



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 CENTER – TE-TOL**

Poročilo: VENO – 2818

Ljubljana, maj 2012



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 CENTER – TE-TOL**

Poročilo: VENO – 2818

Ljubljana, maj 2012

Direktor:

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



Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

Besedilo smo oblikovali z

- Microsoft Word 2007, podjetja Microsoft Corporation,
- Microsoft Excel 2007, podjetja Microsoft Corporation.

Za oblikovanje slik smo uporabili program:

- MAP 2008, izdelovalca AutoDesk.

Pooblastila:

- Certifikat ISO 9001:2000 za razvojno-raziskovalno dejavnost, inženiring, svetovanje, strokovno ocenjevanje ter preskušanje na področju elektroenergetike in splošne energetike zagotavljanje kakovosti, številka certifikata 12 100 23886 TMS, veljaven do 25.11.2010.
- Pooblastilo po 108. členu Energetskega zakona, dopis št.: 311-29/2004, z dne 3.11.2004, Ministrstvo za okolje prostor in energijo.
- Pooblastilo za izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa za nizkofrekvenčne vire elektromagnetnega sevanja, številka pooblastila: 35459-4/2004, dne 19.5.2005, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Pooblastilo za izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa hrupa za vire hrupa, številka pooblastila: 35445-1/2007-2, dne 12.1.2007, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Pooblastilo/dovoljenje za delo za opravljanje strokovnih nalog varnosti pri delu iz 2. Člena Pravilnika o pogojih za pridobitev dovoljenja za delo za opravljanje strokovnih nalog varnosti pri delu, številka dovoljenja 10202/00044/2003, z dne 15.12.2003 ter številka odločbe 02039-68/2006, z dne 7.7.2006, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve.
- Odločba za ugotavljanje skladnosti proizvodov v skladu z 11. členom Pravilnika o elektromagnetni združljivosti (Ur. l. RS št.: 132/06), številka odločbe: 3201-3/2004-8, z dne 26.11.2007, Ministrstvo za gospodarstvo.
- Akreditirane postopke po zahtevah standarda SIST EN ISO/IEC 17025:2005, številka akreditacijske listine LP-063.

© Elektroinštitut Milan Vidmar 2012.

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

Naslov: Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center – TE-TOL

Oznaka poročila: VENO – 2818

Naročilo: Naročilnica št. 159333, z dne 18.02.2012

Delovni nalog: 212625

Naročnik: **Elektro Ljubljana, d.d.**
Slovenska cesta 58, 1000 Ljubljana

Odgovorni pri naročniku: Stevo RADIČEVIĆ, univ. dipl. inž.el.,
mag. Karol GRABNER, univ. dipl. inž.el.

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

Nosilec: Rado ISAKOVIĆ, univ. dipl. inž.el.,
mag. Jure STRMEC, univ. dipl. inž.el.

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

Obseg poročila: 32 strani

Število izvodov: 5

Datum izdelave: maj 2012

Odgovorni nosilec:



Rado ISAKOVIĆ, univ. dipl. inž. el.

Vodja oddelka:



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



ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

KAZALO

1. NALOGA	1
1.1 PREDMET POROČILA	1
1.2 NAMEN RAZISKAV	1
2. PREGLED PROSTORSKE umestitve KBV 110 kV RTP CENTER – TE-TOL	3
2.1 PROSTORSKA UMESTITEV KBV 110 kV RTP CENTER – TE-TOL	3
2.2 KBV 110 kV RTP CENTER – TE-TOL IN OBJEKTI ENOSMERNE ŽELEZNIŠKE VLEKE	3
3. DEFINIRANJE PROBLEMA UHAJAVIH TOKOV, KI JIH POVZROČA ENOSMERNNA ŽELEZNIŠKA VLEKA	7
3.1 DEFINICIJA UHAJAVIH TOKOV (SIST EN 50122-2)	7
3.2 KOROZIJA ZARADI UHAJAVIH TOKOV (SIST EN 50162)	7
4. PREGLED PROJEKTOV INFRASTRUKTURNIH IN ZAŠČITNIH INSTALACIJ	9
4.1 NAČIN POLAGANJA KABLA	9
5. UKREPI ZA ZAŠČITO POSTROJEV PRED UHAJAVIMI TOKI	11
5.1 PREDSTAVITEV PROBLEMATIKE	11
5.2 OZEMLJEVANJE PREVODNIH KB OPLETOV	11
5.3 USTVARJANJE REDUKCIJSKEGA FAKTORJA KBV	13
5.4 ZAŠČITA PRED VDOROM ENOSMERNIH UHAJAVIH TOKOV V 110 kV KBV RTP CENTER – TE-TOL IN V OZEMLJITVENE SISTEME RTP CENTER IN TE-TOL Z ISP NAPRAVO	19
5.4.1 Delovanje v DC področju	20
5.4.2 Delovanje v AC področju	21
5.5 IZBIRA IN VGRADNJA ISP NAPRAVE	25
5.5.1 Določitev DC napetosti	25
5.5.2 Določitev AC toka na KBV RTP Center – TE-TOL	25
5.5.3 Določitev toka EKS in toka za zaščito pred strelo	25
5.6 VEZAVA KB EKRANOV V JAŠKIH	26
6. ZAKLJUČEK IN STROKOVNA OCENA	31
7. LITERATURA	32

Seznam uporabljenih simbolov

$3I_0$	trikratni homopolarni tok voda
I_{AC-RMS}	izmenična efektivna vrednost toka skozi ISP napravo
r	redukcijski faktor EE voda
r_a	redukcijski faktor kablovoda sistema a
r_b	redukcijski faktor kablovoda sistema b
U_i	inducirana napetost na prevodnih kabelskih ekranih
$V_{AC\ peak}$	temenska vrednost amplitude izmenične napetosti
V_{DC}	vrednost enosmerne napetosti na sponkah ISP naprave

Seznam uporabljenih kratic

CB	kabelski preplet (<i>ang. cross bonding</i>)
EE	elektro energetski
ENP	enosmerna napajalna postaja
ISP	izolirno/prenapetostna zaščitna naprava (<i>ang. Insulator/Surge Protector</i>)
KB	kabel
KBV	kablovod
NV	nadzemni vod
RTP	razdelilna transformatorska postaja
TE-TOL	termoelektrarna – toplarna Ljubljana

POVZETEK

Poročilo o potrebnih zaščitnih ukrepih ozemljitvenih sistemov RTP Center, kompleksa TE-TOL in KBV 110 kV, ki povezuje navedene RTP, glede verjetnosti korozijske ogroženosti elementov zaradi uhajavih enosmernih tokov železniške vleke, ki poteka praktično vzporedno s traso predvidene kabelske povezave.

Ključne besede: Uhajavi toki enosmerne železniške vleke, konstrukcijski ukrepi, protikorozijska zaščita, prenapetostna zaščita.

1. NALOGA

1.1 Predmet poročila

V pričujočem poročilu so obdelani problemi in podane rešitve za korozijsko in prenapetostno zaščito KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL in ozemljitvenih sistemov RTP Center in TE-TOL, pred uhajavimi toki enosmerne železniške vleke, ki bo potekala vzporedno v neposredni bližini trase kableske povezave in navedene RTP in TE-TOL.

1.2 Namen raziskav

Namen izdelave poročila je ugotoviti kje in v kakšni meri je možen vdor enosmernih tokov v ozemljitvene sisteme RTP Center in TE-TOL in 110 kV kableske povezave, ter način zaščite naprav navedenih objektov pred korozijskim delovanjem tokov enosmerne železniške vleke.

Na osnovi analize projektne dokumentacije, izračunov enofaznih kratkostičnih tokov pri zemeljskih stikih v omenjenih RTP in na 110 kV KBV, izračunih prenapetosti, ki se pojavijo na kablskem plašču zaradi obratovalnih tokov, bomo predlagali način in izvedbo potrebne zaščite pred korozijskimi vplivi.

To je potrebno, da bo gradnja KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL izpolnjevala zahteve standardov, ki definirajo zaščitne ukrepe zaradi enosmerne železniške vleke:

- **SIST EN 50122-1:1998** - Železniške naprave – Stabilne naprave električne vleke – 1. del: Zaščitni ukrepi glede električne varnosti in ozemljitev.
- **SIST EN 50122-2:1998** - 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



ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

2. PREGLED PROSTORSKE UMESTITVE KBV 110 kV RTP CENTER – TE-TOL

2.1 Prostorska umestitev KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL

Umestitev KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL v prostor je razviden iz idejnih zasnov (IDZ), št. projekta: 7091, 110 kV kabelska povezava med RTP Vrtača in RTP Center in sicer na relaciji od RTP Center do KJ27 in iz projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD), katerega del je načrt električnih inštalacij in električne opreme 110 kV povezave KBV 2×110 kV RTP Litostroj - RTP PCL na odseku KJ 27, kjer se priključi trasa od RTP Center, do KJ29, kjer se odcepi v KJ29 proti RTP PCL, od KJ29 poteka v isti trasi s KBV 110 kV TE-TOL- RTP PCL, kar je razvidno iz Projekta IDZ, 110 kV kabelska povezava med RTP PCL in RTP Toplarna in Projekta IDZ št.: DKPCTO – A572/239, 2×110 kV kabelska povezava med RTP PCL in RTP Toplarna.

Stikališče RTP Center v pokriti izvedbi na principu prostozračnega se nahaja v samem centru Ljubljane v poslovno stanovanjskem delu stikališča, stikališče v GIS izvedbi 110 kV TE-TOL pa se nahaja v sklopu elektroenergetskega kompleksa TE-TOL. Prvi del trase od RTP Center do kabelskega jaška KJ27, poteka po prometnicah in križa železniško progo v bližini glavne železniške postaje Ljubljana in se po Vilharjevi cesti pri KJ29 priključi na RTP PCL. Od KJ29 poteka trasa od novogradnje PCL in po prečkanju Šmartinske ceste po Kolinski ulici in Ob zeleni jami pride trasa do železniške proge in poteka vzporedno z njo do Kajuhove ulice, kjer prečka podhod in železniško progo in se priključi na področje stikališča RTP Toplarna.

Iz situacije trase je razvidno, da poteka trasa 110 kV KBV v večini dolžine v koridorju od 20 m do 200m od železniške proge, kar pomeni, da bo obravnavani 110 kV KBV v koridorju (± 600 m) elektrificirane železniške vleke in s tem pod vplivom njenih uhajavih tokov.

2.2 KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL in objekti enosmerne železniške vleke

Kot je razvidno iz pregledne situacije umestitve [4, 5, 6, 7, 8 in 9], bo KBV umeščen praktično v presečišče elektrificiranih železniških prog, ki potekajo v smereh Ljubljana – smer Gorenjska, Ljubljana – smer Primorska in Ljubljana – smer Dolenjska.

Proge v vseh treh smereh imajo svoje enosmerne napajalne postaje (ENP), ki zagotavljajo potrebne vire električne energije za pogon elektrificiranih vlakov. Prva ENP do izbrane točke na odseku trase elektrificirane vleke ima korozijski vpliv na to točko, saj se v njih zaključujejo obratovalni toki elektrificirane vleke.

To pomeni, da imajo na KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL posredni vpliv naslednji ENP:

- iz smeri Gorenjska ENP Vižmarje,
- iz smeri Primorske ENP Vič in
- iz smeri Dolenjske ENP Zalog.

Kolikšen je vpliv posamezne ENP na obravnavani objekt je težko določiti, ker je le ta odvisen od veliko neznank. Posamezni vplivi se lahko med seboj seštevajo ali odštevajo in



le meritve, za obratovalni režim v določenem časovnem obdobju na posameznem odseku elektrificirane proge, lahko podajo neko realno uporabno vrednost.

Geometrijske razdalje med posameznimi zgoraj naštetimi ENP so:

- ENP Zalog – ENP Vič ca. 11,9 km,
- ENP Zalog – ENP Vižmarje ca. 12,0 km,
- ENP Vič – ENP Vižmarje ca. 6,8 km,

in njihove razdalje do trase KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL.

- KBV – ENP Zalog ca. 5,5 km,
- KBV – ENP Vič ca. 4,5 km in
- KBV – ENP Vižmarje ca. 5,8 km.

Na sliki 2.1. so prikazane vplivne ENP in njihove lokacije glede na KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL.

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012



Slika 2.1: Umestitev KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL glede na obstoječe ENP

3. DEFINIRANJE PROBLEMA UHAJAVIH TOKOV, KI JIH POVZROČA ENOSMERNA ŽELEZNIŠKA VLEKA

3.1 Definicija uhajavih tokov (SIST EN 50122-2)

Uhajavi tok je tisti tok, ki sledi drugim povratnim potem, kot so zaželeni.

3.2 Korozija zaradi uhajavih tokov (SIST EN 50162)

Neprisiljena 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 potencial kovinske strukture/kovine običajno na terenu merimo proti referenčni elektrodi, npr. z nasičeno baker-baker sulfatno elektrodo (Cu/CuSO_4), 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.

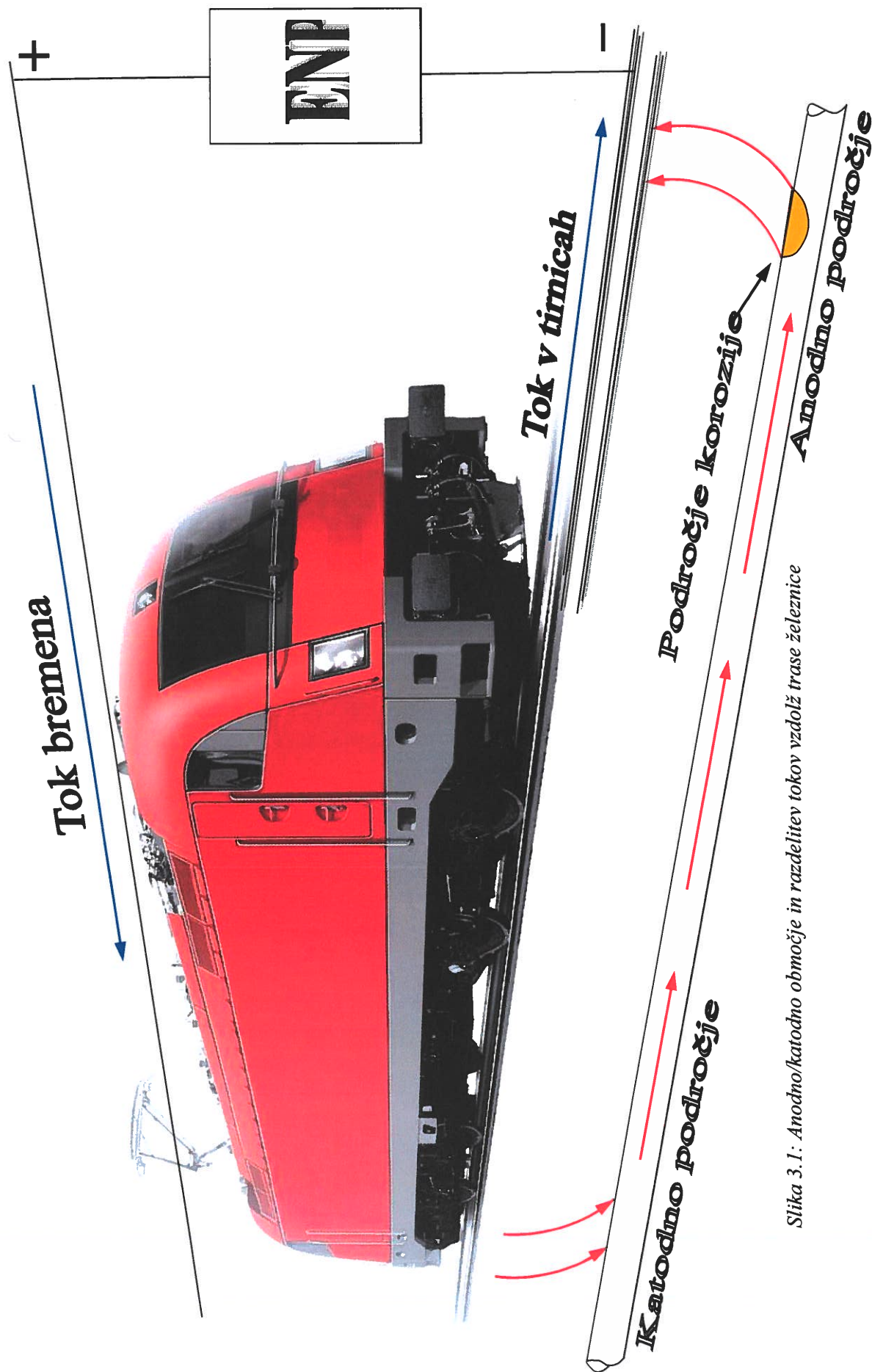
V točki, kjer uhajavi tok tujega enosmernega vira zapušča kovinsko strukturo (na mejni površini kovina/elektrolit), bo nastopila anodna korozijska reakcija, katere posledica je razkroj kovine. Razkroj oziroma izguba mase kovinskih predmetov oziroma elementov struktur sledi Faradayevemu zakonu elektrolize,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

Na sliki 3.1 je dan prikaz anodnega in katodnega območja in razdelitve tokov vzdolž trase enosmerne železniške vleke. Bremenski tok, kot je razvidno s slike teče iz elektrovlečne usmerniške napajalne postaje po kontaktnem vodu do električne lokomotive. Povratni tok k elektrovlečni napajalni postaji se razdeli na tok, ki se vrača po tirnicah in tok, ki se vrača po zemljišču.

Tok, ki se nekontrolirano vrača po zemljišču, je definiran v [3] 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 opleti,
- prevodne strukture v zemlji.



Slika 3.1: Anodno/katodno območje in razdelitev tokov vzdolž trase železnice

4. PREGLED PROJEKTOV INFRASTRUKTURNIH IN ZAŠČITNIH INSTALACIJ

Prejeta dokumentacija obsega naslednje projekte:

- Projekt PGD št.: 6710, Kabel 2×110 kV RTP Litostroj - RTP PCL, Načrt električnih inštalacij in električne opreme, št. načrta: 4337.5E01, KORONA, Ljubljana, januar 2012,
- Projekt PGD št.: 6710, Kabel 2×110 kV RTP Litostroj - RTP PCL, Načrt elektro kabske kanalizacije, št. načrta: 815240, Elea iC, Ljubljana, september 2011,
- IDEJNA ZASNOVA (IDZ), št. Projekta: 7091, 110 kV kabska povezava med RTP Vrtača in RTP Center, 3. Načrt gradbenih konstrukcij in drugih gradbenih načrtov – EKK, št. načrta: 331110042, Elea iC, Ljubljana, oktober 2010.
- IDEJNA ZASNOVA (IDZ), št. Projekta: 7091, 110 kV kabska povezava med RTP Vrtača in RTP Center, 4. Načrt električnih inštalacij in električne opreme, št. načrta: 13680211-E01, ELIM d.o.o., Ljubljana, julij 2011.
- Projekt IDZ, 110 kV kabska povezava med RTP PCL in RTP Toplarna, Načrt električnih inštalacij in električne opreme, št. načrta: 14140611-E01, ELIM, Ljubljana, November 2011,
- Projekt IDZ št.: DKPCTO – A572/239, 2×110 kV kabska povezava med RTP PCL in RTP Toplarna, Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti, št. načrta: DKPCTO – 1G/01, IBE, Ljubljana, december 2011

iz katerih je razvidno tudi prostorsko umeščanje.

4.1 Način polaganja kabla

Na trasi od RTP Center do KJ29, kjer je priključek za RTP PCL, se bo večina kabla polagala po zaključku gradbenih del in se bo kabel polagal v PEHD cevi preseka 200 mm. Drug način polaganja kabske kanalizacije je vodeno vrtanje, kjer je predvidena vrtina premera 800 mm, v katero se položijo cevi s kabli.

Način polaganja je prikazan na slikah 5.2, 5.3. in 5.4., ki so vzete iz prejete dokumentacije. Na relaciji od KJ29 do TE-TOL se bodo dela pri polaganju kabla izvajala pretežno v odprtem jarku, razen pri križanjih trase z drugimi objekti, kjer se bo uporabila tehnika horizontalnega vrtanja. Kabli se bodo polagali v trikot in sicer pri direktnem polaganju VN kablov v jarek brez zaščitne cevi ali pa se glede na zahtevnost trase polaga v zaščitne cevi. Način polaganja je prikazan na slikah 5.5. in 5.6., ki so vzete iz [7].

Na trasi je predvidena izgradnja 6 (od RTP Center do KJ27), 2 (od KJ27 do KJ29-priključek za RTP PCL) armirano betonskih jaškov dimenzij 10,00×2,80×(1,80-5,00) m odvisno od različnih globin polaganja kabla in večje število armirano betonskih jaškov za vlečenje kabla, namestitvev spojk in izvedbo prenapetostne zaščite plašča z odvodniki, kateri so predvideni za vlečenje kabla, namestitvev spojk in izvedbo prenapetostne zaščite KB ekranov z odvodniki in izvedbo ozemljitev (od KJ29 do TE-TOL).



5. UKREPI ZA ZAŠČITO POSTROJEV PRED UHAJAVIMI TOKI

Trasa 110 kV kablovoda, ki bo povezoval RTP Center – TE-TOL in omenjena EE objekta, se nahajajo v neposredni bližini tračnic železniške vleke. Zaradi enosmernega napajanja pogonov železniške vleke, razporeditve ENP in poteka same železnice, obstaja velika 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 preprečimo vdor enosmernih tokov v potencialno korozijsko ogrožene dele EE postroja, hkrati pa s temi ukrepi ne smemo vplivati na obratovalni in varnostni nivo ščitjenih objektov.

5.1 Predstavitev problematike

Na trasi med RTP Center in TE-TOL se bo zgradila 110 kV KBV povezava. Ta povezava bo sestavljena iz treh enožilnih KB z aktivnim bakrenim prerezom 1200 mm^2 in s prerezom prevodnega KB ekrana 130 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 velika verjetnost, da se bo, ob vzpostavitvi KB povezave med RTP Center in TE-TOL, 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 povezujejo ozemljitvene sisteme RTP Center in TE-TOL in hkrati predstavljajo relativno nizko ohmsko povezavo (prevodni KB opleti, valjanci, ipd.). Ob poznavanju te problematike bi lahko izvedbo 110 kV KBV povezave realizirali brez galvanskih povezav med ozemljitvenimi sistemi RTP Center in TE-TOL, vendar je zaradi kratkostičnih razmer nujno potrebno ustvariti zadosten redukcijski faktor, ki nam ozemljitveni sistem posamezne razdelilne transformatorske postaje razbremeni za večinski del kratkostičnega toka. Ta potrebni redukcijski faktor ustvarimo z dobro galvansko povezavo ozemljitvenih sistemov vseh RTP, ki jo predstavlja kompenzacijski vodnik bakrenega prereza 120 mm^2 , ki poteka v neposredni bližini 110 kV KBV.

Tako imamo situacijo, kjer moramo zaradi enofaznih kratkih stikov pri izmeničnih razmerah, imeti dovolj nizek redukcijski faktor 110 kV KBV, da razbremenimo površinsko relativno majhne ozemljitvene sisteme vseh RTP-jev (predvsem področje RTP Center). 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 in bi lahko prekinili potrebne galvanske povezave v posameznih RTP. Opisane kontradiktorne zahteve narekujejo sistematski pristop k rešitvi, ki naj zagotavlja visoko obratovalno varnost in zanesljivost.

5.2 Ozemljevanje prevodnih KB opletov

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

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

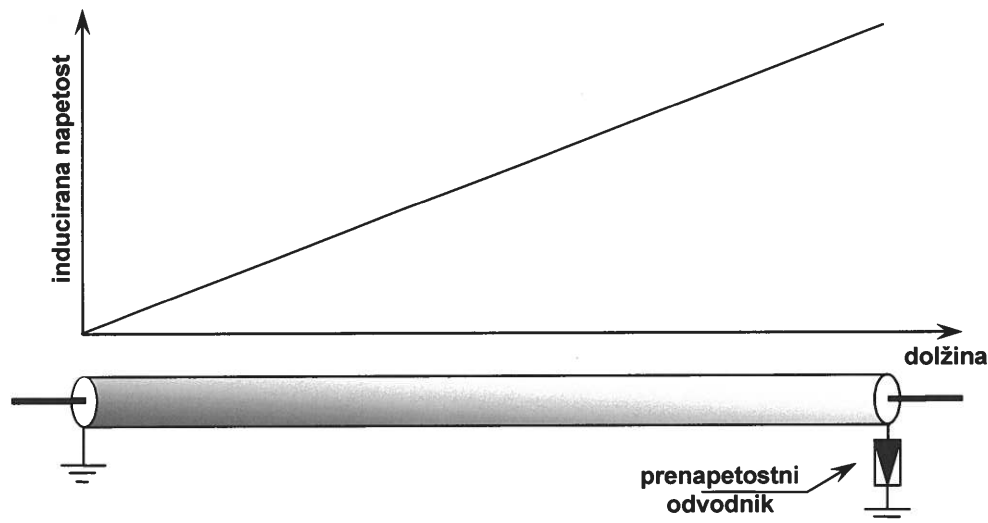
predvsem od načina ozemljevanja KB ekranov. Poznamo več načinov ozemljevanja KB ekranov in jih lahko na grobo razdelimo v dve kategoriji:

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

V naštetih kategorijah obstaja več različic izvedb, od katerih ima vsaka izmed njih določene prednosti in pomanjkljivosti.

V našem primeru je izrednega pomena, da se uhajavi enosmerni toki ne morejo zaključevati po prevodnih KB opletih. To poleg korozijske ogroženosti ozemljitvenega sistema končnih postaj prinaša še dodatno segrevanje 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 termično obremenitev obravnavanega KBV, ki bi lahko nastala v primeru obojestranske ozemljitve ekranov.

Ker so kabelski ekrani ozemljeni le v eni točki, se s tem onemogoči sklenitev tokokroga. Inducirana napetost na kabelskem 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 kabla 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 5.1: Profil inducirane napetosti na enostransko ozemljenem kabelskem ekranu

Zato je potrebno na neozemljenem koncu med kabelskim opletom in zemljo vgraditi ustrezen prenapetostni odvodnik. Ta mora biti dimenzioniran tako, da je v normalnih obratovalnih razmerah neaktiven. Slika 5.1 prikazuje shematski prikaz napetostnega profila inducirane napetosti na enostransko ozemljenem kabelskem ekranu.

Pri enostranskem načinu ozemljevanja prevodnih KB ekranov je potrebno s primernimi ukrepi zagotoviti njihovo ustrezno prenapetostno zaščito. Napetosti na KB ekranu so

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

posledica indukcije, ki jo povzroča tok v KB vodniku ali vodnikih v njegovi neposredni bližini. Razzemljeno stran posameznega KB ekrana je potrebno ščititi z ustreznimi prenapetostnimi odvodniki, ki morajo biti dimenzionirani tako, da ne odvajajo v normalnih obratovalnih stanjih 110 kV KBV. Na podlagi prejete dokumentacije [4, 5, 6 in 7], ki podaja formacijo polaganja obravnavanega 110 kV KBV in *Tehnoloških podatkov o izbranih 110 kV kablilih* [10], lahko s pomočjo programskega paketa LEIKA izračunamo pričakovano vrednost induciranih napetosti na enostransko ozemljenih prevodnih ekranih KBV. Rezultate izračunov prikazuje tabela 5.1.

5.3 Ustvarjanje redukcijskega faktorja KBV

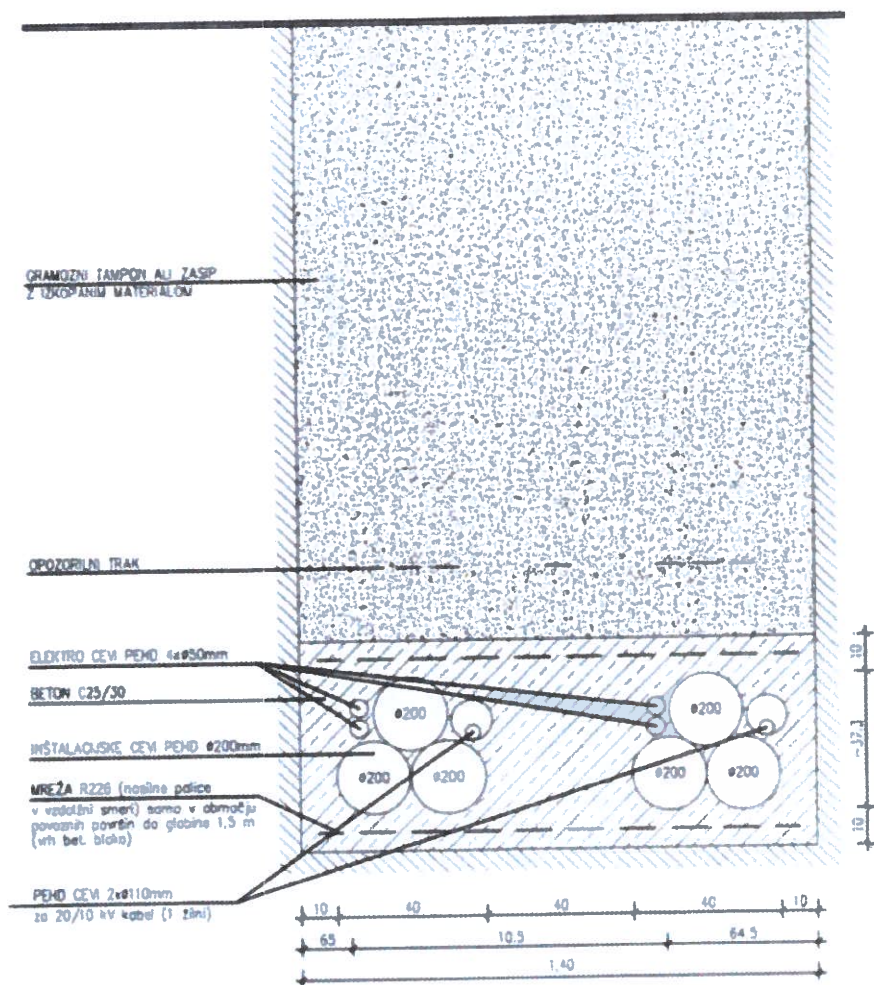
Redukcijski faktor (r) je razmerje med ozemljitvenim tokom in vsoto ničnih tokov v vodnikih obratovalnega tokokroga trifaznega EE voda ($r = I_E / 3I_0$). Z drugimi besedami, redukcijski faktor EE voda nam pove relativni delež zemeljskostičnega toka, ki se ob nastanku okvare zaključuje po zemlji, preostanek 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 paralelno potekajoče kovinske linije (cevovodi in TK linije). Redukcijske faktorje EE vodov dosegamo z vzpostavitvijo ustreznih konduktivnih poti (zaščitna vrv NV, ekran kablovoda, 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, ki nam bo omogočal vzpostavitev ustrezne galvanske povezave, s čimer je tudi zagotovljen redukcijski faktor. Ta kompenzacijski vodnik bo predstavljal galvansko povezavo med ozemljitvenima sistemoma RTP Center in TE-TOL. V trasi KBV pa 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 koncih se ga na ozemljitveni sistem RTP Center in TE-TOL 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 Center-TE-TOL prikazuje slika 5.5. Pri sami določitvi ozemljevanja prevodnih KB ekranov v posameznem jašku je bila upoštevana možnost poznejšega neoviranega dostopa, ki je potreben za namen rednih pregledov in morebitnega vzdrževanja prenapetostnih odvodnikov. Zato so v jaških VKJ8 in KJ25, ki so locirani na prometno obremenjenih cestnih površinah, izvedene le toge ozemljitve KB ekranov na pripadajoč kompenzacijski vodnik.

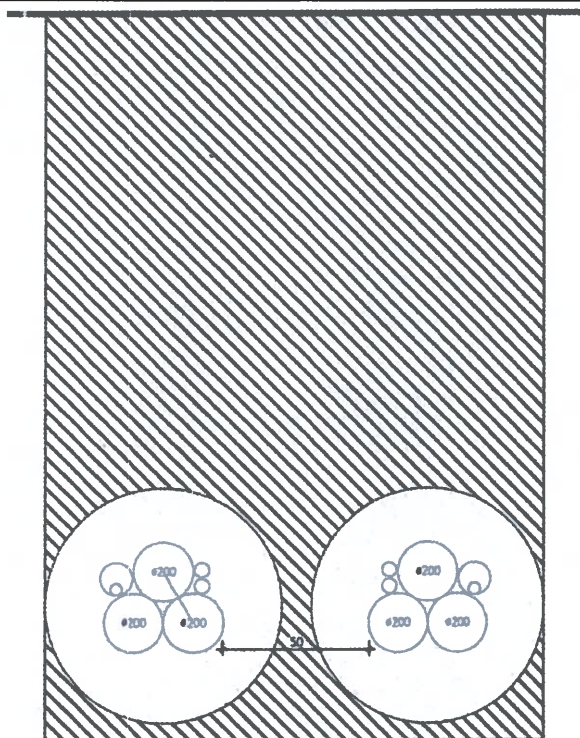
Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

V računalniškem programu LEIKA smo izdelali modela 110 kV KBV povezave v skladu z gabariti, ki so podani v dostavljeni dokumentaciji in jih prikazujeta slika 5.2, slika 5.3 in slika 5.4. Izmed šestih različnih primerov polaganja (A, B, C, A*, B* in C*) smo izdelali tri simulacijske modele, ki reprezentančno povzamejo vse podane oblike polaganja za traso od RTP Center do KJ29, kjer je priključek za RTP PCL.

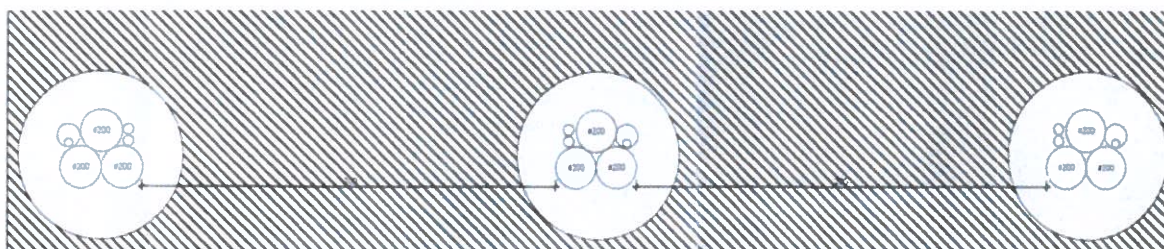
Za traso od KJ29 do TE-TOL smo v računalniškem programu LEIKA izdelali modela 110 kV KBV povezave v skladu z gabariti, ki so podani v dostavljeni dokumentaciji in jih prikazujeta slika 5.5 in slika 5.6. Izdelali smo dva simulacijska modela in sicer za situacijo pri polaganju v jarek ter situacijo pri polaganju v cevi (vodeno vrtnanje)



Slika 5.2: Situacija polaganja 110 kV KBV za tip cevi A, B in C, ki je uporabljena pri izdelavi simulacijskega modela

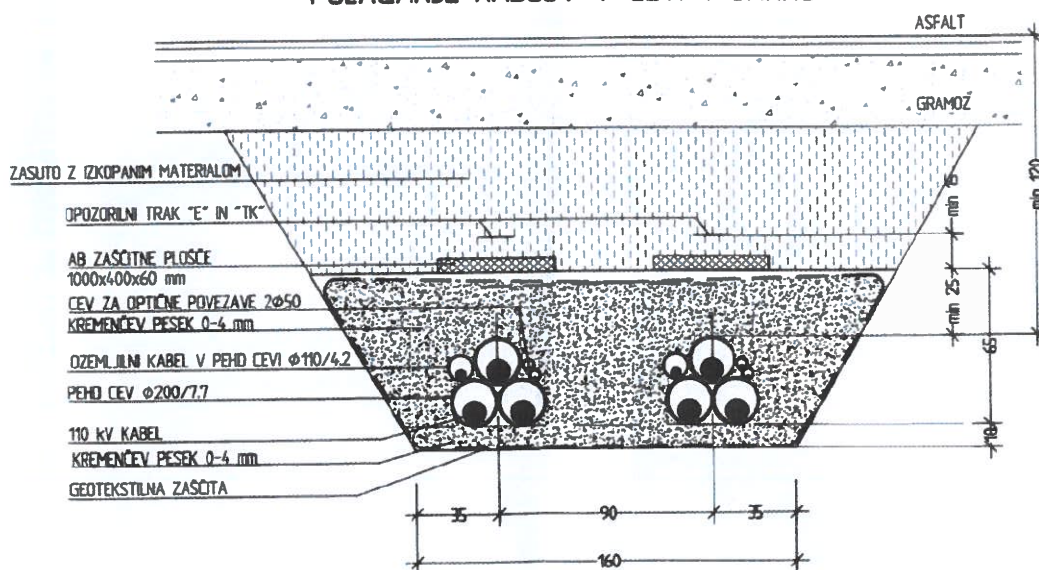


Slika 5.3: Situacija polaganja 110 kV KBV v cevi tipa A* in B* (vodeno vrtnje), ki je uporabljena pri izdelavi simulacijskega modela



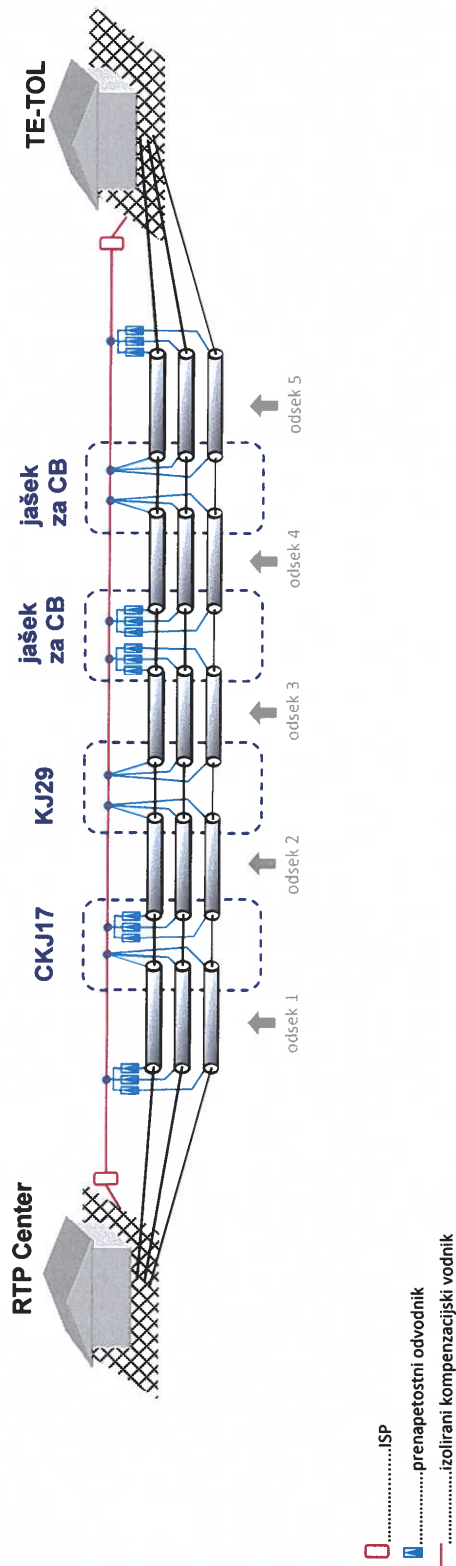
Slika 5.4: Situacija polaganja 110 kV KBV v cevi tipa C* (vodeno vrtnje), ki je uporabljena pri izdelavi simulacijskega modela

POLAGANJE KABLOV V CEVI V JARKU



Slika 5.6: Situacija polaganja 110 kV KBV v cevi (vodeno vrtnanje), ki je uporabljena pri izdelavi simulacijskega modela

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012




Slika 5.7: Vezalna shema načina ozemljevanja prevodnih KB ekranov KBV 110 kV Center – TE-TOL

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

Na opisanih simulacijskih modelih smo opravili izračune pričakovanih induciranih napetosti na razzemljenih koncih enostransko ozemljenih prevodnih KB ekranov v normalnem obratovalnem stanju (V/km/kA), velikost inducirane toka v posameznem kompenzacijskem vodniku ter redukcijski faktor posameznega 110 kV KBV. Ob dejstvu, da bo v trasi 110 kV KBV RTP Center – TE-TOL položen še drugi sistem 110 kV KBV je priporočljivo geometrijo polaganja kompenzacijskih vodnikov izvesti zrcalno simetrično glede na vertikalno ravnino. Kompenzacijska vodnika naj potekata med obema sistemoma. Izračune smo opravili za notranje pozicije kompenzacijskih vodnikov, saj smo v *poročilu o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV PCL – Toplarna, VENO-2794, februar 2012*, z razširjeno analizo potrdili smiselnost in pomen lociranja kompenzacijskih vodnikov med obema KB sistemoma. Rezultate izračunov prikazuje tabela 5.1.

Tabela 5.1: Izračuni redukcijskih faktorjev, induciranih tokov kompenzacijskih vodnikov in induciranih napetosti na prevodnih KB ekranih posameznega sistema ob različnih konfiguracijah

način polaganja >>		A, B, C	A*, B*	C*	polaganje v jarek	polaganje v cevi v jarku
konfiguracija kompenzacijskih >> vodnikov						
SISTEM	EKRAN	U_i (V/km/kA)	U_i (V/km/kA)	U_i (V/km/kA)	U_i (V/km/kA)	U_i (V/km/kA)
a	L1	146	144	136	71	133
	L2	158	155	149	39	131
	L3	21	23	30	53	45
b	L1	136	134	127	46	117
	L2	173	170	159	71	150
	L3	43	43	43	48	55
redukcijski (r_a/r_b)		0,236	0,236	0,244	0,220	0,229
inducirani tok (A)		81/91	81/89	85/86	76/78	77/83

Barvne in simbolne opombe:

o.....kompenzacijski vodnik

Redukcijski faktor posameznega sistema 110 kV KBV se giblje okoli vrednosti $r = 0,2$. To pomeni, da bosta ozemljitvena sistema RTP Center in TE-TOL v primeru enofaznega kratkega stika razbremenjena za ca 80 %. V primeru, da pride do pretrganja oz. galvanske ločitve enega kompenzacijskega vodnika, se nam redukcijski faktor zniža na vrednost ca $r = 0,3$.

5.4 Zaščita pred vdorom enosmernih uhajavih tokov v 110 kV KBV RTP Center – TE-TOL in v ozemljitvene sisteme RTP Center in TE-TOL z ISP napravo

V prostorih 110 kV stikališča RTP Center in TE-TOL je potrebno vgraditi napravo ISP, ki omogoča galvansko povezavo za izmenične veličine in oviro za enosmerne toke. 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 karakteristikami, katere je potrebno predhodno določiti. V primeru prekoračitve teh vrednosti (induciranega AC toka in DC napetosti na ISP terminalih) se impedanca močno zniža (kratkostičenje) in naprava v tem času prevaja tako AC kot DC tok do trenutka, ko vrednosti ponovno ne padejo pod predpisane meje.

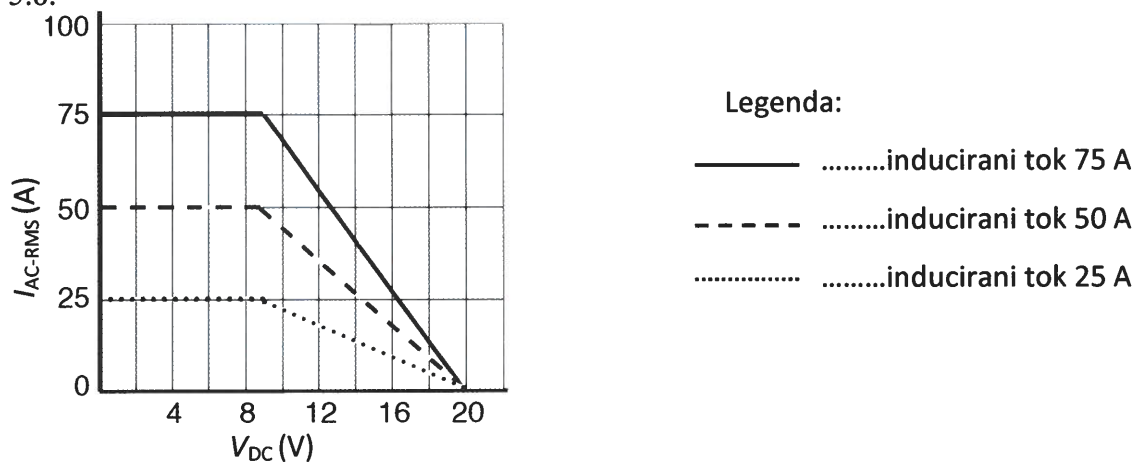
Zato je potrebno pred vgradnjo ISP naprave pridobiti parametre, ki so potrebni za njeno izbiro, in sicer:

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

ISP naprava deluje po naslednjih karakteristikah:

5.4.1 Delovanje v DC področju

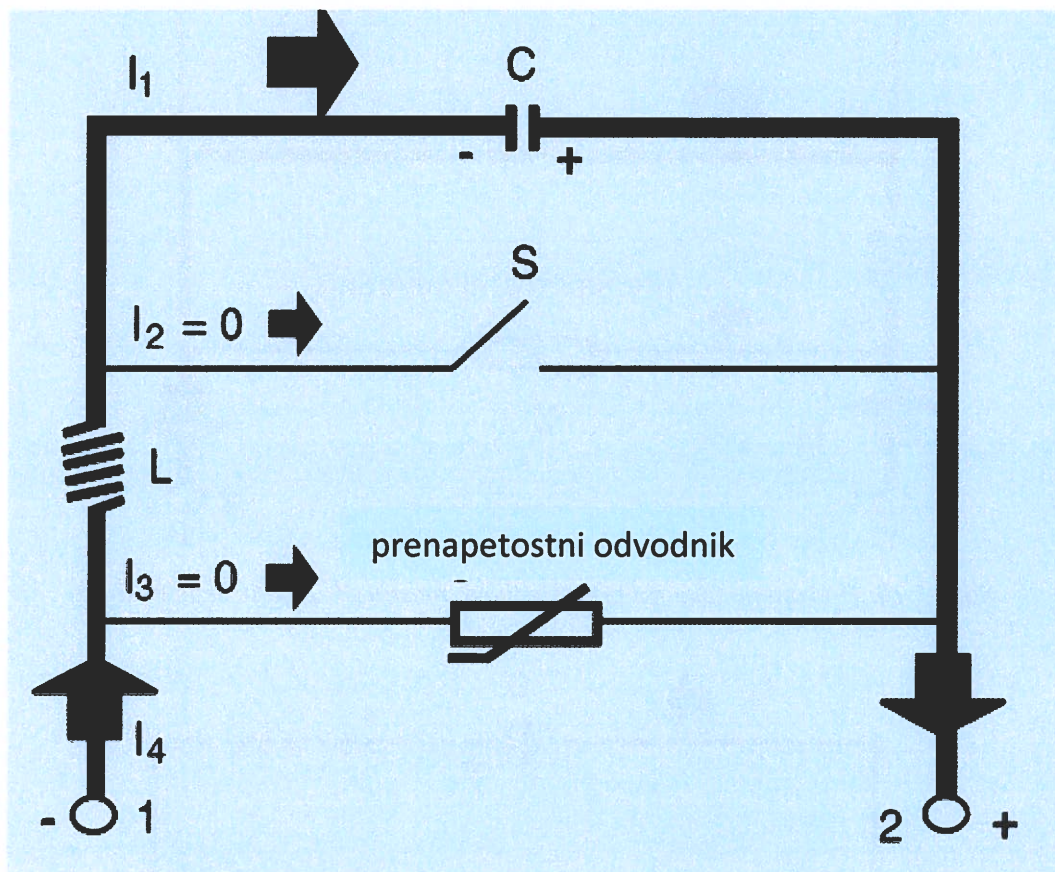
Naprava preprečuje prehod DC toka do vnaprej določene višine DC napetosti prikazane na sliki 5.8.



Slika 5.8: Karakteristika delovanja ISP naprave pri induciranem toku ter DC napetosti na priključkih

Na sliki 5.8 je izbrana naprava, ki blokira DC tok do skupne napetosti 20 V temenske vrednosti pri različnih amplitudah induciranega toka v normalnem obratovalnem stanju. Njeno delno prevajanje se začne že pri nižjih vrednostih napetosti, pri nazivni vrednosti pa predstavlja kratko sklenjen tokokrog za enosmerne veličine. Vrednost 20 V predstavlja skupno višino tako enosmerne kot tudi izmenične napetosti, ki se pojavi na ščitenem kablu ($V_{DC} + V_{AC\ peak}$). 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 5.9 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.

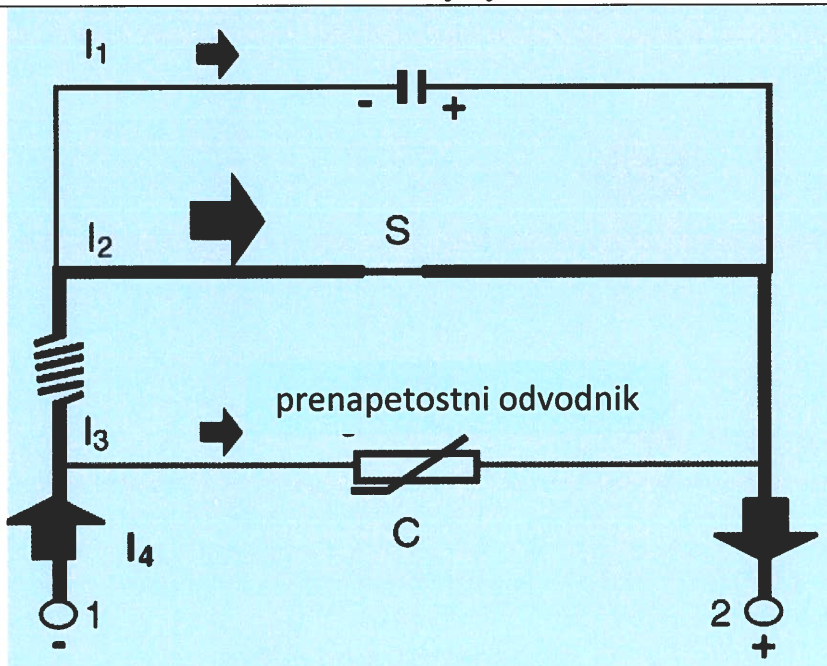


Slika 5.9: Potek toka pri normalnem delovanju naprave (prevajanje AC in blokada DC)

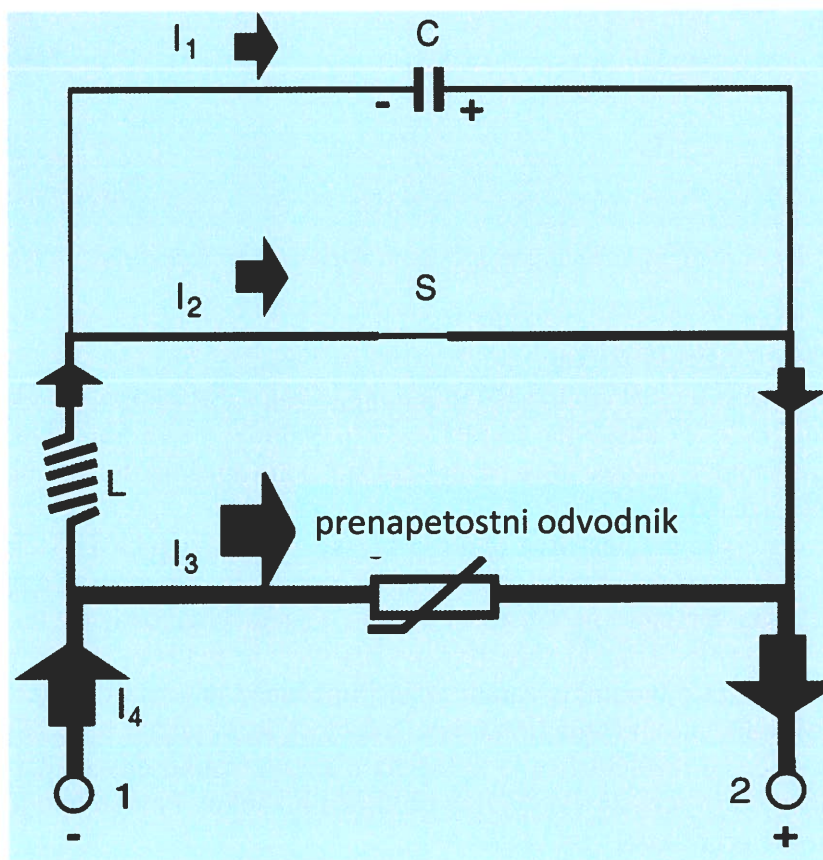
5.4.2 Delovanje v AC področju

V primeru presežene mejne vrednosti inducirane toka ISP naprava preko SCR sklence tokokrog, da ne pride do poškodbe kondenzatorja. Naprava mora biti izbrana tako, da pri najvišji vrednosti inducirane toka ne prihaja do delovanja tiristorjev (stikalo S, 25 A, 50 A, 75 A) (slika 5.10).

V primeru atmosferske razelektritve (slika 5.11) 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 majhen, v primerjavi s tokom preko prenapetostnega odvodnika, zaradi višje impedance le tega. V nasprotnem primeru bi prišlo do poškodbe ali uničenja tiristorjev. 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 tem krajša.



Slika 5.10: Prevajanje toka pri preseženih vrednostih AC toka in kratkih stikih.

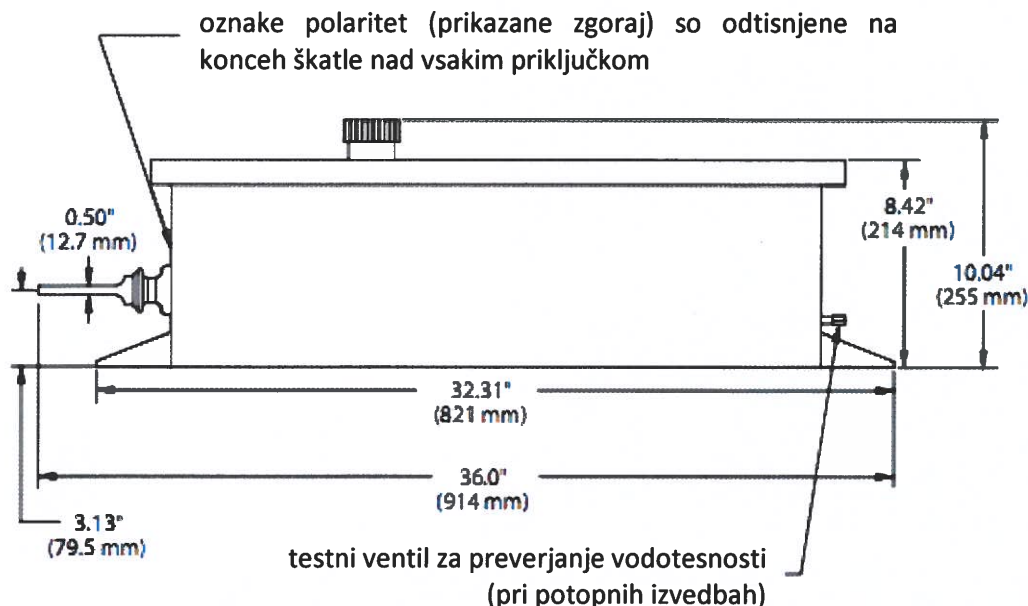
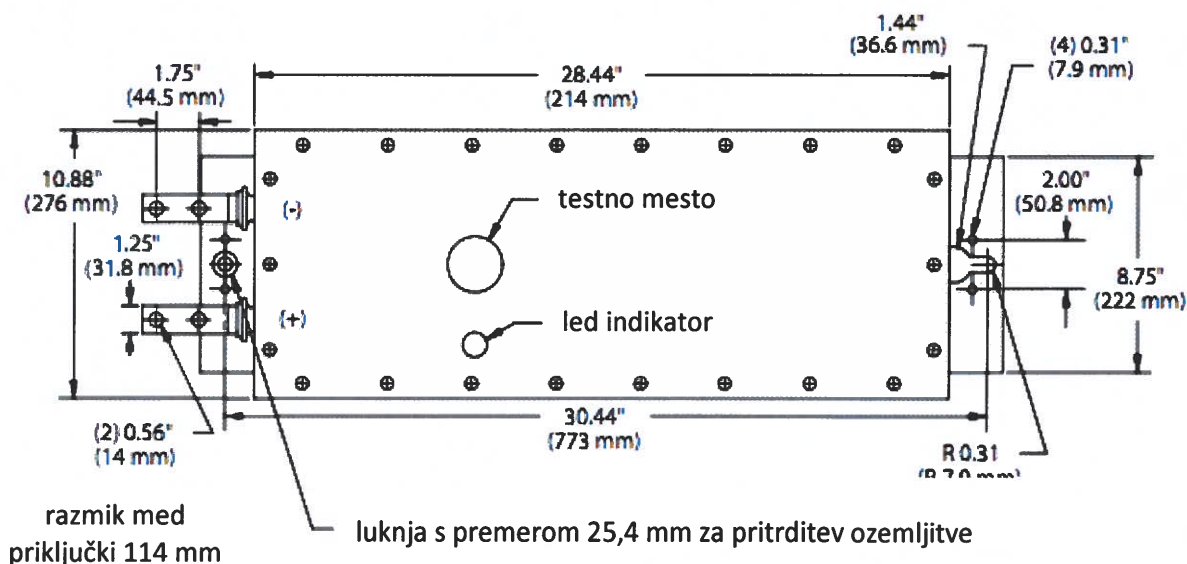


Slika 5.11: Prevajanje toka pri atmosferskih razelektritvah

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

Na podlagi vseh parametrov se izbere naprava z zahtevanimi karakteristikami. Na prostoru, kjer se bo naprava vgradila je potrebno zagotoviti 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 5.12. Velikost naprav se glede na zahtevane karakteristike nekoliko razlikuje.

Slika 5.13 prikazuje primere praktične uporabe in vgradnje ISP naprave.



Slika 5.12: Dimenzije ISP naprave iz kataloga proizvajalca



Slika 5.13: Primer uporabe in vgradnje ISP naprav

5.5 Izbira in vgradnja ISP naprave

Kakor je že navedeno v poglavju 5.4 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,

5.5.1 Določitev DC napetosti

Važna komponenta pri izbiri ISP naprave je višina enosmerne napetosti, ki se lahko na njej pojavi. Na sliki 5.8 vidimo, da so ISP naprave dimenzionirane glede na enosmerno napetost do 20 V. Glede na konfiguracijo trase 110 kV KBV, RTP Center in TE-TOL v razmerju do 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 Center – TE-TOL in pred njenim obratovanjem, na vzporedno položenem kompenzacijskem vodniku izvesti meritve potencialov enosmerne napetosti, ki naj se izvajajo vsaj en teden. Istočasno je potrebno od Slovenskih železnic pridobiti vozne rede za to obdobje. Iz meritev in ostalih podatkov se lahko določi višina enosmerne napetosti na ISP napravi, na podlagi katere se določi njena maksimalna vrednost, saj v primeru prenizko izbrane karakteristike, naprava ne bo opravljala svoje funkcije (neprestano prevajanje DC toka) in ne bo ščitila postrojev pred korozijo.

5.5.2 Določitev AC toka na KBV RTP Center – TE-TOL

Poleg višine enosmerne napetosti in izmeničnega kratkostičnega toka je eden izmed pomembnejših parametrov pri izboru ustrezne ISP naprave velikost izmeničnega induciranega 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 5.8). Izračuni kažejo, da bi ob nazivni predvideni obremenitvi 787 A (150 MVA), predpostavljeni razporeditvi kompenzacijskih vodnikov in formacijah polaganja 110 kV KBV (slike 5.2, 5.3 in 5.4) lahko v posameznem kompenzacijskem vodniku lahko pričakovali ca 68 A induciranega toka.

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 in večkratne menjave konfiguracije polaganja v sami trasi 110 kV KBV, vseh parametrov potrebnih za izračun ni možno upoštevati.

5.5.3 Določitev toka EKS in toka za zaščito pred strelo

Eden izmed poglobitvenjših 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 Center – TE-TOL. Kot je opisano v poglavju 5.3 tega poročila znaša redukcijski faktor obravnavanega 110 kV KBV $r = 0,2$. 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 [11] lahko določimo tokovne

obremenitve, ki bodo bremenile ISP napravi. V poročilu [11] so izvedeni kratkostični računi dveh različnih variant (A in B), ki se medsebojno razlikujeta po topologiji 110 kV KB omrežja mesta Ljubljane. Iz prejete projektne dokumentacije je jasno razvidno, da se je naročnik odločil za izvedbo variante A, ki pa ima 3 podvariente, ki se med seboj razlikujejo v sklopljenosti posameznih 110 kV zbiralk v večjih vozliščih:

podvarianta A1: skupne 110 kV zbiranke v RTP Beričevo in RTP Kleče

podvarianta A2: ločene 110 kV zbiranke v RTP Beričevo in RTP Kleče

podvarianta A3: ločene 110 kV zbiranke v RTP Beričevo, RTP Kleče RTP Polje in TE-TOL-u

Pričakovani EKS na 110 kV zbiralkah v RTP Center in TE-TOL s prispevki obravnavane 110 kV KBV povezave RTP Center – TE-TOL ter posledične tokovne obremenitve kompenzacijskih vodnikov in ozemljitvenih sistemov RTP-jev prikazuje tabela 5.2.

Tabela 5.2: Tokovne obremenitve 110 kV KBV, pripadajočega kompenzacijskega vodnika in ozemljitvenega sistema posameznega RTP-ja

varianta	RTP	$\sum I_0$ (kA)	prispevek 110 kV KBV (kA)	tok skozi ozemljitven sistem RTP (kA)	tok kompenz. vodnika (kA)	ostali prispevki (kA)
A1	Center	21,933	16,058	4,387	12,365	5,875
	TE-TOL	26,512	2,645	5,302	2,037	20,846*
A2	Center	14,323	10,598	2,865	8,160	3,725
	TE-TOL	16,190	1,595	3,238	1,228	11,546*
A3	Center	13,182	8,457	2,636	6,512	4,726
	TE-TOL (G1)	14,108	3,093	1,679	2,382	9,893*

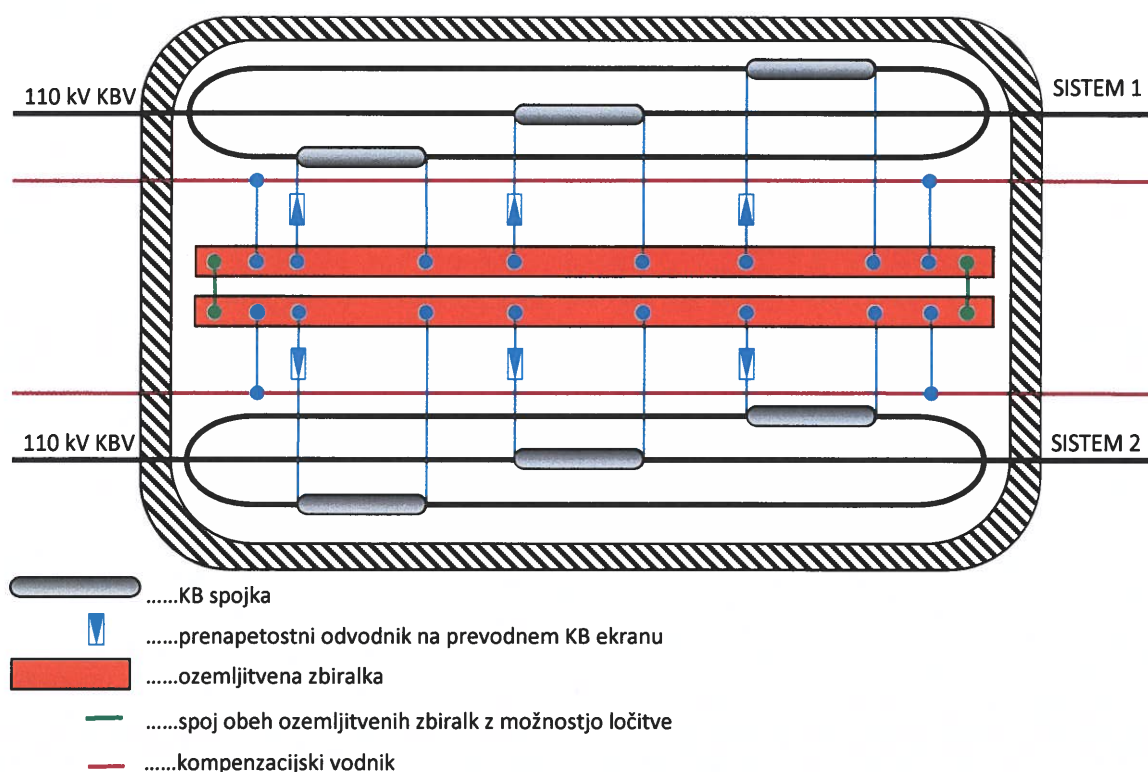
Iz rezultatov v tabeli 5.2 so razvidne tudi pričakovane tokovne obremenitve ISP naprav, ki so identične ničnemu toku kompenzacijskega vodnika. Na podlagi teh izračunov in seveda izbrane podvariente se izbere ustrezno dimenzionirano ISP napravo, čigar kratkostične specifikacije zadoščajo predvidenim kratkostičnim tokom in času, s katerim bo naprava obremenjena z omenjenim tokom. To pa je odvisno tudi od vrste uporabljene zaščite, s katero se bo ščitil 110 kV KBV in 110 kV zbiranke.

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.

5.6 Vezava KB ekranov v jaških

Zaradi zahtevnosti naloge in velike možnosti vdora uhajavih tokov 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 v posameznih izbranih jaških določenih odsekov nazorno prikazuje slika 5.14 in slika 5.15. Prenapetostne odvodnike, ki se montirajo na razzemljenih koncih prevodnega KB ekrana se vgradi v jaških, ki so bili prvenstveno namenjeni za vleko kabla in kabelskim spojkam (CKJ17 in KJ29) oz. v jaških, ki so bili

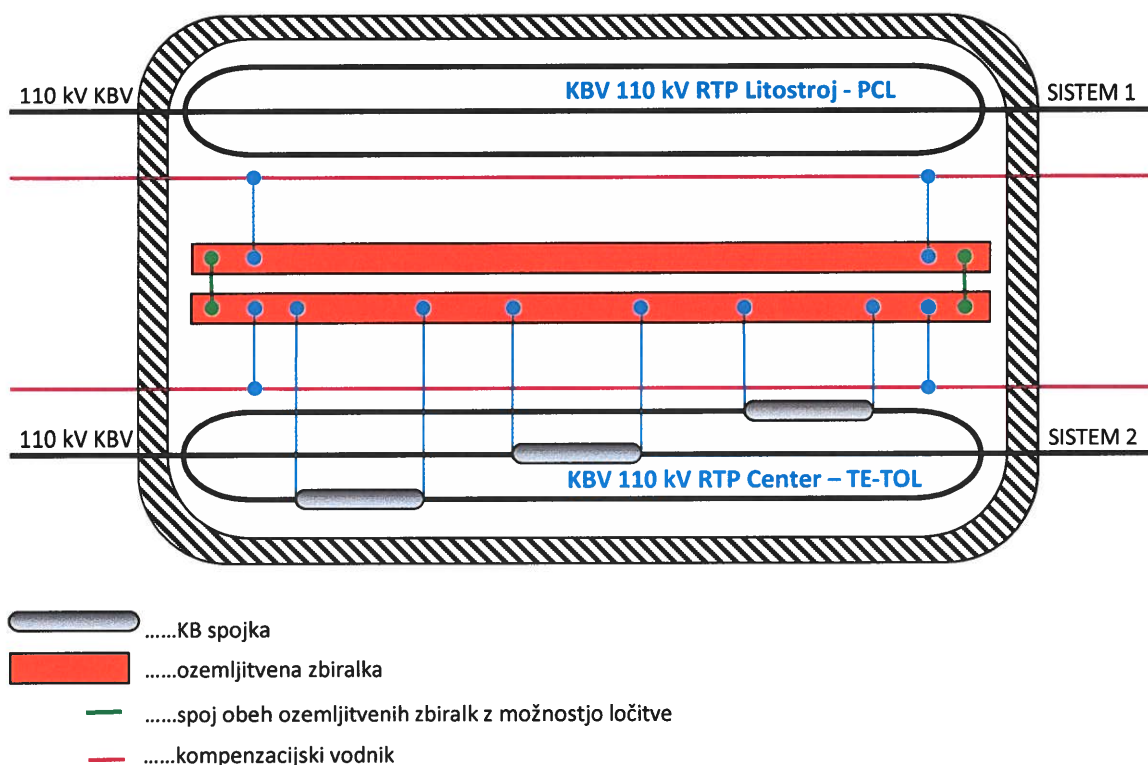
prvenstveno predvideni za kabelsko prepletanje¹. V omenjenih jaških se namesti prenapetostno zaščito in ozemljitvene zbiralke. Na trasi 110 kV KBV RTP Center – TE-TOL je predvidenih več takšnih jaškov. Kabelske jaške v katerih se bo vgradila prenapetostna zaščita izberemo glede na višino inducirane napetosti na opletih kablov in na samo lokacijo kabelskega jaška, da je možen poznejši neoviran dostop zaradi kontrole vgrajenih prenapetostnih odvodnikov. V vsakem od izbranih jaškov 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 povezavo. 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 kabelskih jaškov. Slika 5.12 prikazuje način priključitve enostransko ozemljenih prevodnih KB ekranov, prenapetostnih odvodnikov na razzemljenem koncu prevodnih KB ekranov 110 kV KBV in kompenzacijskih vodnikov v posameznem jašku. Poudariti je potrebno, da omenjena slika prikazuje vezalno shemo za jašek CK17. V preostalih jaških se vezava opravi skladno z zahtevami slike 5.7, kjer se na sliki 5.14 prilagodijo le povezave ozemljenih oz. razzemljenih koncev prevodnih KB ekranov.



Slika 5.14: Shematska izvedba načina ozemljitve prevodnih KB ekranov in prenapetostnih odvodnikov v posameznem jašku

¹ na trasi 110 kV KBV med TE-TOL in PCL

Posebnost je vezava v jašku KJ29, kjer se vezava opravi skladno s sliko 5.7, a le na sistemu KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL, paralelni sistem KBV 110 kV RTP Litostroj - PCL pa v tem jašku ostane nedotaknjen. Podrobnejšo izvedbo prikazuje slika 5.15.



Slika 5.15: Shematska izvedba načina ozemljitve prevodnih KB ekranov v jašku KJ29

V posamičnem jašku se glede na dolžino posameznega odseka (slika 5.7) 110 kV KBV in pričakovanega obremenilnega toka (787 A) pojavijo v normalnem obratovanju na razzemljenih koncih prevodnih KB ekranov inducirane napetosti, katerih velikost je odvisna od izvedbe konfiguracije polaganja, dolžine KB odseka ter velikosti obremenilnega toka. Glede na dejstvo, da bo trasa novopoloženega KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL izvedena v tehniki polaganja v cevi ter v odprti jarek se na posameznih odsekih ob termičnem toku pojavijo napetosti do ca 90 V, ki jih navaja tabela 5.3. Izračuni teh napetosti se ob dodatnem upoštevanju varnostnega faktorja možne preobremenitve 110 kV KBV, uporabijo kot potrebni podatek pri dimenzioniranju prenapetostnih odvodnikov. Ti namreč ne smejo delovati pri napetostih, ki se pojavijo v normalnem obratovalnem stanju. Dokončno dimenzioniranje prenapetostnih odvodnikov je potrebno izvesti z ustrezno programsko opremo, kjer se v obzir vzame tudi pričakovane maksimalne kratkostične razmere.

Tabela 5.3: Izračun induciranih napetosti na razzemljenih koncih prevodnih KB ekranov posameznega odseka

<i>odseki KBV² Center → TE-TOL</i>	<i>odsek 1</i>	<i>odsek 2</i>	<i>odsek 3</i>	<i>odsek 4</i>	<i>odsek 5</i>
<i>dolžina (m)</i>	510	554	650	720	370
<i>inducirana napetost (V)</i>	68	74	75	84	43

² nanašanje na sliko 5.5 tega poročila



ELEKTROINŠTITUT MILAN VIDMAR

Isaković R., mag. Strmec J., Huč D.; Poročilo o vplivih enosmernih uhajavih tokov na KBV 110 kV Center-
TE-TOL. VENO – 2818. Elektroinštitut Milan Vidmar. Ljubljana. 2012

6. ZAKLJUČEK IN STROKOVNA OCENA

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 RTP Center – TE-TOL ter na RTP Center in kompleksa TE-TOL.

V tem kontekstu smo obdelali zlasti preprečevanje vdora uhajavih tokov enosmerne železniške vleke v prevodne strukture EE postrojev in njim pripadajočim naprav. Za preprečevanje pretoka enosmernih uhajavih tokov po prevodnih delih 110 kV KBV ter posledično povezane korozije ozemljitvenih sistemov priključnih RTP-jev 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. Preučevani 110 kV KBV RTP Center – TE-TOL se glede ozemljevanja prevodnih KB ekranov razdeli na sekcije, katerih dolžine določajo jaški, ki so bili predvideni za montažo prenapetostnih odvodnikov. V teh jaških se izvede spajanje posameznih prevodnih KB ekranov na način, ki ga opisujeta slika 5.7, slika 5.14 in slika 5.15 tega poročila. Pri tem je treba posebno pozornost nameniti sami izvedbi, saj morajo biti vsi deli, ki so galvansko povezani s prevodnimi KB ekrani galvansko ločeni od preostalih (lokalnih) ozemljitev.

Ker sta stikališče TE-TOL v GIS izvedbi, kakor tudi RTP Center, ki je prostozračno stikališče, locirani v gosto naseljenem urbanem okolju in 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 mm^2 ob KB trojčku posameznega sistema. Kompenzacijski vodnik mora biti v trasi KBV izoliran od okolice. Nanj se v omenjenih jaških veže posamezno zbiralko, na katero so vezani prevodni KB ekrani oz. pripadajoči odvodniki. Pri tem morajo biti povezovalni vodniki enakega prereza kot prevodni KB ekran oz. kompenzacijski vodnik.

V trasi dveh 110 kV KBV se morajo kompenzacijski vodniki polagati med obema sistemoma.

Za preprečevanje vdora enosmernih uhajavih tokov v sam kompenzacijski vodnik se na obeh koncih kompenzacijskega vodnika vgradi ISP napravo. Ta blokira enosmerni tok, izmeničnega pa prepušča. ISP napravo se vgradi v prostor RTP-ja tako, da je za namen rednih pregledov in vzdrževanja tudi v času obratovanja postroja možen neoviran dostop.

Za dimenzioniranje ISP je potrebna vrsta podatkov, izmed katerih se jih nekaj lahko pridobi le z meritvami. Zato naj se po končanih delih na ozemljitvenem sistemu RTP Center in TE-TOL ter izvedeni povezavi KBV 110 kV RTP Center – TE-TOL na lokacijah predvidene vgradnje ISP naprav opravijo meritve potencialov enosmerne napetosti, ki naj se izvajajo vsaj en teden, ter meritve inducirane toka pri normalnem obratovanju. Slednje meritve se izvede v obdobju poskusnega obratovanja in naj trajajo vsaj 24 ur. Na osnovi podatkov, ki se jih pridobi z meritvami, se opravi dimenzioniranje ISP naprav.

Z upoštevanjem navedenih navodil in ukrepov se nevarnosti korozije na ozemljitvenih sistemih ogroženih RTP-jev in nepotrebnih termičnih obremenitev 110 kV KBV, ki pretijo z naslova uhajavih tokov enosmerne železniške vleke, zmanjšajo na minimalno možno raven.

7. LITERATURA

1. SIST EN 50122-1:1998 - Železniške naprave – Stabilne naprave električne vleke – 1. del: Zaščitni ukrepi glede električne varnosti in ozemljitev.
2. SIST EN 50122-2:1998 - Železniške naprave – Stabilne naprave električne vleke – 2. del: Zaščitni ukrepi proti učinkom blodečih tokov, ki jih povzročajo enosmerni vlečni sistemi.
3. SIST EN 50162:2005 - Železniške naprave – Zaščita proti koroziji zaradi učinkovanja blodečih tokov pri enosmernih tokovnih sistemih.
4. Projekt PGD št.: 6710, Kabel 2×110 kV RTP Litostroj - RTP PCL, Načrt električnih inštalacij in električne opreme, št. načrta: 4337.5E01, KORONA, Ljubljana, januar 2012,
5. Projekt PGD št.: 6710, Kabel 2×110 kV RTP Litostroj - RTP PCL, Načrt elektro kabske kanalizacije, št. načrta: 815240, Elea iC, Ljubljana, september 2011
6. IDEJNA ZASNOVA (IDZ), št. Projekta: 7091, 110 kV kabska povezava med RTP Vrtača in RTP Center, 3. Načrt gradbenih konstrukcij in drugih gradbenih načrtov – EKK, št. načrta: 331110042, Elea iC, Ljubljana, oktober 2010
7. IDEJNA ZASNOVA (IDZ), št. Projekta: 7091, 110 kV kabska povezava med RTP Vrtača in RTP Center, 4. Načrt električnih inštalacij in električne opreme, št. načrta: 13680211-E01, ELIM d.o.o., Ljubljana, julij 2011.
8. Projekt IDZ, 110 kV kabska povezava med RTP PCL in RTP Toplarna, Načrti električnih inštalacij in električne opreme, št. načrta: 14140611-E01, ELIM, Ljubljana, November 2011,
9. Projekt IDZ št.: DKPCTO – A572/239, 2×110 kV kabska povezava med RTP PCL in RTP Toplarna, Načrt gradbenih konstrukcij in drugi gradbeni načrti, št. načrta: DKPCTO – 1G/01, IBE, Ljubljana, december 2011,
10. Tehnološki podatki izbranih 110 kV kablov
11. Kratkostične obremenitve VN elementov v RTP 110/20 kV in 110 kV kablovodov na področju mesta Ljubljane VENO-2444, EIMV, Ljubljana 2009