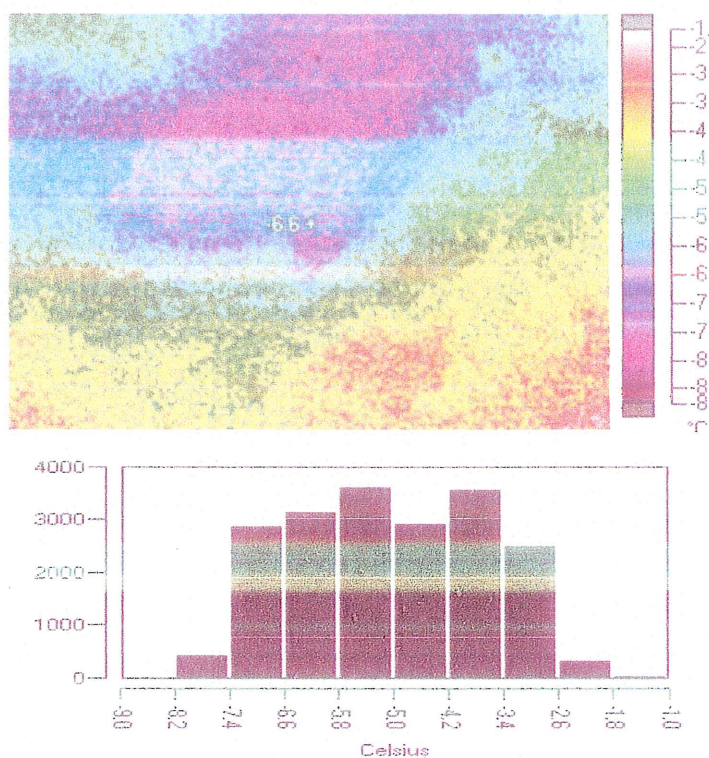


### 2. Peski, meljne gline





### 3. Konglomerat, peski, gline



V prilogi so podane vrednosti toplotnih upornosti (  $K^{\circ}m/W$  ) po posameznih odsekih :

Razdalja varira od linije trase do 10 m, zaradi asfaltiranih, betonskih površin.

Območje :	Material :	Toplotna upornost - $K^{\circ}m/W$
RTP Toplarna - Kajuhova c.	prod, peski, delno peščene gline	2,4 - 2,6
Kajuhova c. - Zelena jama	Prod, peski, meljne gline	2,0 - 2,2
Zelena jama - RTP PCL	prod, peski, vložki glin	2,1 - 2,2
Umetni zasip – gline, pesek	gline, pesek	1,8 - 2,5
Predlagan zasip ( Backfill )	Kremenčev pesek	0,6 - 0,8
PEHD, PVC cevi		3,8 - 4,5
Geotekstil ( Polyfelt TS )		2,5 - 3,0

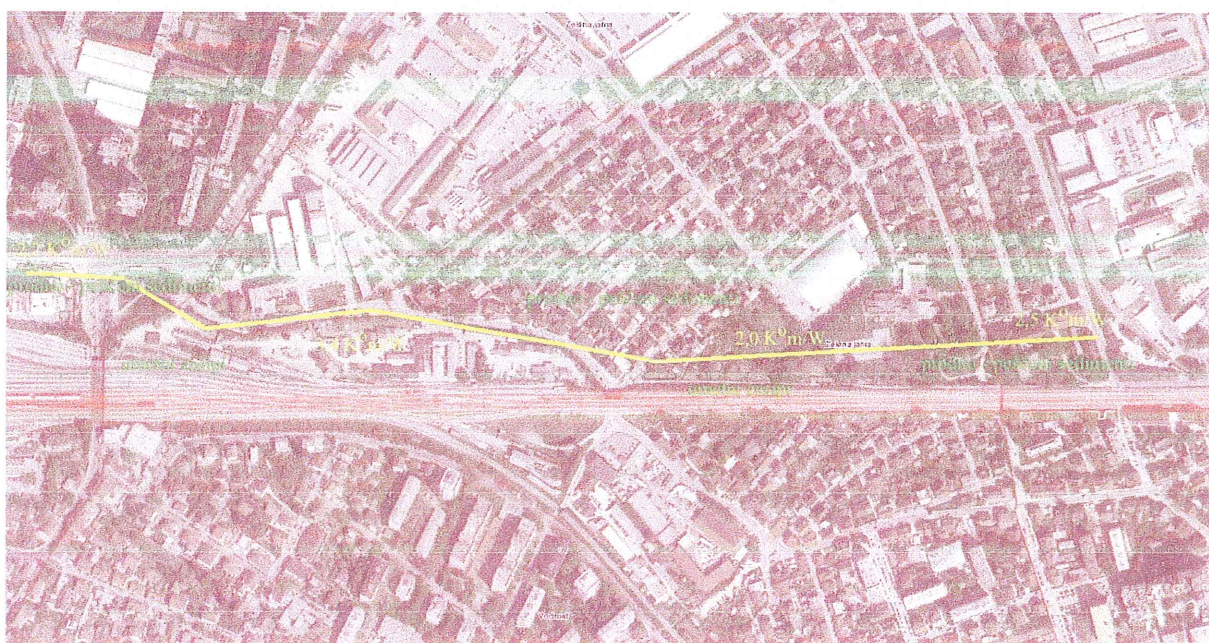


Vrednosti toplotnih upornosti se nanašajo na suhe zemljine in hribine z naravno vlago in gostoto na globinah 1,5 do 3,0 m.

Primerne vrednosti toplotnih upornosti so glede na zahteve večine proizvajalcev VN kablov pod  $1,0 \text{ K}^\circ\text{m/W}$ . V tem delu kabel in proizvajalec še nista bila izbrana.

Glede na rezultate meritev lahko sklepamo, da so na celotni trasi toplotne upornosti precej slabše od zahtev proizvajalcev VN kablov.

Povprečne vrednosti toplotne upornosti (  $\text{K}^\circ\text{m/W}$  ) in vodoprepustnosti (  $\text{cm / s}$  ):





#### 4.0 Predlogi za izboljšanje toplotnih prevodnosti temeljnih tal

Toplotne upornosti zemljin izmerjenih na projektirani trasi kablovoda trasi so bile v povprečju nad  $2,0 \text{ K}^\circ\text{m/W}$ , kar je nad dovoljeno mejo proizvajalca VN kablov -  $1,0 \text{ K}^\circ\text{m/W}$ .

Glede na zahteve proizvajalca kablov, investitorja in nadzora smo izbrali zasipne materiale ( TBF ), ki ustrezajo geomehanskim in geotermalnim zahtevam ( CIGRE - WG 7 )

Zaradi dobre vodoprepustnosti okolice ( prodi, peski ) predlagamo na teh območjih uporabo geotekstilov, ki preprečujejo izpiranje geotermalnih zasipov ob meteornih vodah.

#### 4.1 Meritve toplotnih upornosti zasipnih materialov - silikati ( MKG in MP )

Vrednosti toplotnih upornosti na trasi so podane s primerjalnimi merskimi vrednostmi in – situ termografskih meritev silikatnih zasipov in meritvami odvzetih vzorcev pri konstantni temperaturi (  $18 \text{ C}$  ) in vlagi (  $50 \%$  ).

Privzeta temperatura okolice ( zrak ) v času merjenj in situ vrednosti toplotne upornosti je bila okoli  $15 \text{ C}$ . Vrednosti toplotnih upornosti varirajo v odvisnosti od vlage in gostote materialov.

**V prilogi so podane vrednosti toplotnih upornosti kabelske posteljice pod kablom in zasutij nad kablom - zmesi kremenčevih glinovcev po posameznih odsekih :**

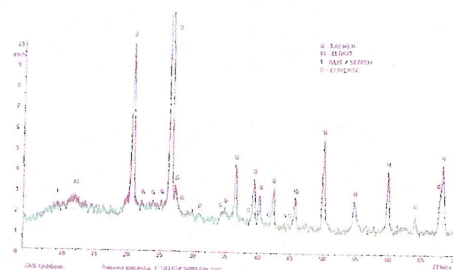
**Vse vrednosti so podane pod pogoji polaganja, ki jih določa CIGRE - WG 7**

stacionaža :	predlagana debelina MKG 10 " posteljice " cm :	predlagana debelina silikatnih MP 9 zasipov :
RTP Toplarna - Kajuhova c.	20	30
Kajuhova c. - Zelena jama	20	30
Zelena jama - RTP PCL	20	30

## 5.0 Geomehanske karakteristike zasipnih materialov

### 5.1 Geomehanske karakteristike zmesi kremenčevih glin ( MKG 10 )

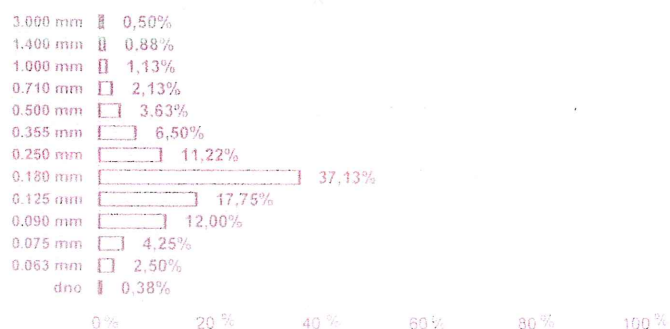
- AC klasifikacija : MI
- kot notranjega trenja:  $\varphi = 30 - 40^\circ$
- prostorninska teža:  $\gamma = 19 - 20 \text{ kN/m}^3$
- nosilnost temeljnih tal =  $140 - 180 \text{ kN/m}^2$
- koef. vodoprep.  $k = 10^{-4} - 10^{-5} \text{ cm / s}$
- toplotna upornost  $\rho = 0,7 - 0,8 \text{ K}^\circ\text{m / W}$



Diraktoqram kremenčevih glinovcev

### 5.2 Geomehanske karakteristike zmesi kremenčevih peskov ( MP 9 )

- AC klasifikacija : MI - SFc
- kot notranjega trenja:  $\varphi = 30 - 40^\circ$
- prostorninska teža:  $\gamma = 19 - 21 \text{ kN/m}^3$
- n. temeljnih tal =  $170 - 200 \text{ kN/m}^2$
- koef. vodopr.  $k = 10^{-4} - 10^{-5} \text{ cm / s}$
- toplotna upornost  $\rho = 0,6 - 0,8 \text{ K}^\circ\text{m / W}$



## 6.0 Zaključek z inženirsko – geološkimi predlogi

Geomehanske razmere na obravnavani trasi so razmeroma ugodne, toplotne prevodnosti so slabe.

Na trasi se nahajajo kvartarni karbonatni sedimenti različnih debelin in razmerij med prodorn, peski in manjšimi vložki peščenih glin. V zgornjih horizontih prevladujejo umetni zasipi.

Debelino slojev umetnih zasipov in obseg težko določimo, zaradi omejenega števila sondaž in prevladujoče razširjenosti.

Z inženirsko - geološkega stališča predlagamo :

1. Odstranitev in nadomeščanje umetnih zasipov
2. Vse izmerjene in - situ toplotne upornosti zemljin na trasi so bile nad  $2,0 \text{ K}^\circ\text{m/W}$ .

Na celotni trasi predlagamo zasipe - » backfill » na območju VN kabla s katerimi izboljšamo toplotne razmere. Debelina zasipa se določi glede na vrednosti toplotnih upornosti okoliških zemljin in hribin ( tabela ).

3. na območji, kjer je pričakovati izpiranje zasipnih materialov okoli VN kablov, je potrebna zaščita le teh pred izpiranjem ( geotekstili ).

Izmerjene toplotne upornosti zmesi kremenčevih glinovcev ( MKG 10 ) in peskov ( MP 9 ) dosegajo priporočljive vrednosti, ki jih določajo mednarodni standardi za t.i. TBF ( thermal backfill ) zasipe ( CIGRE – WG 7 ) in proizvajalec kabla.

Predlagana debelina položenih zmesi silikatnih glin ( MKG 10 ) je 20 cm.

Izmerjena debelina kremenčevih peskov v zasipih ( MP 9 ) je 30 cm.

Zmesi kremenčevih glin ( MKG ) so slabo vodoprepustne, kar preprečuje izpiranje kremenčevih peskov ob pronicanju podtalnice.

Zmesi kremenčevih glin ( MKG ) imajo ugoden strižni kot in dobro oprijemljivost.

Zaradi zahtevnih inženirsko – geoloških razmer predlagamo inženirsko - geološki nadzor, pri določevanju debeline zasipnih materialov okoli VN kablov ( termografske meritve ).

Ljubljana, 12. 12. 2011

GEOMAP : Igor Buser

**GEOMAP**  
GEOMAP - inženirska geologija  
E - mail : [info@geo.si](mailto:info@geo.si)



Buser - inženirska geologija E – mail: [info@geo.si](mailto:info@geo.si)



**ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR**

*Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo  
Ljubljana  
Oddelek za vplive elektroenergetskih  
naprav na okolje*

**POROČILO  
O VPLIVIH ENOSMERNIH UHAJAVIH TOKOV NA  
KBV 110 kV RTP PCL–RTP TOPLARNA**

**Poročilo: VENO 3386**

**Ljubljana, september 2015**



**ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR**

Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo  
Ljubljana  
Oddelek za vplive elektroenergetskih  
naprav na okolje

**POROČILO**  
**O VPLIVIH ENOSMERNIH UHAJAVIH TOKOV NA**  
**KBV 110 kV RTP PCL-RTP TOPLARNA**

Poročilo: VENO 3386

Ljubljana, september 2015



Direktor:

dr. Boris ŽITNIK, univ. dipl. inž. el.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL – RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

**Besedilo smo oblikovali z**

Microsoft Word 2013, podjetja Microsoft Corporation,  
Microsoft Excel 2013, podjetja Microsoft Corporation.

**Za oblikovanje slik smo uporabili program:**

AutoCAD Map 3D 2016, izdelovalca AutoDesk.

**Pooblastila:**

- Certifikat ISO 9001:2008 in ISO 14001:2004 za razvojno-raziskovalno dejavnost, inženiring, svetovanje, strokovno ocenjevanje ter preskušanje na področju elektroenergetike in splošne energetike, številka certifikata 12 100/104 23886 TMS, veljaven do 10.11.2016.
- Pooblastilo po 108. členu Energetskega zakona, dopis št.: 311-29/2004, z dne 3.11.2004, Ministrstvo za okolje prostor in energijo.
- Akreditacija preskusnih postopkov po zahtevah standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005, številka akreditacijske listine LP-063.

**© Elektroinštitut Milan Vidmar 2015.**

Vse pravice pridržane. Nobenega dela dokumenta se brez poprejšnjega pisnega dovoljenja avtorja ne sme ponatisniti, razmnoževati, shranjevati v sistemu za shranjevanje podatkov ali prenašati v kakršnikoli obliki ali s kakršnimikoli sredstvi. Objavljanje rezultatov dovoljeno le z navedbo vira.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL – RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

**Naslov:** Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV  
110 kV RTP PCL–RTP Toplarna

**Oznaka poročila:** VENO 3386

**Naročilo:** Naročilnica št. 26/2015 z dne 18.03.2015

**Delovni nalog:** 215627

**Naročnik:** **SODO**, Sistemski operater distribucijskega omrežja z  
električno energijo, d.o.o.  
Minařikova ulica 5  
2000 Maribor

**Odgovorni  
pri naročniku:** mag. Milan VIŽINTIN, univ. dipl. inž. el.

**Odgovorni nosilec:** dr. Primož HROBAT, univ. dipl. inž. el.

**Naslov izvajalca:** **ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR**  
Inštitut za elektrogospodarstvo in elektroindustrijo,  
Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana

**Poročilo izdelal:** Rado ISAKOVIĆ, univ. dipl. inž.el.,  
mag. Jure STRMEC, univ. dipl. inž.el.,  
Dušan HUČ, univ. dipl. inž. el.

**Obseg poročila:** VIII, 23 strani

**Število izvodov:** 5

**Datum izdelave:** september 2015

**Vodja oddelka:**

  
dr. Primož HROBAT, univ. dipl. inž. el.



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL – RTP Toplana, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

## KAZALO VSEBINE

<b>POVZETEK.....</b>	<b>VII</b>
<b>1 NALOGA.....</b>	<b>1</b>
1.1 PREDMET RAZISKAVE .....	1
1.2 NAMEN RAZISKAV .....	1
<b>2 PREGLED SPREMEMBE PROJEKTNE DOKUMENTACIJE UMESTITVE KBV 110 kV RTP PCL-RTP TOPLARNA.....</b>	<b>3</b>
2.1 SPREMEMBE PRI UMESTITVI KBV 110 kV RTP PCL-RTP TOPLARNA .....	3
2.2 DOLOČITEV IN PROUČITEV MEST POTENCIALNEGA VDORA ENOSMERNIH UHAJAVIH TOKOV .....	4
<b>3 UKREPI ZA ZAŠČITO POSTROJEV PRED UHAJAVIMI TOKI .....</b>	<b>7</b>
3.1 PREDSTAVITEV PROBLEMATIKE.....	7
3.2 OZEMLJEVANJE PREVODNIH KB EKRANOV .....	7
3.3 REDUKCIJSKI FAKTOR KBV.....	9
3.4 ZAŠČITA PRED VDOROM ENOSMERNIH UHAJAVIH TOKOV Z ISP NAPRAVO .....	11
3.4.1 Delovanje v DC področju.....	11
3.4.2 Delovanje v AC področju .....	13
3.5 IZBIRA IN VGRADNJA ISP NAPRAVE .....	16
3.5.1 Določitev DC napetosti .....	16
3.5.2 Določitev AC toka na KBV RTP PCL-RTP Toplarna .....	16
3.5.3 Določitev EKS in toka za zaščito pred strelo .....	17
5.5 VEZAVA KB EKRANOV V JAŠKIH .....	17
<b>4 ZAKLJUČEK .....</b>	<b>21</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>24</b>



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

## Seznam uporabljenih kratic

ISP	Isolator/Surge protection
KB	kabel
KBV	kablovod
RTP	razdelilna transformatorska postaja
SSD	Solid State Decoupler
TP	transformatorska postaja

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana, Elektroinštitut Milan Vidmar, 2015

---

## POVZETEK

Poročilo vsebuje oceno potrebnih zaščitnih ukrepov ozemljitvenih sistemov RTP PCL, RTP Toplarna in KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna ter KBV RTP Center-RTP Toplarna na odseku Toplarna-PCL, ki s stališča korozijske ogroženosti elementov zaradi uhajavih enosmernih tokov elektrificirane železniške vleke. Opravljen je pregled trase po spremembi projektne dokumentacije KBV. Določena in preučena so možna mesta vdora enosmernih tokov v elemente KBV povezave. Na osnovi izvedbe 110 kV KBV med RTP PCL in RTP Toplarna so priporočeni ustrezni zaščitni ukrepi za omejitev vdora uhajavih tokov v trasi KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna in RTP Center-RTP Toplarna odsek Toplarna-PCL.

**Ključne besede:** uhajavi toki elektrificirane železniške vleke, konstrukcijski ukrepi, protikorozijska zaščita, prenapetostna zaščita.



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

## 1 NALOGA

### 1.1 Predmet raziskave

Predmet raziskave je preučitev potencialnih lokacij vdora uhajavih tokov in korozijske zaščite KBV 110 kV sistema RTP PCL-RTP Toplarna in RTP Center-RTP Toplarna odsek Toplarna-PCL in ozemljitvenih sistemov navedenih RTP pred možnimi uhajavimi toki elektrificirane železniške vleke, ki bo potekala vzporedno in v neposredni bližini trase kabelske povezave in RTP.

### 1.2 Namen raziskav

Namen poročila je ugotoviti kje in v kakšni meri je možen vdor enosmernih tokov v ozemljitveni sistem priključnih RTP in 110 kV KB povezav po spremembi projekte dokumentacije, ter način zaščite naprav navedenih objektov pred korozijskim delovanjem tokov elektrificirane železniške vleke.

Na osnovi pregleda projektne dokumentacije, ki v svoji vsebini predvideva:

- manjše spremembe poteka trase,
- zmanjšanje števila montažnih jaškov,
- spremenjen način polaganja kabelskih sistemov

ter posodobljenih izračunov

- enofaznih kratkostičnih tokov v omenjenih RTP in predmetnem 110 kV KBV,
- induciranih napetosti, ki se pojavijo na KB ekranu ob kratkih stikih in
- induciranih tokov, ki se pojavijo v kompenzacijskem vodniku zaradi obratovalnih tokov

bomo predlagali način in izvedbo potrebne zaščite pred korozijskimi vplivi.

Pri izgradnji KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna in RTP Center-RTP Toplarna je treba s stališča uhajavih tokov izpolnjevati zahteve standardov:

- **SIST EN 50122-1:2011** - Železniške naprave - Stabilne naprave električne vleke - Električna varnost, ozemljitev in povezovanje - 1. del: Zaščitni ukrepi proti električnemu udaru.
- **SIST EN 50122-2:2010** - Železniške naprave - Stabilne naprave električne vleke - 2. del: Zaščitni ukrepi proti učinkom blodečih tokov, ki jih povzročajo enosmerni vlečni sistemi.
- **SIST EN 50162:2005** - Železniške naprave – Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih.





Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

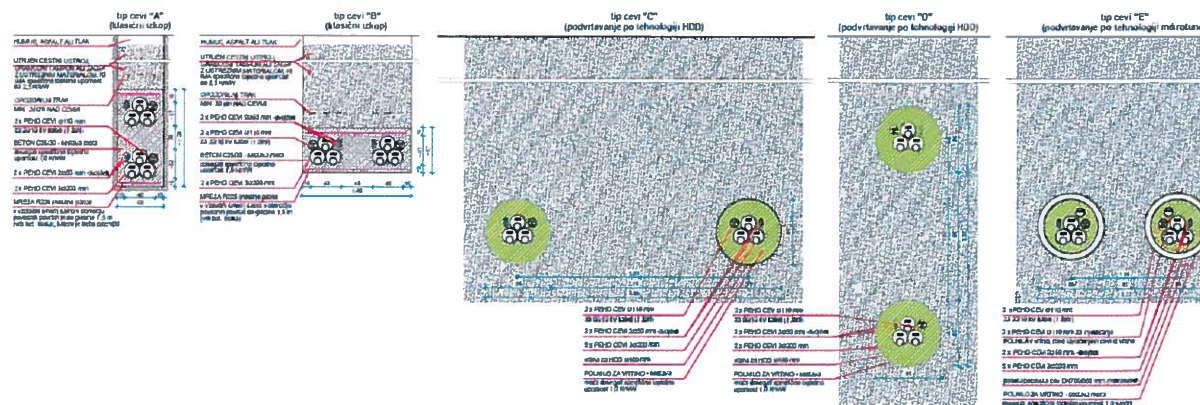
## 2 PREGLED SPREMEMBE PROJEKTNE DOKUMENTACIJE UMESTITVE KBV 110 kV RTP PCL-RTP TOPLARNA

### 2.1 Spremembe pri umestitvi KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna

Trasa KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna poteka od objekta PCL do stikališča RTP Toplarna. Sam potek trase KBV spremenjene projektne dokumentacije je enak prejšnji trasi in vzdolž trase le malenkostno odstopa od predhodne trase. Največja sprememba v delu trase je pri jašku KJ7 pred vstopom na področje RTP Toplarna, kjer se KBV približno 25 metrov prej usmeri proti RTP Toplarna. Največja sprememba je v številu glavnih in pomožnih jaškov. Predhodna različica je imela 12 jaškov od katerih jih je bilo 11 večjih dimenzij  $10 \times 3,5$  (2,8) m in en montažni jašek (KJ5) dimenzij  $3 \times 3$  m.

Zadnja situacija predvideva samo 7 jaškov od katerih sta dva glavna (KJ3 in KJ5) dimenzij  $10 \times 3,5$  (2,8) m ter 5 pomožnih jaškov (KJ1, KJ2, KJ4, KJ6, KJ7) dimenzij  $3,5 \times 3,5$  m. V glavnih jaških (KJ3 in KJ5) bo izvedeno ozemljevanje kabelskih ekranov in povezava kablov s kabelskimi spojkami. Glavni jašek KJ3 (v prejšnji situaciji KJ6) je prestavljen ca. 50 metrov zahodno v smeri RTP PCL.

Poleg spremembe števila jaškov bo spremenjen tudi način polaganja sistema KBV. V okviru poročila [1] so bili izvedeni izračuni redukcijskih faktorjev, induciranih tokov kompenzacijskih vodnikov in induciranih napetosti v prevodnih KB ekranih posameznega sistema za primer vzporednega polaganja obeh sistemov. Novo stanje predvideva polaganje sistemov s tremi različnimi načini podvrtavanja ter dvema formacijama polaganja klasičnega izkopa. Največji delež predstavljata TIP A (klasični izkop v razmaku 30 cm) in TIP B (klasični izkop v razmaku 40 cm), manjši delež pa podvrtavanje TIP C, D, E (slika 2.1).



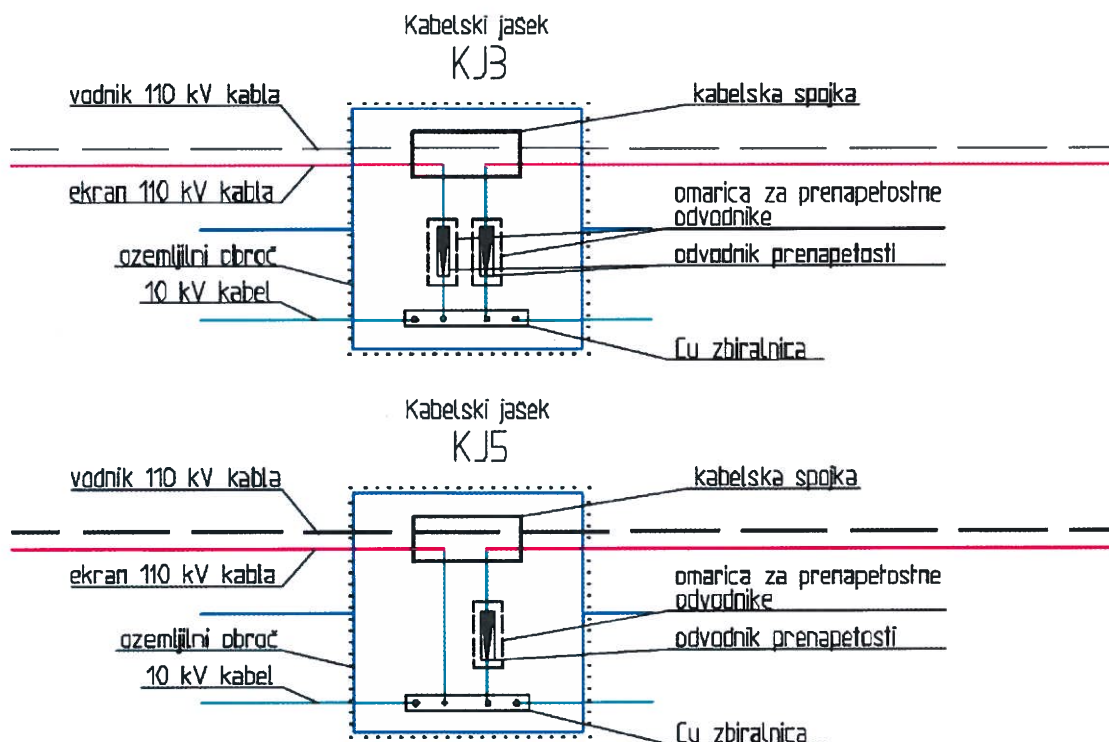
Slika 2.1: Izvedbe podvrtavanja [4].

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

Dolžine posameznih odsekov 110 kV KBV povezave med RTP postajami in glavnimi jaški so:

- RTP PCL – KJ 3                      688 m
- KJ3 – KJ5                              591 m
- KJ5 – obstoječi kabel              491 m

Gradbena jama za spojko z obstoječim delom kabla se nahaja 180 metrov pred RTP Toplarna. V glavnih kabelskih jaških KJ3 in KJ5 se izvede enostranska ozemljitev ekranov 110 kV kablov s prenapetostnimi odvodniki ter povezava posameznih odsekov kablov s kabelskimi spojkami [Blok shema 110 kV kabla in kabelske opreme, IBE, PGD, št. projekta DK07-A430/003, 2/2, 04/2015].



Slika 2.2: Blok shema ozemljitve ekranov 110 kV kablov v kabelskih jaških [5]

## 2.2 Določitev in proučitev mest potencialnega vdora enosmernih uhajavih tokov

Korozija kovinskih struktur obkroženih z elektrolitom (npr. z zemljino, vodo ali betonom), ki ni povzročena s tujim virom enosmerne električne energije, se dokazuje z elektrokemičnim, prostim korozijskim ali mirujočim potencialom nasproti elektrolitu. Ta

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

potencial kovinske strukture/kovine merimo na terenu proti referenčni elektrodi, npr. (Cu/CuSO<sub>4</sub>), položeno na elektrolit.

Ko imamo električni vpliv tujega enosmernega vira električne energije, t.i. uhajavi tok, se bo potencial kovinske strukture nasproti referenčni elektrodi premaknil v pozitivno (anodno) ali negativno (katodno) smer, kar je odvisno od smeri toka na merjenem mestu. Pod pojmom smer toka je mišljeno, ali ta uhajavi tok vstopa ali zapušča kovinsko površino.

V točki, kjer uhajavi tok tujega enosmernega vira zapušča kovinsko strukturo (na mejni površini kovina/elektrolit) bo nastopila anodna korozijska reakcija, katere posledica je razkroj kovine. Razkroj oziroma izguba mase kovinskih predmetov oziroma elementov struktur sledi Faradayevemu zakonu elektrolize, ki med drugim napoveduje, da golo jekleno ali železno površino anodni tok ( $I_a = 1$  A) raztopi cca. 9,1 kg Fe/leto. Korozija, katere vzrok je izvor toka zunanjega enosmernega vira, je spoznana kot korozija uhajavih tokov.

Tok, ki se nekontrolirano vrača po zemljišču, je definiran v standardu *SIST EN 50162:2005 - Železniške naprave – Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih* in ga imenujemo »uhajavi tok«. Njegova velikost je predvsem odvisna od stopnje izoliranosti tirnic proti obdajajočem zemljišču.

Prevodni objekti, ki predstavljajo v primeru elektrokorozijske anode oziroma katode so lahko:

- ozemljitve NN omrežja in posameznih objektov,
- kovinski cevovodi,
- kabli z večtočkovno ozemljenimi prevodnimi ekrani,
- prevodne strukture v zemlji.

Trasa KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna poteka v celotni dolžini vzdolž železniške trase Ljubljana-Dobova. Začetek trase KBV v RTP PCL se nahaja v neposredni bližini glavne železniške postaje Ljubljana. Trasa se nato oddalji od železniške trase in poteka po Kolinski ulici in Ob zeleni jami, kjer je od najbližjih vozniških tirnov oddaljena med 50-80 m. Pri glavnem jašku KJ3 se ponovno približa železniški trasi in teče vzdolž nje na oddaljenosti 7 m do ca. 15 m. Pri jašku KJ7 prečka železniške tirne in se usmeri v jašek obstoječega KBV.

Uhajavi tok, ki izstopa iz povratnega voda- tirnice se preko zemlje vrača proti ENP. Povratna pot je odvisna od prevodnosti okoliške zemljine. Visoka prevodnost EE objektov vkopanih v zemljo predstavlja dobro prevodno pot enosmernim tokom. ENP, ki napajajo vlakovne kompozicije na delu trase KBV se nahajajo v Zalogu (ENP Zalog), Viču (ENP Vič) in Vižmarjih (ENP Vižmarje). V kateri smeri se tok zaključuje je odvisno od obratovalnega režima, števila ter lokacije lokomotiv na odseku proge.

Geometrijske razdalje med posameznimi zgoraj naštetimi ENP so:

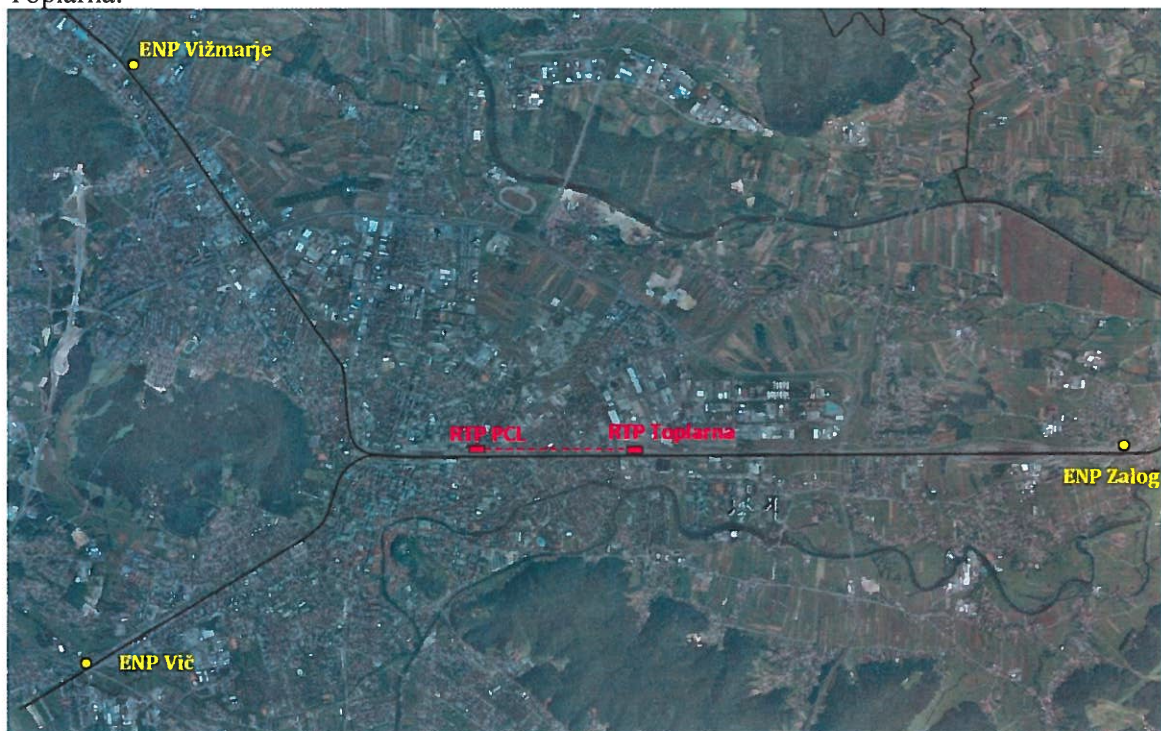
- ENP Zalog – ENP Vič  $\approx 11,9$  km,
- ENP Zalog – ENP Vižmarje  $\approx 12,0$  km,
- ENP Vič – ENP Vižmarje  $\approx 6,8$  km,

in njihove razdalje do trase KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna.

- KBV – ENP Zalog  $\approx 5-7$  km,
- KBV – ENP Vič.  $\approx 5-7$  km in
- KBV – ENP Vižmarje  $\approx 6-8$  km.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

Slika 2.3 prikazuje vplivne ENP in njihove lokacije glede na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna.



Slika 2.3: Lokacijska situacija predmetnega 110 kV KBV, vplivne elektrificirane proge in pripadajočih ENP.

Galvanska povezava ozemljitvenih sistemov RTP PCL in RTP Toplarna s kompenzacijskim vodnikom je potrebna zaradi ustvarjanja zadostnega redukcijskega faktorja ob zemeljskih kratkih stikih. Ta kompenzacijski vodnik pa lahko uhajavim tokom predstavlja dobro prevodno pot na njegovem povratku do ENP. Na mestih, kjer uhajavi tok izstopa iz kovinskih struktur v okoliško zemljo pride do pojava korozije.

Mesta možnega vdora enosmernega uhajavega toka v prevodne dele KBV povezave RTP PCL-RTP Toplarna predstavljajo:

- ozemljitveni sistem RTP PCL,
- ozemljitveni sistem RTP Toplarna,
- ozemljitve v glavnih KB jaških KJ3 in KJ5, kjer je izvedeno ozemljevanje KB ekranov in povezava ekranov na kompenzacijski vodnik.

Na mestih kjer je možen vdor ali izstop enosmernega uhajavega toka, ter s tem korozija kovinskih elementov EE sistema, je treba ustrezno zaščititi oz. galvansko ločiti elemente.



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

### 3 UKREPI ZA ZAŠČITO POSTROJEV PRED UHAJAVIMI TOKI

Trasa 110 kV kablovodov, ki bo povezoval RTP PCL in RTP Toplarna se nahaja v neposredni bližini elektrificirane železniške vleke. Zaradi elektrificiranega napajanja pogonov železniške vleke, razporeditve ENP in poteka same železnice, obstaja z naslova uhajavih tokov možnost nastanka korozije na kovinskih elementih in ozemljitvenih sistemih vplivanih EE postrojev. Da bi v kar največji možni meri zmanjšali nevarnost korozije zaradi uhajavih tokov enosmerne železniške vleke, moramo izvesti kombinacijo ukrepov s katerimi preprečujemo njihov vdor v potencialno korozijsko ogrožene dele EE postroja, hkrati pa s temi ukrepi ne smemo vplivati na obratovalni in varnostni nivo ščitenih objektov.

#### 3.1 Predstavitev problematike

Kabelska povezava RTP PCL-RTP Toplarna (sistema RTP PCL-RTP Toplarna in RTP Center-RTP Toplarna odsek Toplarna-PCL) bo sestavljena dveh sistemov treh enožilnih KB z aktivnim bakrenim prerezo  $1200 \text{ mm}^2$  in s prerezom prevodnega ekrana  $130 \text{ mm}^2$ . Kot je znano, se enosmerni (uhajavi) toki, za razliko od izmeničnih, zaključujejo po poti, ki je odvisna le od ohmske upornosti poti. Zato obstaja verjetnost, da se bo ob vzpostavitvi KB povezave med RTP PCL in RTP Toplarna del stresanega oz. uhajavega toka železniške vleke zaključeval prek galvanskih povezav, ki se bodo s KBV povezavo vzpostavile med omenjenima lokacijama. Omenjene galvanske povezave predstavljajo lahko različne kovinske strukture, ki medsebojno povezujeta ozemljitvena sistema RTP PCL in RTP Toplarna in hkrati predstavljajo relativno nizko ohmsko povezavo (prevodni KB ekrani, valjanci, ipd.). Ob poznavanju te problematike bi lahko izvedbo 110 kV KBV povezave realizirali brez galvanskih povezav med ozemljitvenima sistemoma RTP PCL in RTP Toplarna, vendar je zaradi neugodnih kratkostičnih razmer nujno potrebno ustvariti zadosten redukcijski faktor, ki nam ozemljitveni sistem posamezne RTP razbremeni za večinski del kratkostičnega toka. Ta redukcijski faktor ustvarimo z dobro medsebojno galvansko povezavo ozemljitvenih sistemov obeh RTP, ki jo predstavlja kompenzacijski vodnik bakrenega prereza  $120 \text{ mm}^2$ , ki poteka vzporedno in v neposredni bližini KBV.

Tako imamo situacijo, kjer moramo zaradi zemeljskih kratkih stikov pri izmeničnih razmerah imeti dovolj nizek redukcijski faktor 110 kV KBV, da razbremenimo površinsko relativno majhne ozemljitvene sisteme obeh RTP (predvsem področje PCL). Po drugi strani pa moramo enosmernim tokom preprečiti vdor v tako nastale galvanske povezave, saj obstaja velika verjetnost nastanka korozijskih pojavov, ki bi jih povzročali uhajavi toki. Opisane kontradiktorne zahteve narekujejo sistematski pristop k problematiki, katerih rešitve naj zagotavljajo visoko obratovalno varnost in zanesljivost.

#### 3.2 Ozemljevanje prevodnih KB ekranov

Enožilni KB imajo prevodni KB ekran namenjen vzpostavljanja homogenega električnega polja v dielektriku KB oz. zaključevanju kapacitivnih in drugih tokov, ki se lahko v normalnem obratovanju ali pri okvarah pojavijo v samem KB ekranu. Koliko toka se bo po prevodnem KB ekranu zaključevalo med normalnim obratovanjem je odvisno predvsem od



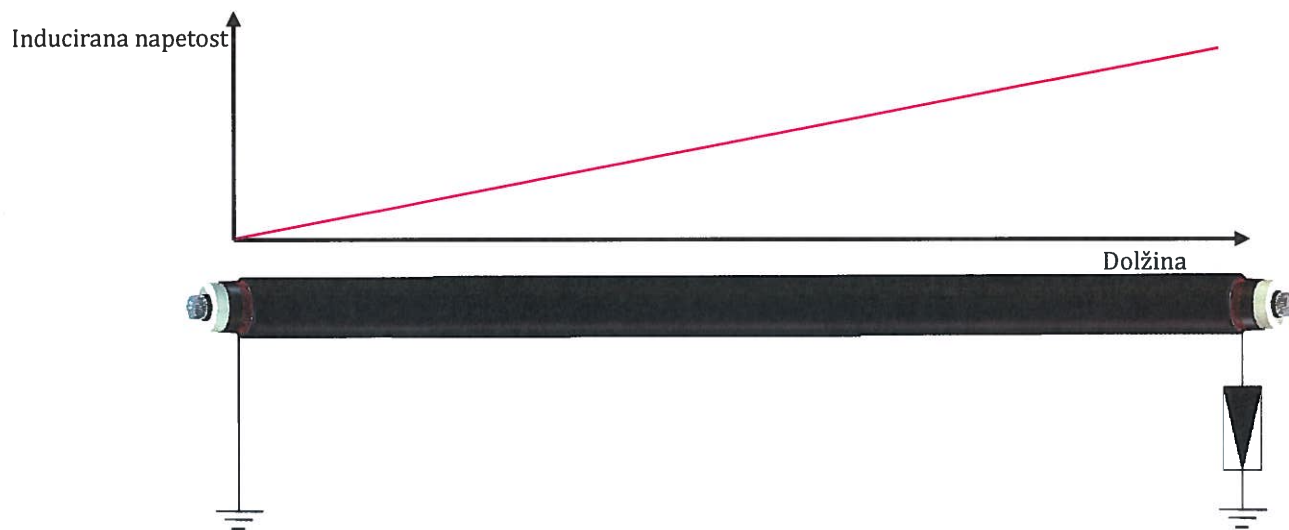
Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

načina njihovega ozemljevanja. Poznamo več načinov ozemljevanja KB ekranov in jih lahko na grobo razdelimo v dve kategoriji:

- obojestransko ozemljeni KB ekrani,
- enostransko ozemljeni KB ekrani.

V našem primeru je izrednega pomena, da se uhajavi enosmerni toki ne morejo zaključevati po prevodnih KB ekranih. To poleg korozijske ogroženosti ozemljitvenega sistema končnih postaj prinaša še dodatno termično obremenitev predmetnega KBV. Zato je potrebno uporabiti metodo z **enostransko ozemljenimi prevodnimi KB ekrani**. Na ta način preprečimo pretok enosmernih tokov v prevodnih KB ekranih, hkrati pa tudi eliminiramo dodatne termične obremenitve obravnavanega KBV, ki bi lahko nastale z naslova induciranih tokov v primeru obojestranske ozemljitve ekranov.

Ker so kabelski ekrani ozemljeni le v eni točki se s tem onemogoči sklenitev tokokroga. Inducirana napetost na KB ekranu tako ne more pognati inducirane toka, ki bi v kablu povzročal dodatne toplotne izgube, poleg tega pa s tem tudi učinkovito preprečimo pretok enosmernih tokov v prevodnih KB ekranih. Velikost inducirane napetosti na ekranu KB je premo sorazmerna z dolžino kabla, tokom kabelskega vodnika in medsebojne reaktance ( $X_m$ ) posameznih kabelskih žil. Slednja je odvisna od načina polaganja KBV in je večja pri ravninski razporeditvi, posebno pri zunanjih dveh kabelskih žilah. Pri dolgih in obremenjenih kablji se nivo inducirane napetosti lahko dvigne na visoke vrednosti, ki so lahko izolacijsko vprašljive, saj zunanji PE plašč kabla navadno ni niti konstruiran, niti dimenzioniran za visoke zdržne napetosti.



Slika 3.1: Profil inducirane napetosti vzdolž KB ekrana na enostransko ozemljenem KB ekranu.

Na neozemljenem koncu KB ekrana se med KB ekranom in zemljo vgradi ustrezen prenapetostni odvodnik. Ta mora biti dimenzioniran tako, da je v normalnih obratovalnih razmerah neaktiven. Slika 3.1 prikazuje shematski prikaz napetostnega profila inducirane napetosti na enostransko ozemljenem KB ekranu.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

Pri enostranskem načinu ozemljevanja prevodnih KB ekranov je potrebno s primernimi ukrepi zagotoviti njihovo ustrezno prenapetostno zaščito. Napetosti na KB ekranu so posledica indukcije, ki jo povzroča tok v KB vodniku ali vodniku v njegovi neposredni bližini.

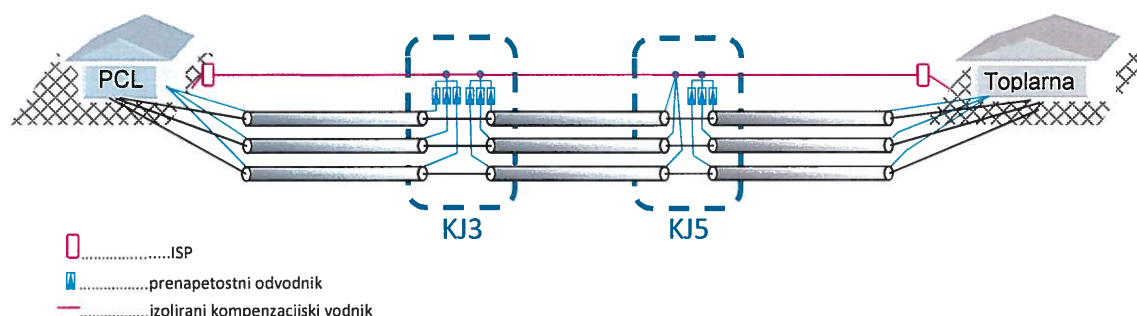
Inducirane napetosti obratovalnih frekvenc, ki bi se pojavile pri enostransko ozemljenih prevodnih ekranih KBV so izračunane s pomočjo programskega paketa LEIKA. Konfiguracija polaganja 110 kV KBV sistemov je povzeta po prejeti projektni dokumentaciji [4]. Rezultate izračunov prikazuje tabela 3.1.

### 3.3 Redukcijski faktor KBV

Redukcijski faktor ( $r$ ) je razmerje med ozemljitvenim tokom in vsoto ničnih tokov v vodnikih obratovalnega tokokroga trifaznega EE voda ( $r = I_E / 3I_0$ ). Z drugimi besedami, redukcijski faktor EE voda nam pove relativni delež zemeljskostičnega toka, ki se ob nastanku okvare zaključuje po zemlji, preostanek pa se zaključuje po zaščitni vrvi nadzemnega voda oz. prevodnih ekranih KBV. Redukcijski faktor je kompleksno število, vendar se največkrat obravnava in uporablja le njegova absolutna vrednost. Redukcijski faktorji vodov doprinesejo k razbremenitvam ozemljitvenih sistemov v okvaro vpletenih objektov in tako, s stališča dopustne napetosti dotika in koraka, povečujejo varnost ljudi in živali. V želji po zmanjšanih vplivih EE naprav na okolje stremimo po čim boljših oz. nižjih redukcijskih faktorjih EE vodov. Tu imamo v mislih predvsem iznos potenciala, dovoljeno napetost dotika in koraka ter vplive na vzporedno potekajoče kovinske linije (cegovodi in TK linije). Redukcijske faktorje EE vodov dosegamo z vzpostavitevjo ustreznih konduktivnih poti (zaščitna vrv nadzemnega voda, ekran KBV, kompenzacijski vodniki) med mestom nastanka okvare in virom zemeljskostičnega toka.

Velikost redukcijskega faktorja KBV je v prvi vrsti odvisna predvsem od načina ozemljitev prevodnih KB ekranov. Pri varianti z obojestransko ozemljenimi prevodnimi KB ekrani je vrednost redukcijskega faktorja najnižja, saj se nični tok vrača po prevodnem KB ekranu, ki zaradi koncentričnosti okoli prispevnega vodnika predstavlja najmanjšo možno nično reaktanco. V situaciji z enostransko ozemljenimi prevodnimi KB ekrani nastopi problematika zagotavljanja ustreznih redukcijskih faktorjev, ker tu ekrani zaradi svoje vzdolžne prekinjenosti ne opravljajo več celotne funkcije prevzemanja deleža zemeljskostičnih tokov. Zato je potrebno ob KBV, ki ima enostransko ozemljene prevodne KB ekrane, položiti kompenzacijski vodnik, kateri nam bo omogočal vzpostavitev ustrezne električne povezave s čimer je tudi zagotovljen redukcijski faktor. Ta kompenzacijski vodnik bo predstavljal galvansko povezavo med ozemljitvenima sistemoma RTP PCL in RTP Toplarna. V trasi KBV se bodo nanj vezali prenapetostni odvodniki prevodnih KB ekranov. Zaradi preprečitve vdora enosmernih uhajavih tokov v kompenzacijski vodnik in posledične možnosti nastanka korozijskih poškodb na prizadetih ozemljitvenih sistemih EE postrojev mora biti kompenzacijski vodnik v celotni trasi izoliran od okolice. Na obeh koncih se ga na ozemljitveni sistem posamezne RTP pritrdi preko posebne naprave (ISP), ki preprečuje vdor enosmernih tokov, izmenične veličine pa neovirano prepušča. Vezalno shemo načina ozemljevanja prevodnih KB ekranov 110 kV KBV RTP PCL-RTP Toplarna prikazuje slika 3.2.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015



Slika 3.2: Vezalna shema načina ozemljevanja prevodnih KB ekranov 110 kV KBV.

V računalniškem programu LEIKA smo izdelali celoten trasni model 110 kV KBV povezave v skladu z gabariti, ki so podani v dostavljeni dokumentaciji in jih prikazuje slika 2.1, razen za primer *polaganja tipa B*, kjer smo upoštevali zadnje ugotovitve in usmeritev (VENO 2794), kjer se morajo kompenzacijski vodniki nahajati **med** obema KB sistemoma. Na opisanem simulacijskem modelu smo opravili izračune pričakovanih induciranih napetosti na razzemljenih koncih enostransko ozemljenih prevodnih KB ekranov v normalnem obratovalnem stanju in ob zemeljskih stikih. Rezultati so normirani na tok 1 kA. Pri tem je upoštevan tudi tok enake smeri (neugodnejše) v vzporednem 110 kV KBV, ki poteka v isti trasi. Rezultate izračunov navaja tabela 3.1.

**Tabela 3.1: Inducirana napetost na razzemljenem koncu KB ekrana v normalnem obratovanju in ob EKS.**

Odsek 110 kV KBV >>>>		RTP PCL-KJ3	KJ3-KJ5	KJ5-RTP Toplarna
$^*U_i$ (V/kA)	normalno obratovanje	90	67	57
	enofazni kratki stik ( $3I_0$ )	511	446	369

\*.....najvišja napetost ekrana izmed vseh treh KB žil

Na omenjenem trasnem simulacijskem modelu smo izračunali tudi redukcijski faktor predmetnega 110 kV KBV PCL-RTP Toplarna, ki znaša

$$r = 0,22.$$

To pomeni, da bosta ozemljitvena sistema RTP PCL in RTP Toplarna v primeru enofaznega kratkega stika razbremenjena za slabih 80 %. V primeru, da pride do pretrganja oz. galvanke ločitve enega kompenzacijskega vodnika, se nam redukcijski faktor zniža na vrednost ca.  $r = 0,45$ .

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

V normalnem obratovalnem stanju se bo v kompenzacijskem vodniku induciral tok do

$$I_{\text{ind}} = 85 \text{ A}$$

normirano na kA obratovalnega toka. Izračunano velja seveda za simetrične razmere in je odvisno tudi od razporeditev faz, kar iz projektne dokumentacije ni razvidno. S povečevanjem nesimetrije se povečajo tudi inducirani toki v kompenzacijskih vodnikih.

### 3.4 Zaščita pred vdorom enosmernih uhajavih tokov z ISP napravo

V prostorih RTP PCL in RTP Toplarna je potrebno vgraditi napravo ISP, ki za izmenične (AC) električne veličine predstavlja galvansko povezavo, za enosmerne (DC) električne veličine pa visoko impedančno oviro. Naprava se vgradi na obeh straneh kompenzacijskega vodnika.

ISP je naprava, ki se uporablja za zaščito objektov (npr. kablov) proti vplivom korozije. Deluje na principu prevajanja AC toka ter blokadi DC toka, ki povzroča pojav korozije na kovinskih delih elementov postroja. Naprava je sposobna prenesti kratkostične toke v omrežju glede na predpisane karakteristike. ISP zagotavlja nizko impedanco do zemlje za inducirane AC toke in s tem preprečitev nevarnih napetosti, ki bi se lahko pojavile na objektu. V primeru udara strele zagotavlja prenapetostno zaščito do meje določene v specifikacijah.

Naprava ima določene omejitve delovanja, ki so predpisane z njenimi tehničnimi karakteristikami. V primeru prekoračitve teh vrednosti (induciranega AC toka in DC napetosti na terminalih) se impedanca močno zniža (kratkostičenje) in naprava v tem času prevaja tako AC kot DC tok do trenutka, ko vrednosti ponovne ne padejo pod predpisane meje.

Zato je potrebno pred vgradnjo ISP naprave pridobiti parametre, ki so potrebni za njeno izbiro, in sicer:

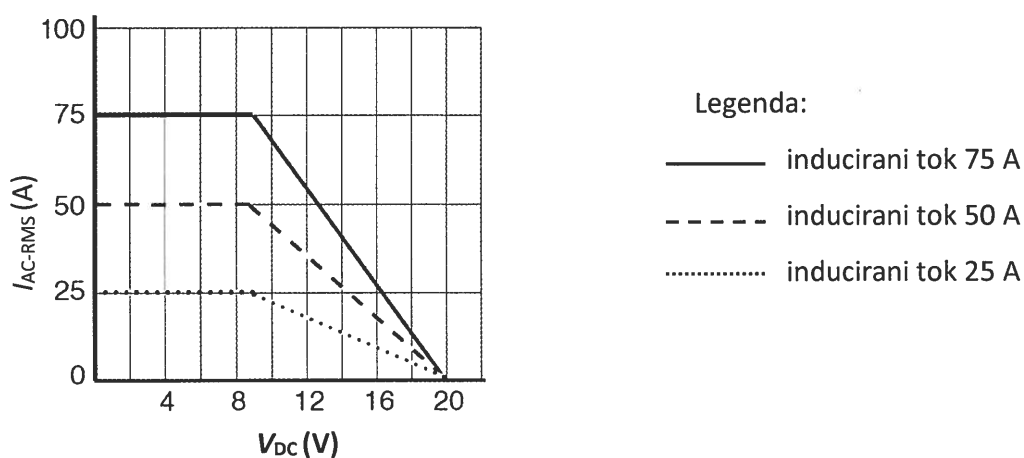
- DC napetost med točkama kjer bo naprava priključena,
- AC induciran tok v objektu na katerega bo naprava priklopljena,
- višino komponente kratkostičnega toka,
- višino toka za zaščito pred strelo.

ISP naprava deluje po naslednjih karakteristikah:

#### 3.4.1 Delovanje v DC področju

Naprava preprečuje prehod DC toka do vnaprej določene višine DC napetosti prikazane na sliki 3.3.

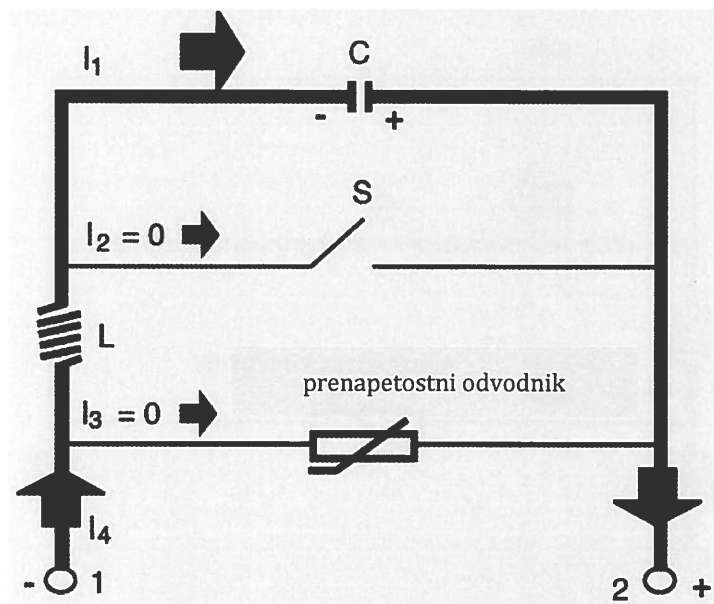
Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015



Slika 3.3: Karakteristika delovanja ISP naprave pri AC induciranjem toku ter DC napetosti na priključkih.

Na sliki 3.3 je izbrana naprava, ki blokira DC tok do skupne napetosti 20 V (= peak) pri različnih vrednostih induciranege toka v normalnem obratovalnem stanju. Njeno delno prevajanje se začne že pri nižjih vrednostih napetosti, pri nazivni vrednosti pa za enosmerne veličine predstavlja kratko sklenjen tokokrog. Vrednost 20 V predstavlja skupno višino tako enosmerne kot tudi izmenične napetosti, ki se pojavi na ščitenem kompenzacijskem vodniku ( $V_{DC} + V_{AC\ peak}$ ). V stanju prevajanja je sklenjena pot tako za AC kot tudi DC tok, dokler velikost toka ne pade pod vrednost vzdržnega toka. V tem času lahko vrednosti uhajavega toka presežejo vzdržne vrednosti, zato je dodano kontrolno vezje, ki lahko povrne napravo v normalno obratovanje tudi, če vrednosti DC toka dosežejo 40 A ali 100 A (določeno s karakteristiko naprave). Slika 3.4 prikazuje potek toka pri normalnem obratovanju naprave, ko prevaja AC tok ter blokira DC tok. V primeru, da DC napetost na priključkih terminala ostane nad mejno vrednostjo, se na terminalu prižge signalna luč, ki javi, da je naprava v stanju prevajanja.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015



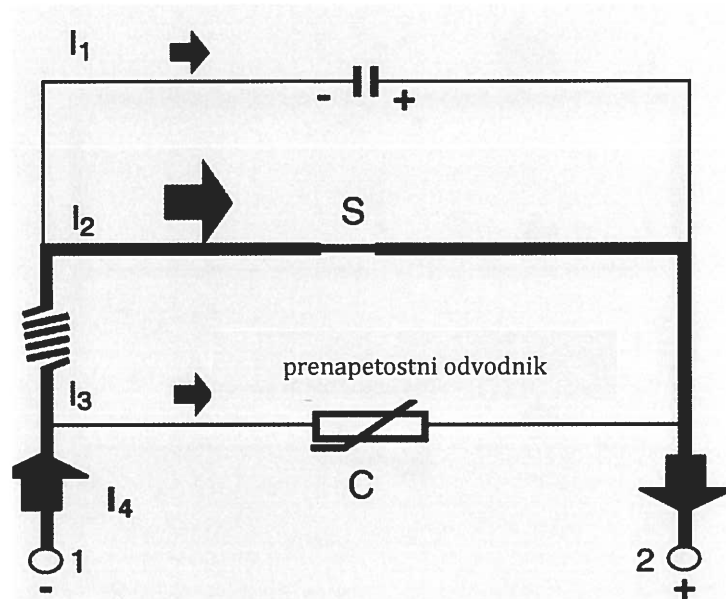
Slika 3.4: Prevajanje toka pri normalnem delovanju naprave (prevajanje AC in blokada DC).

### 3.4.2 Delovanje v AC področju

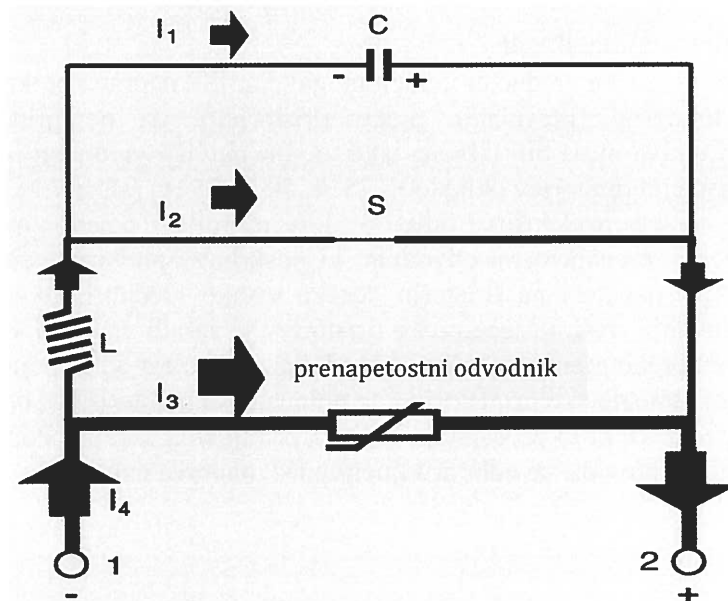
V primeru presežene mejne vrednosti induciranega toka ISP naprava preko kontrolne enote (SCR) sklene tokokrog (prevajanje preko tiristorjev), da ne pride do poškodbe kondenzatorja. Naprava mora biti izbrana tako, da pri najvišji vrednosti induciranega toka ne prihaja do delovanja tiristorjev (stikalo S, 25 A, 50 A, 75 A) (slika 3.4).

V primeru atmosferske razelektritve (slika 3.5) se na tuljavi pojavi visoka napetost, na podlagi katere deluje prenapetostni odvodnik, ki poskrbi za prevzem večjega deleža toka preko naprave. Ker napetost na tiristorju doseže visoke vrednosti, so ti v času napake postavljeni v delovanje. Tok, ki teče preko tiristorjev je zaradi višje impedance majhen, v primerjavi s tokom preko prenapetostnega odvodnika.. Napetost, ki se pojavi na priključkih naprave v primeru atmosferske razelektritve je določena s karakteristiko odvodnika (MOV) oz. še bolj z impedanco, ki jo predstavlja dolžina priključnih kablov. Pomembno je, da je dolžina priključnih kablov pri izvedbi priključitve ISP naprave čim krajša.





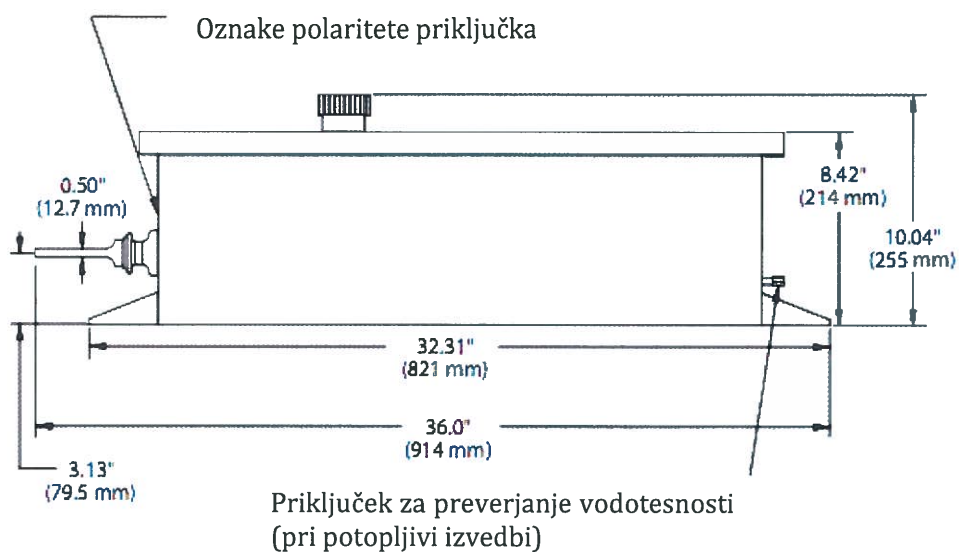
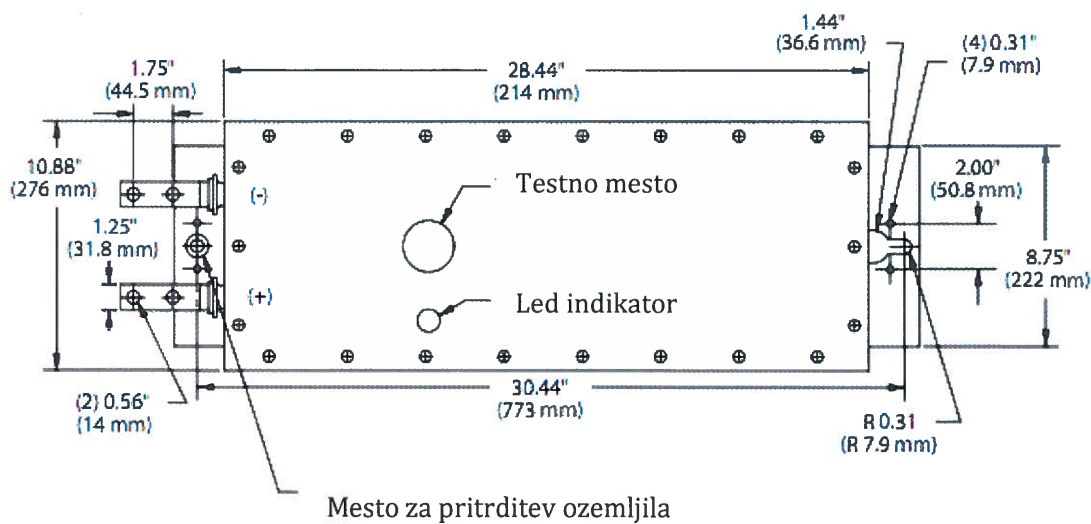
Slika 3.5: Prevajanje toka pri preseženih vrednostih AC toka in kratkih stikih.



Slika 3.6: Prevajanje toka pri atmosferskih razelektritvah.

Na podlagi vseh relevantnih parametrov se izbere naprava z zahtevanimi karakteristikami. Na prostoru, kjer se bo naprava vgradila je potrebno pustiti zadosten prostor za njeno vgradnjo. Ta prostor mora biti dostopen tudi med obratovanjem postroja za potrebe redne kontrole delovanja naprave. Dimenzije naprave so odvisne od njenih karakteristik in so prikazane na sliki 3.7. Velikost naprav se glede na zahtevane karakteristike nekoliko razlikuje.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015



Slika 3.7: Dimenzije ISP naprave.

### 3.5 Izbira in vgradnja ISP naprave

Kakor je že navedeno v poglavju 3.4 je potrebno pred vgradnjo ISP naprave pridobiti parametre, ki so potrebni za njeno izbiro, in sicer:

- DC napetost med točkama kjer bo naprava priključena,
- AC induciran tok v objektu na katerega bo naprava priklopljena,
- višino komponente kratkostičnega toka,
- višino toka za zaščito pred strelo,

#### 3.5.1 Določitev DC napetosti

Na sliki 3.3 vidimo, da so ISP naprave dimenzionirane glede na enosmerno napetost do 20 V. Glede na konfiguracijo trase KBV, RTP PCL in RTP Toplarna v razmerju do elektrificirane enosmerne železniške vleke, je nemogoče izračunati višino enosmerne napetosti, ki se lahko pojavi na ISP napravi in je potrebno, po izgradnji 110 kV KBV RTP PCL-RTP Toplarna in pred njenim obratovanjem, na vzporedno položenem kompenzacijskem vodniku izvesti meritve potencialov enosmerne napetosti. Meritve naj se izvedejo v daljšem časovnem obdobju, da se zajame maksimalna napetost med priključnima sponkama glede na vozni red vlakov na trasi, ki poteka vzporedno s traso KBV. Istočasno je potrebno od Slovenskih železnic pridobiti vozne rede za to obdobje. Iz meritev se določi višina maksimalne enosmerne napetosti na podlagi katere se izbere karakteristika ISP napravi. V primeru prenizko izbrane karakteristike, naprava ne bo opravljala svoje funkcije (neprestano prevajanje DC toka) in ne ščiti postrojev pred korozijo.

#### 3.5.2 Določitev AC toka na KBV RTP PCL-RTP Toplarna

Poleg višine enosmerne napetosti in izmeničnega kratkostičnega toka je izmed pomembnejših parametrov pri izboru ustrezne ISP naprave velikost izmeničnega inducirane toka v kompenzacijskem vodniku med normalnim obratovanjem 110 kV KBV. Proizvajalec ISP naprav ima v svoji standardni ponudbi naprave, ki zmorejo prenesti trajno obremenitev izmeničnega toka 75 A (slika 3.3), mogoče pa je naročiti tudi napravo z višjimi karakteristikami. Izračuni kažejo, da bi ob predpostavljeni razporeditvi kompenzacijskih vodnikov in formacijah polaganja predmetnega 110 kV KBV lahko ob termičnem toku 804 A pričakovali pod 70 A inducirane toka v posameznem kompenzacijskem vodniku. V primeru polaganja *tipa B* je treba kompenzacijske vodnike polagati med obema KB sistemoma. V tem primeru dobimo nižje vrednosti induciranih tokov v kompenzacijskih vodnikih, kot je podrobneje razloženo v poročilu VENO 2794.

Izračunane vrednosti redukcijskega faktorja KBV in inducirane toka v kompenzacijskih vodnikih je v veliki meri odvisna od dejanske geometrijske razporeditve faznih vodnikov (KB žil) in kompenzacijskih vodnikov. Glede na dejstvo, da gre pri predmetnem KBV za kompleksen potek trase z razgibanim vertikalnim profilom ter petimi različnimi tehnikami polaganje in posledično geometrijami vkopa, obstaja velika verjetnost pojava odstopanj, ki so največkrat rezultat prilagoditvene narave tehnične izvedbe. Iz navedenih razlogov lahko dejanske vrednosti odstopajo od izračunanih, kar bi lahko pomenilo nepravilno delovanje zaščitne naprave ISP in/ali njeno uničenje. Zato po končanih gradbenih in elektro delih

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

priporočamo izvedbo meritev, ki bodo pokazale dejansko izvedbeno stanje, iz katerih se lahko natančno izračuna in določi parametre, ki so potrebni za dimenzioniranje naprave ISP.

### 3.5.3 Določitev EKS in toka za zaščito pred strelo

Eden izmed poglavitnejših parametrov pri izbiri in dimenzioniranju ISP naprav je določitev maksimalnega kratkostičnega toka, ki ga naprava še lahko prevaja brez poškodb. Napravi ISP bosta vgrajeni zaporedno s kompenzacijskim vodnikom 110 kV KBV RTP PCL-RTP Toplarna. Kot je opisano v poglavju 3.3 tega poročila znaša redukcijski faktor obravnavanega 110 kV KBV  $r = 0,22$ . To pomeni, da bo ca 80 % zemeljskostičnega tokovnega prispevka 110 kV KBV prevajal kompenzacijski vodnik ter posledično tudi ISP napravi. Na osnovi pričakovanih kratkostičnih izračunov, ki so v skladu z zadnjimi uradnimi razvojnimi načrti [1] lahko izračunamo predvidene tokovne obremenitve, ki bodo bremenile ISP napravi. Pri tem so med posameznima sistemoma 110 kV zbiralnic v RTP Kleče in RTP Beričevo upoštevane kratkostične dušilke [3].

Pričakovani EKS na 110 kV zbiralkah v RTP PCL in RTP Toplarna s prispevki obravnavane 110 kV KBV povezave RTP PCL-RTP Toplarna ter posledične tokovne obremenitve kompenzacijskih vodnikov in ozemljitvenih sistemov RTP prikazuje tabela 3.2.

**Tabela 3.2: Tokovne obremenitve 110 kV KBV, pripadajočega kompenzacijskega vodnika in ozemljitvenega sistema posamezne RTP.**

RTP	$\sum I_0$ (kA)	prispevek KBV (kA)	tok skozi ozemljitven sistem RTP (kA)	tok kompenzac. vodnika (kA)	ostali prispevki (kA)
PCL	22,1	15,4	4,9	12,0	6,7
Toplarna	24,3	4,5	5,4	3,5	19,8

Iz rezultatov v tabeli 3.2 so razvidne tudi pričakovane tokovne obremenitve ISP naprav, ki so identične toku kompenzacijskega vodnika. Na podlagi teh izračunov se izbere ustrezno dimenzionirano ISP napravo čigar kratkostične specifikacije zadoščajo predvidenim kratkostičnim tokom in času, s katerim bo naprava z omenjenim tokom obremenjena. To pa je odvisno tudi od vrste uporabljene zaščite, s katero se bo ščitil 110 kV KBV in 110 kV zbiralke.

Glede zaščite ISP naprave je potrebno upoštevati tudi izokeravnični nivo na področju mesta Ljubljana, da se na podlagi tega izbere ustrezen model, ki zagotavlja ustrezen nivo zaščita pred delovanjem strele.

## 5.5 Vezava KB ekranov v jaških

Zaradi zahtevnosti naloge in velike možnosti vdora uhajavih tokov elektrificirane enosmerne železniške vleke v dele 110 kV KBV in ozemljitvene sisteme galvansko povezanih EE postrojev je dosledno upoštevanje izvedbenih navodil izrednega pomena. Shematsko vezavo in način ozemljitve prevodnih KB ekranov nazorno prikazuje slika 3.8. Prenapetostne odvodnike, ki se montirajo na razzemljenem koncu prevodnega KB ekrana se vgradi v predvidenih jaških, ki so bili prvenstveno namenjeni prepletanju KB ekranov. Na trasi 110 kV KBV RTP PCL-RTP Toplarna sta predvidena dva takšna jaška: KJ3 in KJ5.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

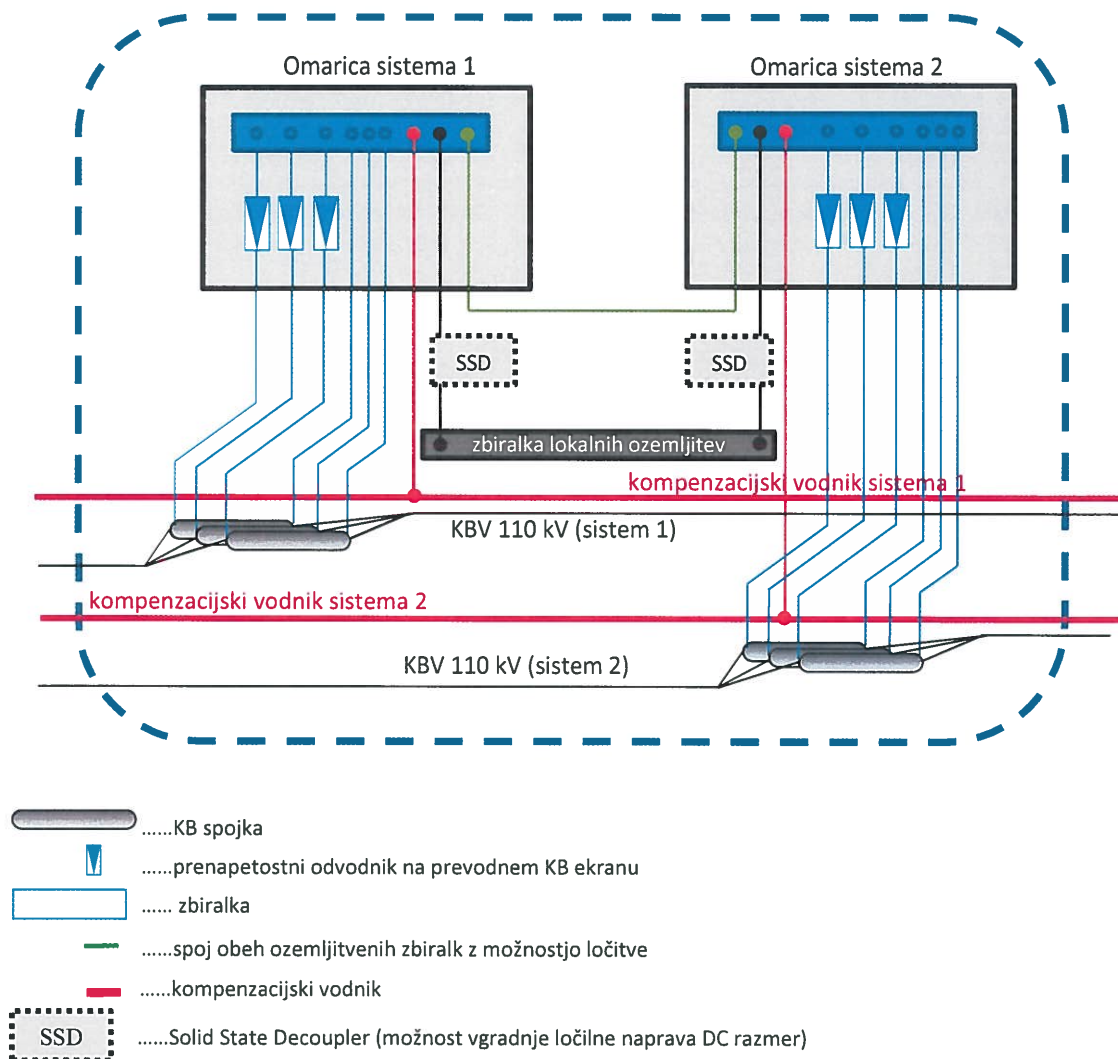
---

V vsakem jašku naj se za vsak sistem 110 kV KBV montira zbiralka ustreznega preseka, ki bo omogočala pregledno priključevanje prenapetostnih odvodnikov, prevodnih KB ekranov ter kompenzacijskega vodnika. V jašku, kjer potekata dva 110 kV KB sistema, naj se za vsak sistem ločeno vgradi svojo zbiralko tako, da je možno izvesti medsebojno spojitve. Zato naj bodo predvidene omarice blizu druga drugi in na isti steni. Vsi povezovalni vodniki morajo biti ustreznega prereza, ki ga določa enofazni kratkostični tok KBV, zlasti povezave prenapetostnih odvodnikov naj bodo čim krajše in neposredne. Pri tem je potrebno vso omenjeno napeljavo ohraniti galvansko ločeno od lokalno ozemljenih delov.

V neposredni bližini omaric naj se predvidi ozemljitveno zbiralko na katero se poveže vse prevodne strukture, ki se nahajajo v dotičnem jašku (ozemljitve jaška, kovinske konstrukcije nosilcev KB spojk itd.). Razdalja med ozemljitveno zbiralko lokalnih ozemljitev in omaricami za preplet naj bo takšna, da bo v bodoče mogoče opraviti neposredno galvansko povezavo z zbiralko kompenzacijskega vodnika oz. v primeru ugotovljene ogroženosti lokalnih ozemljitev jaška z naslova uhajavih tokov, predvideti možnost vgradnje zaščitnega elementa (npr. SSD). Velikost predvidenega zaščitnega elementa skupaj s povezovalnimi vezmi ne presega 35 cm. Slika 3.8 prikazuje način priključitve enostransko ozemljenih prevodnih KB ekranov, prenapetostnih odvodnikov na razzemljenem koncu prevodnih KB ekranov 110 kV KBV, kompenzacijskih vodnikov ter lokalnih ozemljenih prevodnih struktur v posameznem jašku.



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015



Slika 3.8: Shematska izvedba načina ozemljitve prevodnih KB ekranov in prenapetostnih odvodnikov v posameznem jašku.

V posamičnem jašku se glede na dolžino posameznega odseka 110 kV KBV in pričakovanega obremenilnega toka pojavijo v normalnem obratovanju na razzemljenih koncih prevodnih KB ekranov inducirane napetosti, katerih velikost je odvisna od konfiguracije polaganja, dolžine KB odseka ter velikostjo obremenilnega toka. Dokončno dimenzioniranje prenapetostnih odvodnikov je potrebno izvesti z ustrezno programsko opremo, kjer se v obzir vzame tudi pričakovane maksimalne kratkostične razmere in ostale prenapetosti.



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

## 4 ZAKLJUČEK

### Splošno

Na osnovi prejete dokumentacije, poznavanja problematike uhajavih tokov, kratkostičnih razmer na območju mesta Ljubljana, ozemljevanja EE postrojev in nevarnosti korozije smo preučili vplive enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV PCL-Toplarna ter na njene priključne RTP.

V tem kontekstu smo obdelali zlasti preprečevanje vdora uhajavih tokov elektrificirane enosmerne železniške vleke v prevodne strukture EE postrojev in njim pripadajočim naprav (KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna ter KBV RTP Center-RTP Toplarna odsek Toplarna- PCL).

### Trasa KBV

V trasi 110 kV KBV naj vzporedno ob KB poteka izolirana bakrena vrv prereza  $120 \text{ mm}^2$ , ki se jo na koncih poveže na ozemljitveni sistem posamezne RTP z ISP napravo, katera preprečuje prehajanje DC toka, izmeničnim veličinam pa omogoča neovirano pot. S tem tudi zagotovimo ustrezen redukcijski faktor KBV, ki učinkovito razbremeni ozemljitveni sistem priključnih RTP. ISP napravo se vgradi v prostor RTP tako, da je za namen rednih pregledov in vzdrževanja tudi v času obratovanja postroja možen neoviran dostop.

Zaradi zmanjšanja iznosa induciranih tokov v kompenzacijskem vodniku naj v trasi ta vedno poteka med obema KB sistemoma, zato se v načinu polaganja *tipa B* v projektu to korigira.

### Ozemljevanje KB ekranov

Za preprečevanje pretoka enosmernih uhajavih tokov po prevodnih delih 110 kV KBV ter posledično povezane korozije ozemljitvenih sistemov priključnih RTP smo v tem sklopu definirali tudi način ozemljitev prevodnih KB ekranov. Ti morajo biti ozemljeni enostransko. Na razzemljenih koncih prevodnih KB ekranov se namestijo ustrezni prenapetostni odvodniki, ki niso aktivni ob normalnih obratovalnih razmerah. Prenapetostne odvodnike se namesti med razzemljenim koncem KB ekrana in bakrenim kompenzacijskim vodnikom, ki poteka vzporedno ob predmetnem KBV.

Preučevani 110 kV KBV PCL-Toplarna se glede ozemljevanja prevodnih KB ekranov razdeli na tri sekcije, katerih dolžine določajo jaški, ki so bili predvideni za preplet ekranov (KJ3 in KJ5). V teh jaških se izvede spajanje posameznih prevodnih KB ekranov na način, ki ga opisuje slika 3.8 tega poročila. Pripadajoče omarice za ozemljevanje KB ekranov naj bosta blizu druga drugi na isti steni, da je omogočeno pregledno medsebojno povezovanje obeh kompenzacijskih vodnikov vzporednih KB sistemov. Pod omaricama naj se nahaja skupna ozemljitvena zbiralka, ki je povezana z lokalnimi ozemljitvami jaška. Na njo naj bodo priključena vse prevodne strukture, ki se nahajajo v dotičnem jašku (ozemljitve jaška, kovinske konstrukcije nosilcev KB spojk itd.). Razdalja med ozemljitveno zbiralko lokalnih ozemljitev in omaricami za preplet naj bo takšna, da bo v bodoče mogoče opraviti neposredno galvansko povezavo z zbiralko kompenzacijskega vodnika oz. v primeru ugotovljene ogroženosti lokalnih ozemljitev jaška z naslova uhajavih tokov, predvideti možnost vgradnje zaščitnega elementa (npr. SSD). Velikost predvidenega zaščitnega elementa skupaj s povezovalnimi vezmi ne presega 35 cm.

Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

V preostalih pomožnih jaških se galvansko povezavo med bakrenim kompenzacijskim vodnikom in lokalnimi ozemljitvami jaška ne izvede.

### **Kratkostične razmere**

Ker sta priključne RTP v GIS izvedbi in sta locirani v gostem urbanem okolju ter imata ob končnem razvojnem planu omrežja mesta Ljubljane relativno visoko kratkostično moč se pojavi problem odvajanja zemeljskostičnih tokov skozi omejen ozemljitveni sistem. Zato je nujno, da priključnim 110 kV KBV zagotovimo ustrezen redukcijski faktor. To storimo s polaganjem kompenzacijskega vodnika bakrenega prereza  $120 \text{ mm}^2$  ob posameznem KB trojčku posameznega sistema. Kompenzacijski vodnik mora biti v trasi KBV izoliran od okolice. Izračunani redukcijski faktor znaša  $r = 0,22$ .

### **Dimenzioniranje naprave ISP**

ISP je naprava, ki blokira enosmerne električne veličine, izmenične pa prepušča. Njeno dimenzioniranje zahteva natančno poznavanje električnih parametrov okolja v katerega se vgrajuje. Zaradi tipskih izvedb moramo poznati:

1. DC napetost med točkama kjer bo naprava priključena,
2. AC induciran tok v objektu na katerega bo naprava priključena,
3. višino komponente kratkostičnega toka,
4. višino toka za zaščito pred strelo.

To so osnovni vhodni podatki, ki jih potrebujemo za dimenzioniranje ISP naprave. Medtem, ko se podatke iz 2., 3. in 4. alineje lahko izračuna se podatki o DC napetosti, ki je posledica uhajavih tokov elektrificirane enosmerne železniške vleke lahko pridobi le z meritvami. Zato naj se po končanih delih na ozemljitvenem sistemu RTP PCL in RTP Toplarna ter izvedeni povezavi 110 kV KBV PCL-Toplarna na lokacijah predvidene vgradnje ISP naprav opraviijo meritve potencialov enosmerne napetosti, ki naj se izvedejo v takem obsegu, da se zajame celoten vozni red vlakov v določenem obdobju.

Izračunane vrednosti redukcijskega faktorja KBV in induciranega toka v kompenzacijskih vodnikih je v veliki meri odvisna od dejanske geometrijske razporeditve faznih vodnikov (KB žil) in kompenzacijskih vodnikov. Glede na dejstvo, da gre pri predmetnem KBV za kompleksen potek trase z razgibanim vertikalnim profilom ter petimi različnimi tehnikami polaganja in posledično geometrijami vkopa, obstaja velika verjetnost pojava odstopanj, ki so največkrat rezultat prilagoditvene narave same izvedbe. Poleg tega trasa večkrat prečka obstoječo infrastrukturo, ki sama po sebi lahko doprinese k spremembi redukcijskega faktorja. Iz navedenih razlogov lahko dejanske vrednosti odstopajo od izračunanih, kar bi lahko pomenilo nedelovanje zaščitne naprave ISP in/ali njene poškodbe. Zato po končanih gradbenih in elektro delih priporočamo meritve, ki bodo pokazale dejansko izvedbeno stanje, iz katerih se lahko natančno izračuna in določi parametre, ki so potrebni za dimenzioniranje naprave ISP.

Za točno določitev višine induciranega toka pri normalnem obratovanju, naj se v času poskusnega obratovanja izvedejo meritve le-tega, ki naj trajajo vsaj 24 ur. S tem bomo potrdili izračune, ker zaradi zahtevnosti izgradnje vseh parametrov potrebnih za izračun ni možno upoštevati.



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo.  
VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

Z upoštevanjem navedenih navodili in ukrepov se nevarnosti korozije in nepotrebnih termičnih obremenitev KBV, ki pretijo z naslova uhajavih tokov enosmerne železniške vleke, zmanjšajo na minimalno možno raven.



Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV RTP PCL-RTP Toplarna, Strokovno poročilo. VENO 3386. Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar. 2015

---

## LITERATURA

1. Poročila o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV PCL-TOPLARNA, VENO - 2794, EIMV, Februar 2012
2. Strategija razvoja elektroenergetskega sistema Republike Slovenije, Načrt razvoja prenosnega omrežja od leta 2013 do leta 2022, ELES, d.o.o., december 2012.
3. Analiza možnosti omejevanja kratkostičnih tokov v prenosnem omrežju EES Slovenije, študija št.: 2101, EIMV in FE, Ljubljana 2012.
4. IBE [Blok shema 110 kV kabelske trase, IBE, PGD, ID oznaka DK07---5E3100 1/2, 04.2015].
5. IBE [Blok shema 110 kV kabla in kabelske opreme, IBE, PGD, ID oznaka DK07---5E3100 2/2, 04/2015].