



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

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

**PREPLETANJE ZASLONOV PRI SN
KABLOVODIH Z NAMENOM
PREPREČEVANJA TOPLOTNIH IZGUB**

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.
Mentor v podjetju: Mitja Kos, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Nina Balažek, mag. angl. in mag. prof. slov.

Kandidat: Uroš Klavžar

Begunje, marec 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, dr. Viktorju Lovrenčiču, univ. dipl. inž. el., za mentorstvo, strokovno pomoč in napotke pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala g. Mitji Kosu, univ. dipl. inž. el., iz podjetja Elektro Ljubljana, d. d., za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Hvala lektorici Nini Balažek, mag. angl. in mag. prof. slov., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Hvala tudi moji družini za pomoč in spodbude pri študiju.

IZJAVA

Študent Uroš Klavžar izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča, univ. dipl. inž. el.

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

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava srednjenapetostne (SN) kablovode, ki so ključnega pomena pri zanesljivem in učinkovitem prenosu električne energije. V prvem delu naloga predstavlja SN kabelska omrežja, njihove sestavne dele (kable, spojke, končnike) ter pogoje za njihovo gradnjo in obratovanje. Podrobneje so opisane različne vrste kablov, njihova konstrukcija, izolacijski materiali in zaščitni sloji. Poseben poudarek je namenjen kabelskim spojkam in končnikom, ki morajo zagotavljati zanesljivo povezavo in zaščito kablov pred vlago, mehanskimi poškodbami in drugimi zunanjimi vplivi.

Drugi, praktični del naloge, se osredotoča na problematiko ozemljitve kabelskih zaslonov. Kabelski zasloni imajo pomembno vlogo pri zaščiti kabla in preprečevanju vplivov elektromagnetnega polja na okolico. Vendar pa se pri SN kablovodih, še posebej pri dolgih trasah in velikih obremenitvah, pojavljajo težave z induciranimi tokovi v zaslonih. Ti tokovi povzročajo izgube in lahko negativno vplivajo na zanesljivost obratovanja in življenjsko dobo kablovodov. Delo analizira različne načine ozemljitev kabelskih zaslonov in njihov vpliv na velikost induciranih tokov.

Na praktičnem primeru so predstavljeni SN kablovodi, s pomočjo meritev in simulacij pa so prikazane razlike v velikosti induciranih tokov pri različnih načinih ozemljitev.

KLJUČNE BESEDE

- SN kablovodi,
- prepletanje kabelskih zaslonov,
- toplotne izgube.

ABSTRACT

The thesis addresses medium-voltage (MV) cable systems, which are crucial for the reliable and efficient transmission of electrical energy. The first part of the thesis presents MV cable networks, their components (cables, joints, terminations), and the conditions for their construction and operation. Various types of cables, their construction, insulating materials, and protective layers are described in detail. Special emphasis is placed on cable joints and terminations, which must provide a reliable connection and protection of the cables from moisture, mechanical damage, and other external influences.

The second, practical part of the thesis focuses on the grounding of cable screens. Cable screens play an important role in protecting the cable and preventing the effects of electromagnetic fields on the surroundings. However, in MV cable systems, especially on long routes and with high loads, problems arise with induced currents in the screens. These currents cause losses and can negatively impact the reliability of operation and the lifespan of the cable systems. The thesis analyzes different grounding methods for cable screens and their effect on the magnitude of induced currents.

In the practical example, MV cable systems are presented, and through measurements and simulations, the differences in induced current sizes with various grounding methods are shown.

KEYWORDS

- MV (Medium-Voltage) cable systems,
- Intertwining of cable screens,
- Heat losses.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev okolja	1
1.4	Predpostavke in omejitve.....	2
1.5	Metode dela.....	2
2	SN KABLOVODI IN PRIBOR	3
2.1	Kabli.....	3
2.1.1	Delitev kablov.....	4
2.1.2	Konstruktivski elementi kablov	4
2.1.3	Označevanje kablov.....	8
2.2	Kabelske spojke.....	10
2.3	Kabelski končniki.....	13
2.3.1	Delitev končnikov po uporabi	15
3	GRADNJA IN OBRATOVANJE SN KABLOVODOV	23
3.1	Izbira podzemnega ali nadzemnega voda	23
3.2	Tehnični kriteriji načrtovanja podzemnega omrežja	24
3.3	Izbira tipa kabla	24
3.4	Ozemljevanje kovinskih zaslonov pri enožilnih kablju.....	25
3.4.1	Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov	25
3.4.2	Sredinska ozemljitev kovinskih zaslonov	26
3.4.3	Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov	27
3.4.4	Ozemljitev kovinskih zaslonov z navzkrižnim prepletanjem	28
4	SN PRIKLJUČEK ZA TP0768 TOPLARNA ŠIŠKA II	30
4.1	Izgradnja SN kablovoda.....	30
4.2	Obratovanje kablovoda pred prepletanjem zaslonov	32
4.3	Obratovanje kablovoda s prepletenimi zaslomi.....	33
4.4	Izračun moči izgub v zaslonih in primerjava med izvedbami	34
5	ZAKLJUČEK	35
6	LITERATURA IN VIRI	36

KAZALO SLIK

Slika 1: Izgled in sestava enožilnega SN kabla tipa NA2XS(F(L))2Y	8
Slika 2: Oznake na SN kablu	9
Slika 3: Glavni sestavni elementi spojke	11
Slika 4: SN spojke z izvedenim prepletanjem zaslonov	11
Slika 5: Zračni mehurček pri spojki iz silikona je po preteku 8 minut komaj opazen	12
Slika 6: Sestava kabelskih končnikov za notranjo montažo	16
Slika 7: Parametri za oblikovanje zunanjega SN kabelskega zaključka	18
Slika 8: Sestava kabelskih končnikov za zunanjo montažo	19
Slika 9: Sestava kabelskega konektorja do 250 A kotna in ravna izvedba	20
Slika 10: Sestava kabelskega konektorja do 630 A	22
Slika 11: Enostransko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih	25
Slika 12: Sredinsko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih	26
Slika 13: Obojestransko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih	27
Slika 14: Prikaz prepletanja kovinskih zaslonov-ekranov (angl. Cross-bonding)	29
Slika 15: Pravilna izvedba prepleta zaslonov kabla	32

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tokovna obremenitev kablovoda pred prepletom zaslonov	32
Tabela 2: Tokovna obremenitev kablovoda s prepletenimi zasloni na enakih tretjinah	33
Tabela 3: Tokovna obremenitev kablovoda s prepletenimi zasloni na neenakih tretjinah	33
Tabela 4: Moč izgub v ekranih kablovodov	34

KRATICE IN AKRONIMI

RTP:	Razdelilna transformatorska postaja
RP:	Razdelilna postaja
TP:	Transformatorska postaja
NN:	Nizka napetost
SN:	Srednja napetost
VN:	Visoka napetost
Al:	Aluminij
Cu:	Baker
PVC:	Polivinilklorid
PE:	Polieten
XLPE:	Omreženi polietilen
EPDM:	Etilen propilen kavčuk
EKK:	Elektro kabelska kanalizacija
EIMV:	Elektro inštitut Milan Vidmar
SODO:	Sistemski operater distribucijskega omrežja
GIZ:	Gospodarsko interesno združenje distribucije električne energije

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Svet, v katerem živimo, vedno bolj obkroža tehnologija, ki se razvija z veliko hitrostjo. Zaradi neprestanih naraščajočih potreb po raznovrstnih tehnoloških napravah v razvoju visokih tehnologij, v industriji in v vsakdanjem življenju je ključnega pomena električna energija, brez katere si danes življenja ne moremo zamisliti. Zaradi vse večjih potreb po električni energiji pa je treba elektroenergetsko omrežje neprestano širiti, razvijati in posodabljati. Kakovost in zanesljivost delovanja omrežja sta odvisni od različnih dejavnikov.

Zelo pomemben segment elektroenergetskih omrežij predstavljajo srednje napetostni vodi. Izvedeni so lahko nadzemno v obliki daljnovodov, v zadnjem času pa se glede na smernice in tipizacijo večinoma gradijo podzemno kot SN kablovodi. Kablovodi so z vidika obratovanja bolj zanesljivi, saj na njihovo delovanje ne vplivajo zunanji vremenski vplivi.

Kabelski zasloni, ki so sestavni del kablov, imajo pomembno vlogo pri zaščiti kabla in preprečevanju vplivov elektromagnetnega polja na okolico, vendar pa se elektro distribucijska podjetja tudi pri SN kablovodih soočajo z nekaterimi težavami, kot so, na primer, velike obremenitve posameznih vodov in dolge razdalje, kar se odraža z višjimi induciranimi tokovi, ki tečejo po kabelskih zaslonih, ti pa predstavljajo termične izgube in negativno vplivajo na zanesljivost obratovanja in življenjsko dobo kablovodov. Ta vpliv je izrazitejši pri kablilih z večjimi preseki in višjimi tokovnimi obremenitvami.

1.2 Cilji naloge

Cilj diplomskega dela je predstaviti SN kabelska omrežja, njihove sestavne dele in pogoje za obratovanje ter na podlagi praktičnega primera potrditi, zakaj je pomembno, kakšen način ozemljitve kabelskih zaslonov izberemo in kako to vpliva na delovanje in zanesljivost električnega omrežja.

1.3 Predstavitev okolja

Podjetje Elektro Ljubljana upravlja z največjim distribucijskim omrežjem v Sloveniji, ki pokriva območje 6.166 km², kar predstavlja 30,4 % celotne površine države. Z elektroenergetsko infrastrukturo zagotavlja učinkovito in zanesljivo dobavo električne energije v osrednji in jugovzhodni Sloveniji. Skupaj oskrbuje več kot 353.337 odjemalcev, kar potrjuje osredotočenost podjetja na zagotavljanje kakovostne in nemotene oskrbe z električno energijo.

Podjetje upravlja z razdelilnimi transformatorskimi postajami (RTP), razdelilnimi postajami (RP) in transformatorskimi postajami (TP) na različnih napetostnih nivojih, in sicer:

- 31 razdelilnih transformatorskih postaj RTP 110/20/10 kV,
- 19 razdelilnih postaj (RP),
- 5.698 transformatorskih postaj (TP).

Dejavnosti družbe so organizirane na sedežu uprave v Ljubljani in v okviru petih distribucijskih enot.

1.4 Predpostavke in omejitve

Pri gradnji SN kablovodov se morajo elektro distribucijska podjetja držati pravil in smernic za gradnjo in načrtovanje distribucijskih omrežij, ki so spisana na podlagi standardov in zakonskih aktov. Te smernice določajo izbiro načina ozemljitve kabelskih zaslonov. Eden izmed načinov je obojestransko ozemljena izvedba s prepletanjem zaslonov na enakovrednih tretjinah trase kablovoda. Težava, s katero se soočamo v našem primeru, je, da zaradi prostorskih omejitev in specifične trase na enem izmed kablovodov zato izvedba prepletanja zaslonov na enakih tretjinah trase ni bila možna, posledično pa se to izraža v zmanjšani učinkovitosti izničevanja induciranih tokov v kabelskih zaslonih.

1.5 Metode dela

Pri izdelavi diplomskega dela smo v teoretičnem delu uporabili opisno metodo, saj smo s pomočjo različnih virov predstavili SN kabelska omrežja, njihove sestavne dele in pogoje za gradnjo in obratovanje.

V praktičnem delu pa smo s pomočjo analitične metode primerjali podatke, pridobljene na podlagi meritev po izvedenih delih, in podali ugotovitve.

2 SN KABLOVODI IN PRIBOR

Kablovod je sistem ali infrastruktura, ki je namenjena prenosu električne energije ali signalov med različnimi lokacijami. Sestavljen je iz ene ali več vrst kablov in kabskega pribora, med katerega štejemo kabske spojke, končnike, konektorje in pritrdilni material. Kablovod je lahko izveden nadzemno ali podzemno.

Pri nadzemni izvedbi kablovoda so kabli nameščeni na drogovi, kar predstavlja manjši strošek izvedbe v primerjavi s podzemnimi, vzdrževanje pa je lažje zaradi enostavnega dostopa za popravila in pregleda. Slabost pa je, da so bolj izpostavljeni vremenskim vplivom.

Pri podzemni izvedbi kablovoda pa so kabli lahko položeni neposredno v zemljo, v tako imenovano posteljico ali pa so položeni v kabsko kanalizacijo, ki zajema cevi, položene v zemljo in kabske jaške. V tem primeru so kabli zaščiteni pred vremenskimi vplivi in mehanskimi poškodbami, strošek izvedbe pa je v tem primeru večji. Podzemna izvedba je primernejša za gradnjo kablovodov v urbanih naseljih.

SN kablovodi so srednjenapetostni kablovodi, ki se uporabljajo za prenos električne energije v razponu napetosti od 1 kV do 35 kV. V slovenski elektroenergetski terminologiji se napetostni nivoji delijo na nizkonapetostne (NN), srednjenapetostne (SN) in viskonapetostne (VN) sisteme.

Uporabljajo se za distribucijo električne energije, od transformatorjev do industrijskih obratov, manjših elektrarn in do nizkonapetostnih distribucijskih omrežij.

SN kablovodi so ključnega pomena za učinkovito in zanesljivo distribucijo električne energije, saj omogočajo prenos energije na večje razdalje z manjšimi izgubami v primerjavi z nizkonapetostnimi sistemi. Poleg tega imajo pomembno vlogo pri povezovanju različnih delov omrežja, kar prispeva k stabilnosti in fleksibilnosti elektroenergetskega sistema.

2.1 Kabli

Kabli ali kabski vodi so zgrajeni iz enega ali več vodnikov in iz več plasti izolacije in zaščitnih slojev.

2.1.1 Delitev kablov

Glede na vrsto izolacije:

- kabli s papirnato izolacijo,
- kabli s termoplastično izolacijo,
- oljni kabli,
- plinski kabli.

Glede na mesto polaganja so kabli lahko:

- zemeljski,
- prostozračni,
- podvodni.

Po namenu se kabli delijo na:

- energetske (VN,SN,NN),
- signalne,
- kable za posebne namene (ladijski, rudniški ...) (Razpet, 2007).

2.1.2 Konstrukcijski elementi kablov

1. Vodnik

To je prevodni del kabla, namenjen za prenos električne energije. Delimo jih glede na:

Vrsto materiala:

- aluminijasti,
- bakreni.

Na prostozračnih omrežjih in na kabelskih energetskih omrežjih vedno pogosteje uporabljamo elektrolitski aluminij.

Obliko:

- okrogle,
- sektorske,
- koncentrične.

Izvedbo:

- polni ali masivni (enožični),
- pleteni (sukani) ali večžični,
- kompaktirani (stisnjeni),
- nekompaktirani (nestisnjeni).

Presek večžičnega vodnika lahko zmanjšamo s kompaktnim oblikovanjem, kjer se okrogle žičke stisnejo in preoblikujejo v ploščate oblike. S tem se poveča faktor polnjenja, saj se zmanjša prazen prostor med žičkami, kar zmanjša možnost lokalnih praznjenj zaradi delovanja električnega polja na dielektrik z nizko dielektrično konstanto. Slaba stran te rešitve je zmanjšana prožnost kabla. Kompaktni vodniki se običajno uporabljajo pri preseku nad 25 mm² (Razpet, 2007).

Pri SN kablu mora vodnik imeti obliko valja brez vdolbin in izboklin, da se zagotovi enakomerna porazdelitev električnega polja. Ta oblika preprečuje lokalne koncentracije električnega polja, ki bi lahko povzročile morebitne napake v izolaciji ali celo okvare vodnika.

Da se doseže ta enakomerna oblika je vodnik sestavljen iz več kompaktiranih drobnih žic iz aluminija (Al) ali bakra (Cu), ki so prepletene ali spletene v vrvasto strukturo. Takšna konstrukcija zagotavlja, da je vodnik okrogle oblike in ima optimalne električne lastnosti, ki omogočajo dobro prevodnost in mehanično trdnost.

Izdelava teh vodnikov sledi določenim standardom, kot je omenjeni standard SIST EN 60228, ki zagotavlja tehnične zahteve za kakovost in zanesljivost izdelave teh kablov, vključno z zahtevami glede materialov, oblike vodnika in drugih parametrov, ki zagotavljajo pravilno delovanje in dolgo življenjsko dobo (SODO T-3, 2020).

2. Polprevodna plast vodnika

Polprevodna plast vodnika je namenjena doseganju enakomerne porazdelitve električnega polja v izolaciji blizu vodnika, ker električno polje oblikuje v homogeno okroglo obliko, kar preprečuje nastanek napetostnih koncentracij in zagotavlja večjo zanesljivost sistema.

Ta plast mora biti izdelana iz omrežene polprevodne plastične mase. Ioni, prisotni v polprevodni snovi, morajo biti inertni, da ne povzročajo pospeševanja ali nastanka pojava »vodnih dreves« v izolaciji, ki bi lahko ogrozila varnost in trajnost sistema. Polprevodna plast mora biti zasnovana tako, da omogoča enostavno ločitev od vodnika, kar je pomembno za proces montaže (SODO T-3, 2020).

3. Izolacija

Je uporabljena na vodniku in je del kabla iz snovi, ki vzdržijo napetostne pogoje, kot je, na primer, omreženi polietilen, XLPE, tip DIX8 v skladu s standardom SIST HD 620 S2 (SODO T-3, 2020).

4. Polprevodna plast izolacije

Polprevodna plast izolacije, podobno kot polprevodna plast vodnika, služi za doseganje enakomerne porazdelitve električnega polja v bližini električnega zaslona iz bakrenih žic. Njena naloga je, da zagotovi homogenost električnega polja v izolaciji, kar preprečuje nastanek napetostnih koncentracij.

Polprevodna plast mora biti trdno vezana na izolacijo, da se zagotovi njena stabilnost in učinkovitost. Izdelana je iz omrežene polprevodne plastične mase, pri čemer morajo biti loni v plastični masi inertni, da ne pospešujejo ali povzročajo nastanka t. i. »vodnih dreves« v izolaciji (SODO T-3, 2020).

5. Separacijski sloj

Namen separacijskega sloja je zmanjševanje škodljivih mehanskih vplivov med sestavnimi elementi kabla med izdelavo, polaganjem in delovanjem sil terena na končno vgrajeni kabel.

Separacijski sloji zagotavljajo mehansko blaženje in drsnost stika med sloji ter s tem zmanjšujejo možnost poškodb materiala. Separacijski sloj v območju električnega zaslona in polprevodne plasti izolacije v kablích z vzdolžno zaporo opravlja tudi funkcijo vodne zapore. Izveden je kot poseben dvoslojni trak iz polprevodne vlaknovine z vmesnim vezanim slojem higroskopičnega prahu. Trak je ovit vzdolž žile in ob stiku z vodo nabrekne oziroma želira in tako ustvari zaporo proti prodiranju vode naprej po kablú.

Separacijski sloj v stiku je med plaščem in električnim zaslonom v kablích z vzdolžno vodno zaporo lahko tudi iz drugih tehnološko ustreznih materialov (npr. folije, papirja ipd.) (SODO T-3, 2020).

6. Električni zaslon

Namen zaslona je, da je zunanost kabla na varnem potencialu oziroma na potencialu blizu potenciala zemlje. Zaslon poleg varnosti zagotavlja nadzorovan električni potencial polprevodnemu sloju izolacije in v strnjenih kabelskih omrežjih zagotavlja medsebojno galvansko povezanost ozemljitev napajanih objektov v enotno globalno ozemljitev omrežja (v kolikor je omrežje tako zastavljeno).

Električni zaslon sestavlja več bakrenih žic in bakreni trak, ki so oviti okrog žile kabla s skupnim prerezom 16 mm² ali 25 mm². Premer žic mora biti večji od 0,5 mm, bakreni trak pa mora biti debelejši od 0,1 mm. Razmik med posameznimi žicami je lahko največ 4 mm (SODO T-3, 2020).

Na visokonapetostnih kablilih se lahko pojavijo težave zaradi zelo velikih jakosti električnega polja. Ko električno polje ni enakomerno porazdeljeno, lahko pride do lokalnih koncentracij polja, kar povzroči lokalne razelektritve. Te razelektritve lahko vodijo do preboja izolacije, kar pomeni, da zaščitna plast kabla ne more več ustrezno preprečiti prehoda toka, kar lahko povzroči okvare sistema ali celo nevarne situacije. Z ekranizacijo kablov dosežemo:

- omejitev električnega polja na vodnik oziroma notranjost kabla,
- radialno homogeno električno polje,
- zaščito kabla pred induciranimi napetostmi,
- zmanjšanje radijskih motenj,
- zaščito pred previsoko napetostjo dotika,
- odvajanje kapacitivnih in zemeljsko-stičnih tokov.

Ekranizacija kabla je narejena z ekranom vodnika in ekranom izolacije.

Ekran vodnika je polprevodna plast trakov ali slabo prevodna PVC masa, ki zapolnjuje prazen prostor med posameznimi žičkami vodnika. Ta plast pomaga omejiti in oblikovati električno polje znotraj kabla, kar preprečuje nepravilno porazdelitev napetosti in zmanjša tveganje za preboje izolacije. Pri kablilih s papirnato izolacijo pa ekran vodnika tvorijo polprevodni papirnati trakovi ali kovinska mrežica, ki še dodatno izboljšajo enakomerno porazdelitev električnega polja in zaščitijo notranje komponente kabla pred vplivi okolja in mehanskimi poškodbami.

Ekran izolacije je sestavljen iz kovinskega in nekovinskega dela. Nekovinski je narejen iz enega ali več polprevodnih trakov in tankega sloja polprevodnega premaza, neposredno nad izolacijo žile ali jedrom kabla, kovinski del pa predstavlja električno zaščito (Razpet, 2007).

7. Vzдолžna vodna zapora zaslona (F)

Vzdolžna vodna zapora kabla na področju zaslona je izvedena z uporabo polprevodnega traku, opisanega v točki 5., ovitega vzdolž žile kabla z ene ali obeh strani kovinskega zaslona, ki ob stiku z vodo nabrekne oziroma želira in prepreči vodi nadaljnjo širjenje po kablju (SODO T-3, 2020).

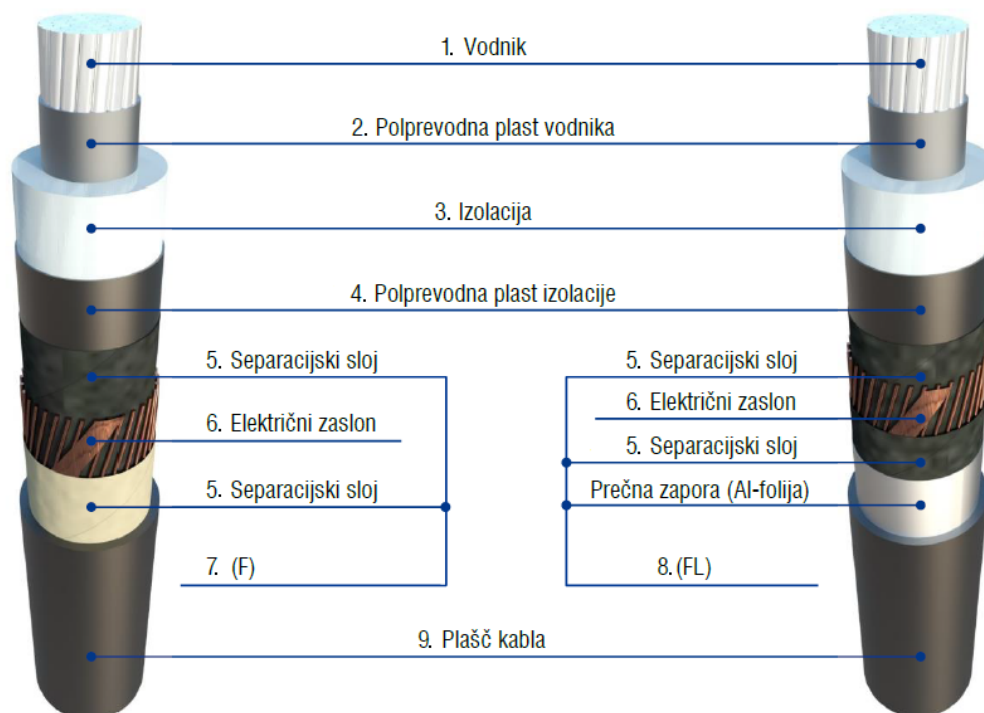
8. Vzдолžna in prečna vodna zapora kabla (FL)

Poleg vzdolžne vodne zapore iz točke 7 kabel vsebuje tudi sloj prečne vodne zapore v obliki kovinske folije, ki vlaga preprečuje vdor skozi plašč v notranjost kabla. Pri kablilih, označenih s (FL), je prečna vodna zapora iz aluminijaste folije, ki je neprekinjeno in neločljivo spojena na notranjo stran plašča kabla. Pri kablilih s prečno zaporo iz bakrene folije (FB) sta pomen in analogija prečne zapore enaki (SODO T-3, 2020).

9. Plašč kabla

Zunanja izolacijska plast kabla je namenjena zaščiti notranjosti kabla pred vplivi vlage in kemičnih učinkov. Plašč kabla mora biti narejen iz polietilena (PE), katerega karakteristike morajo biti v skladu z zahtevami iz standarda SIST HD 620 S2, za tip materiala DMP 2, črne barve. PE se odlikuje po dobri kemični obstojnosti, mehanski trdnosti in odličnih elektro izolacijskih lastnostih (SODO T-3, 2020).

Sestava in konstrukcijski elementi enožilnih PVC SN kablov so razvidni na Sliki 1.



Slika 1: Izgled in sestava enožilnega SN kabla tipa NA2XS(F(L))2Y
(Vir: SODO T-3, 2020)

2.1.3 Označevanje kablov

Oznako kabla sestavlja skupina črk in števil, ki označujejo konstrukcijo kabla od sredine kabla (vodnik) navzven (plašč). Za označevanje se uporablja sistem označevanja kabla po standardu SIST HD 620 S2. Ne označujejo se vodnik iz bakra, izolacija iz papirja, notranji in zunanji prevodni plašči in skupni koncentrični kovinski zaslon-ekran (SODO T-3, 2020).

Primer označevanja enožilnih srednjenapetostnih kablov:

N A 2X S (FL) 2Y 1 × 150 / 25 RM 12/20(24)kV

-1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9-

Slika 2: Oznake na SN kablu
(Vir: SODO T-3, 2020)

1. Identifikator označevanja po standardu SIST HD 620 S2

N oznaka za kabel po standardu

2. Vodnik

A vodnik iz aluminija
bakren vodnik (brez označbe)

3. Izolacija

2X omreženi polietilen (XLPE)

4. Zaslona

S ekran iz Cu žic
SE ekran okrog vsake žile posebej
H prevodni sloji
(F) vzdolžno vodotesen

5. Plašč

Y PVC
2Y termoplastični polietilen (PE)
(F)2Y vzdolžno vodotesen s PE plaščem
(FL)2Y vzdolžno in prečno vodotesen z Al/PE plaščem
(FB)2Y vzdolžno in prečno vodotesen s Cu/PE plaščem

6. Število žil

7. Nazivni prerez vodnika/prerez ekrana v mm²

8. Oblika vodnika

R okrogel vodnik
S sektorski vodnik
E polni vodnik
M večžični vodnik

9. Nazivna napetost (U_o/U)

2.2 Kabelske spojke

Za spajanje in nadaljevanje kablov uporabljamo kabelske spojke, ki so izolirane s polimeri, material pa je izredno odporen proti dolgotrajnim električnim in atmosferskim obremenitvam. Izdelane so tako, da jih je s segrevanjem možno hitro skrčiti okoli kabla, s tem pa zagotavljajo kakovostno tesnjenje.

Vrsto in tip spojke določa:

- nazivna napetost kabla,
- konstrukcija in vrsta izolacije kabla,
- položaj spojke v omrežju,
- izvedba povezave kovinskih zaslonov (z navzkrižno povezavo ali brez).

Spojka mora biti izvedena tako, da je spojno mesto trajno zaščiteno pred vdorom vlage in mehanskimi poškodbami.

Oznaka na spojki mora vsebovati:

- ime proizvajalca spojke,
- tipsko oznako spojke (kataloško številko),
- oznako standarda, po katerem je spojka izdelana.

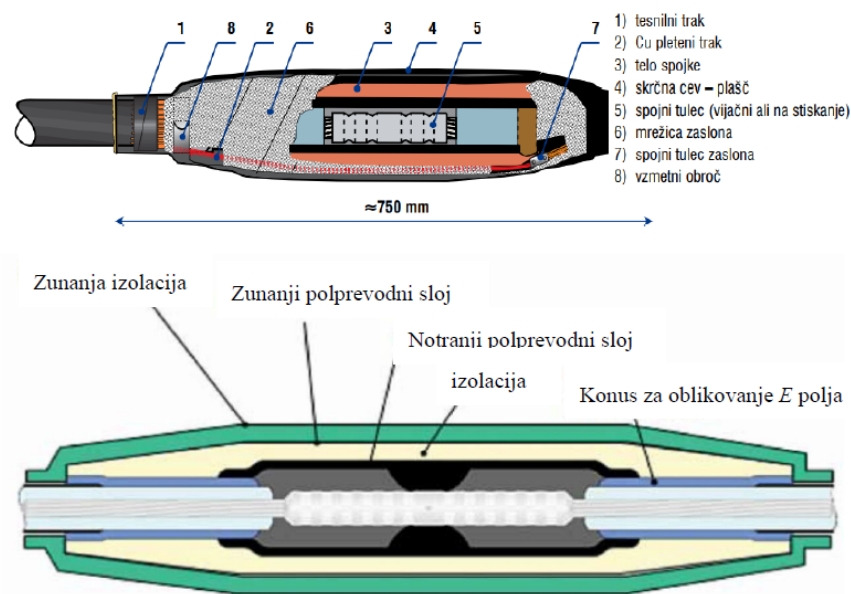
Na paketu, v katerem se spojke dobavljajo, mora biti označeno:

- ime proizvajalca,
- tipska oznaka (kataloška številka),
- nazivna in najvišja dopustna napetost,
- območje prerezov vodnika, za katere se spojka lahko uporablja,
- pri časovno omejeni uporabi spojke mora biti naveden podatek o roku uporabe spojke,
- datum izdelave,
- navodilo za montažo v slovenskem jeziku,
- specifikacija elementov, ki tvorijo en komplet.

Konstrukcija kabelske spojke mora omogočati montažo pri temperaturi najmanj +5 °C. V primeru nižjih temperatur je treba upoštevati posebna navodila proizvajalca kabelskih spojk.

Za spajanje SN kablov z izolacijo iz umetnih mas se uporabljajo kabelske spojke z naslednjimi postopki spajanja:

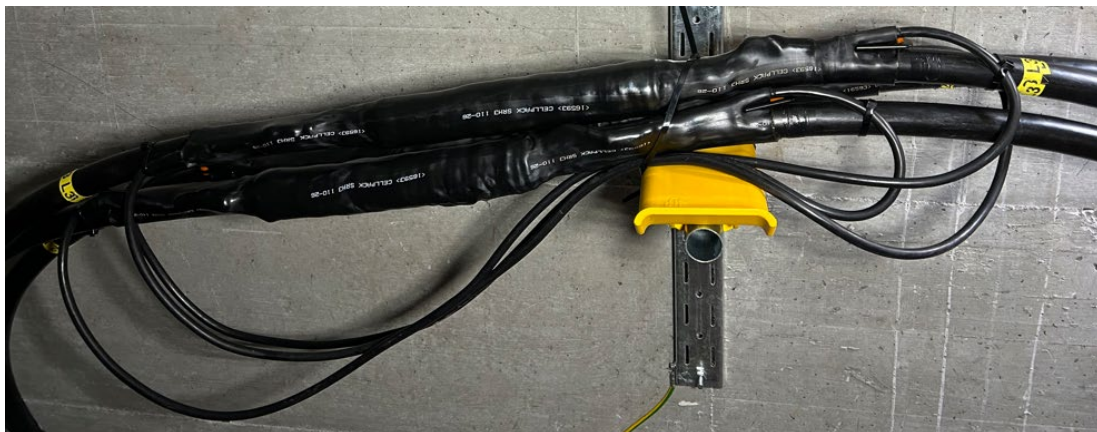
- toploskrčne kabelske spojke,
- hladnoskrčne kabelske spojke,
- kabelske spojke v tehniki natikanja.



Slika 3: Glavni sestavni elementi spojke
(Vir: EIMV Študija 2493, 2022)

Pri izdelavi kablskih spojk je treba poskrbeti za neprekinjenost kovinskih plaščev in kovinskega zaslona (električne zaščite) kabla z ustreznim priborom za spajanje. Pri spojkah ločimo izvedbo zmanjšanja polja z namestitvijo konusa za oblikovanje polja (angl. *stresscone*) ali izolacijskega tulca v silikonski ali EPDM izvedbi izolacije notranjega in zunanjega polprevodnega sloja (EIMV Študija 2493, 2022).

Primer SN spojke, ki omogoča navzkrižno prepletanje kovinskih zaslonov prikazuje slika 4.



Slika 4: SN spojke z izvedenim prepletanjem zaslonov
(Lastni vir)

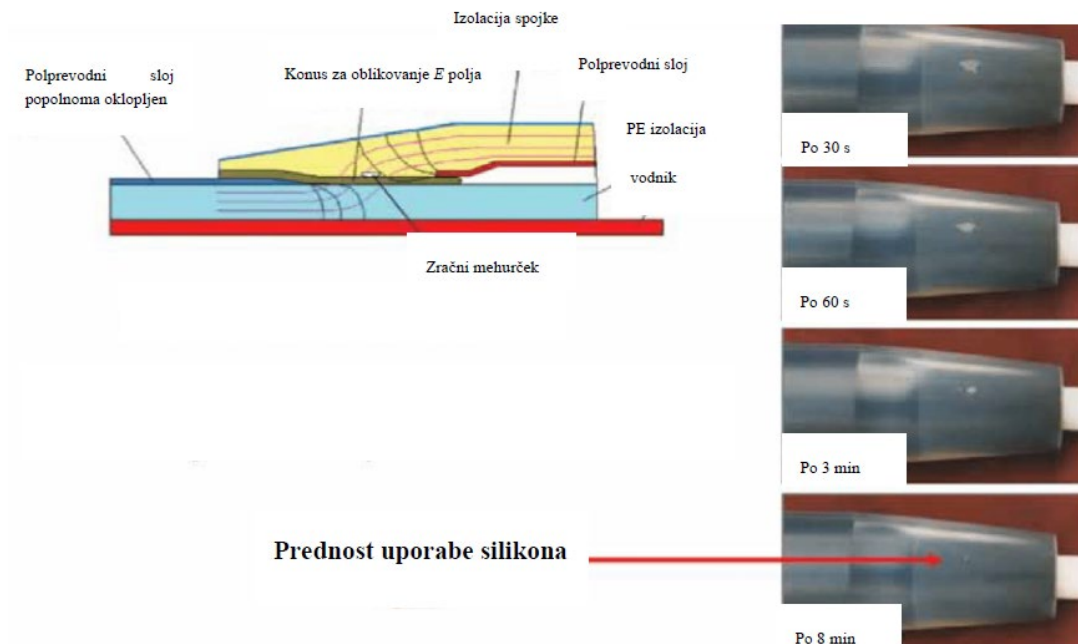
Poznamo dve različni tehnologiji za izdelavo spojk.

Prva se izvede z namestitvijo izolacijskega tulca, ki se namesti med zunanji polprevodnim slojem kabla in notranji polprevodni sloj spojke.

Druga se izvede z namestitvijo konusa za oblikovanje polja (angl. *stresscone*). Tu se stikata zunanji polprevodni sloj kabla in notranji polprevodni sloj spojke. Pomembna prednost silikona pri uporabi v spojkah je njegova sposobnost absorpcije plina, kar se izkaže kot prednost zlasti pri pomanjkljivi montaži, kjer se pri izdelavi spojke lahko ujamejo zračni mehurčki. Ti se zaradi radialnega pritiska hitro absorbirajo.

Slika 5 prikazuje, kako se v manj kot 10 minutah sled za zračnim mehurčkom izgubi. To je zagotovilo, da v kratkem času po izdelavi kableske spojke v njej niso prisotni zračni mehurčki, kar je mogoče potrditi z meritvijo delnih razelektrenj, ki izkazujejo visok prag vžigne napetosti.

Zaradi omenjene lastnosti pa silikon kot material ni primeren za zunanji zaščitni tulec, saj bi se zaradi visoke absorpcijske sposobnosti zraka skozenj absorbiralo preveč zraka iz vodne pare in hlapov. V te namene je bolj priporočljivo uporabiti EPR (EIMV Študija 2493, 2022).



Slika 5: Zračni mehurček pri spojki iz silikona je po preteku 8 minut komaj opazen
(Vir: EIMV Študija 2493, 2022)

2.3 Kabelski končniki

Zaključevanje kablov se izvaja z ustreznimi kabelskimi končniki, kar je odvisno od konstrukcije in izolacije kablov.

Vrsto in tip kabelskega končnika določajo:

- nazivna napetost kabla,
- konstrukcija in vrsta izolacije kabla,
- način vgradnje (notranja ali zunanja montaža),
- stopnja onesnaženosti okolice, v kateri se izvaja montaža,
- način priključevanja na električne postroje, naprave in vode.

V nečistih atmosferah se priporoča uporaba kabelskega končnika s povečano stopnjo izolacije.

Oznaka na kabelskem končniku mora vsebovati:

- ime proizvajalca,
- tipsko oznako (kataloško številko),
- oznako standarda.

Na paketu, v katerem se kabelski končnik dobavlja, mora biti označeno:

- ime proizvajalca,
- tipska oznaka,
- nazivna in najvišja dopustna napetost,
- način vgradnje (notranja ali zunanja montaža),
- območje prerezov vodnika, za katere se končnik lahko uporablja,
- pri časovno omejeni uporabi končnika mora biti naveden podatek o roku uporabe,
- datum izdelave,
- navodila za montažo v slovenskem jeziku,
- specifikacija elementov, ki tvorijo en komplet.

Konstrukcija kabelskega končnika mora biti zasnovana tako, da omogoča montažo pri temperaturah najmanj +5 °C. V primeru nižjih temperatur je nujno treba upoštevati posebna navodila proizvajalca, da se preprečijo morebitne poškodbe materialov ter zagotovita pravilna montaža in delovanje končnika.

Vsi kovinski deli kablskega končnika, vključno s kovinskim zaslonom kabla, ki ni pod napetostjo med normalnim obratovanjem, morajo biti ustrezno ozemljeni. Pri izdelavi kablskega končnika je treba kovinski zaslon povezati z ozemljitvijo brez prekinitve, in sicer z ustreznim kablskim čevljem, ki zagotavlja trajno in zanesljivo povezavo. Spojna mesta morajo biti zasnovana kot razstavljiva in dostopna za izvajanje napetostnih preskusov kablskega plašča, kar omogoča zagotavljanje varnosti in zanesljivosti kabla.

Posebno pozornost je treba posvetiti morebitnim induciranim tokovom v kovinskih zaslonih, ki nastanejo zaradi elektromagnetnih vplivov. Te tokove je treba ustrezno obravnavati, da se preprečijo morebitni negativni učinki na delovanje in varnost sistema (EIMV Študija 2493, 2022).

Kabelski končniki se uporabljajo za varno zaključevanje SN kablov, pri prehodu kabla na drugo vrsto voda (na primer daljnovod) ter za povezovanje kablov na različne energetske naprave. Glede na vrsto uporabe se kabelski končniki delijo v naslednje kategorije:

- končniki za notranjo uporabo, ki so zasnovani za vgradnjo v zaščitene prostore, kjer ni izpostavljenosti zunanjim vplivom,
- končniki za zunanjo uporabo, ki so prilagojeni za vgradnjo na prostem in izpostavljenost atmosferskim vplivom, kot so UV žarki, dež, sneg, vlaga in prah,
- končniki za vgradnjo na kompaktne stikalne bloke, ki omogočajo povezovanje kablov na stikalnih napravah.

Zunanji kabelski končniki morajo biti izdelani iz materialov, ki so odporni proti koroziji in vremenskim vplivom, da zagotovijo dolgotrajno in zanesljivo delovanje v zahtevnih okoljskih razmerah. To vključuje zaščito pred UV žarki, vlago in drugimi zunanjimi dejavniki, ki bi lahko vplivali na delovanje kabla.

2.3.1 Delitev končnikov po uporabi

Kabelski končniki za notranjo uporabo:

Kabelski končniki za notranjo vgradnjo se uporabljajo za zaključevanje SN oklopljenih ali enožilnih kablov z zaslonom, izoliranih z XLPE umetno maso, tipa N(A)2XS(F)2Y, ter za priključevanje na zračno izolirane klasične stikalne naprave.

Kabelski končnik je sestavljen iz kabelskega čevlja, telesa končnika in iz ozemljitvenega kabelskega čevlja. Material telesa končnika mora biti iz silikonske ali EPDM gume ali toplokrčni. Namestitev telesa končnika je možna s hladnokrčno ali natično tehniko.

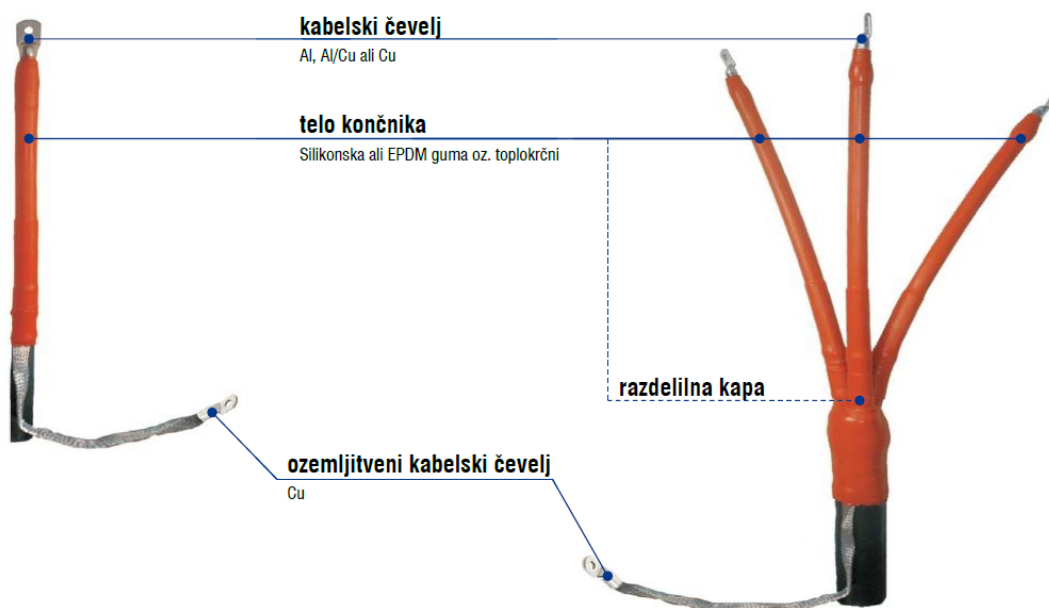
Pri hladnokrčni tehniki je telo končnika raztegnjeno na spiralnem plastičnem ovoju. Ko spiralni ovoj na predpripravljenem in očiščenem mestu zaključka kabla odvijamo, se telo končnika skrči do površine zaključka kabla.

Pri natični tehniki se formirano telo končnika z uporabo ustreznih past oziroma maziv natakne na predpripravljen zaključek kabla.

Pri toplokrčnem materialu se telo oziroma cev končnika segreva. Cev se skrči do predpripravljene površine zaključka kabla (po navodilih proizvajalca spojne opreme) ter tako zagotovi tesnjenje.

Najpomembnejše pri izdelanem končniku je zagotavljanje trajnega tesnjenja pred vlago. Biti mora odporen na plazilne tokove, atmosferske vplive in na staranje. Zagotoviti je potrebno kompaktnost, intergrirano kapacitivno kontrolo električnega polja in linearno porazdelitev obremenitve. Telo končnika mora biti oblikovano v enem kosu.

Končniki morajo pokrivati naslednje prereze kablov, in sicer prereze Al 70 mm², 150 mm² in 240 mm² za zunanje premere kablov od 30 mm do 44 mm. Plazilna razdalja mora biti večja od 270 mm za 20 kV napetosti (GIZ TS-4, 2014).



Slika 6: Sestava kabelskih končnikov za notranjo montažo
(Vir: GIZ TS-4, 2014)

Kabelski končniki za zunanjo uporabo:

Končniki za zunanjo vgradnjo so ključne komponente za učinkovito in varno povezovanje kablov z električno opremo v zunanjem okolju. Pogosto se uporabljajo za priklop kablov pri prehodih iz nadzemnih vodov v kable in tudi pri povezavi kablov z vertikalnimi ločilniki. Zasnova končnika za zunanjo vgradnjo je v osnovi podobna tisti za notranjo vgradnjo, vendar so pri končnikih za zunanjo vgradnjo vključeni dodatni izolacijski elementi, kot so obroči ali rebra, ki omogočajo večjo plazilno razdaljo.

Kabelski zaključki za zunanjo montažo morajo izpolnjevati vrsto tehničnih in okoljevarstvenih zahtev, da zagotavljajo električno varnost in zaščito pred zunanjimi vplivi. Poleg dobrih električnih in izolacijskih lastnosti se morajo končniki za zunanjo uporabo ponašati s številnimi drugimi lastnostmi, ki zagotavljajo dolgoročno zanesljivost in trajnost sistema. Med ključnimi zahtevami so:

- **Prilagojenost večjemu številu presekov kablov:**
Zunanji kabelski zaključki morajo biti zasnovani tako, da podpirajo širok spekter presekov kablov, kar omogoča fleksibilno in univerzalno uporabo v različnih aplikacijah.

- **Visoka preskočna napetost:**

Končniki morajo biti zasnovani za visoke napetosti, ki preprečujejo električne skoke med vodniki in ozemljitvijo. Ta lastnost je nujna za zagotavljanje varnosti pri visokih napetostih in preprečevanje poškodb izolacije.

- **Dolga plazilna razdalja:**

Plazilna razdalja, ki predstavlja minimalno dolžino, po kateri električna energija ne more prehajati ob površini končnika, je ključnega pomena za preprečevanje električnih okvar. Za zunanjo vgradnjo mora biti ta razdalja optimizirana, saj so končniki pogosto izpostavljeni vlagi in drugim neugodnim vremenskim razmeram.

- **Odpornost proti pokanju in UV sevanju:**

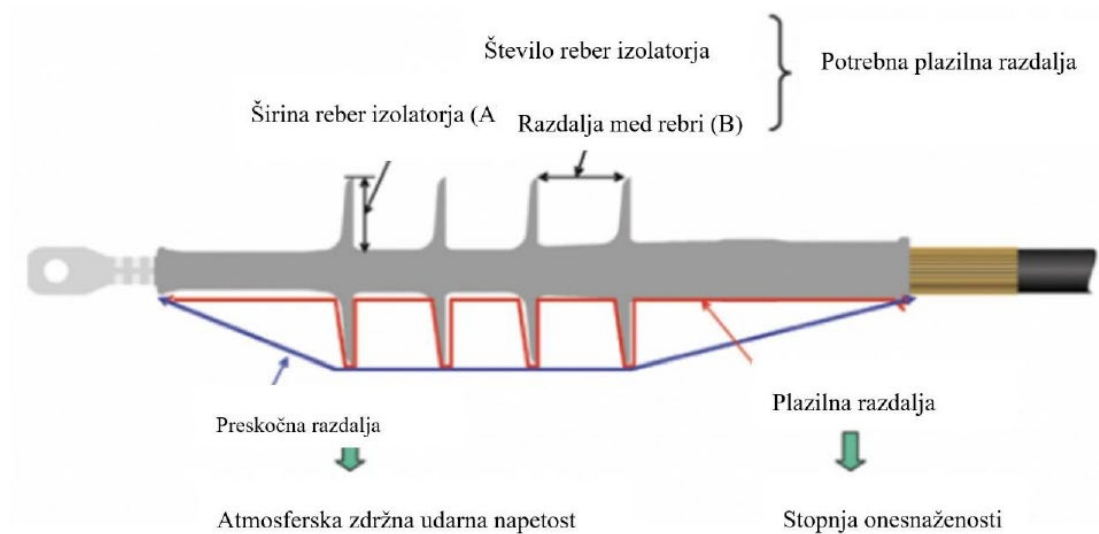
Zunanji končniki so neprestano izpostavljeni sončnemu sevanju, kar lahko povzroči degradacijo materialov, zato morajo biti izdelani iz materialov, ki so odporni na UV sevanje, da se prepreči pokanje ali staranje, kar bi lahko ogrozilo električno zaščito.

- **Odpornost proti onesnaženju, dežju in megli:**

Zaradi različnih vremenskih vplivov, kot so dež, megla ali onesnaženje, morajo biti končniki zasnovani tako, da zagotavljajo nemoteno delovanje tudi v zahtevnih okoljskih razmerah. Materiali, uporabljeni v konstrukciji, morajo biti odporni proti tovrstnim vplivom, saj bi lahko onesnaževana površina povzročila slabo prevodnost ali poškodbe.

- **Enostavnost montaže:**

Zunanji kabelski zaključki morajo biti zasnovani za enostavno in hitro montažo na terenu. To pomeni, da morajo biti uporabniku prijazni, z enostavnimi montažnimi postopki, ki ne zahtevajo posebnega orodja ali dolgotrajnih postopkov, kar je še posebej pomembno pri montaži na težje dostopnih mestih.

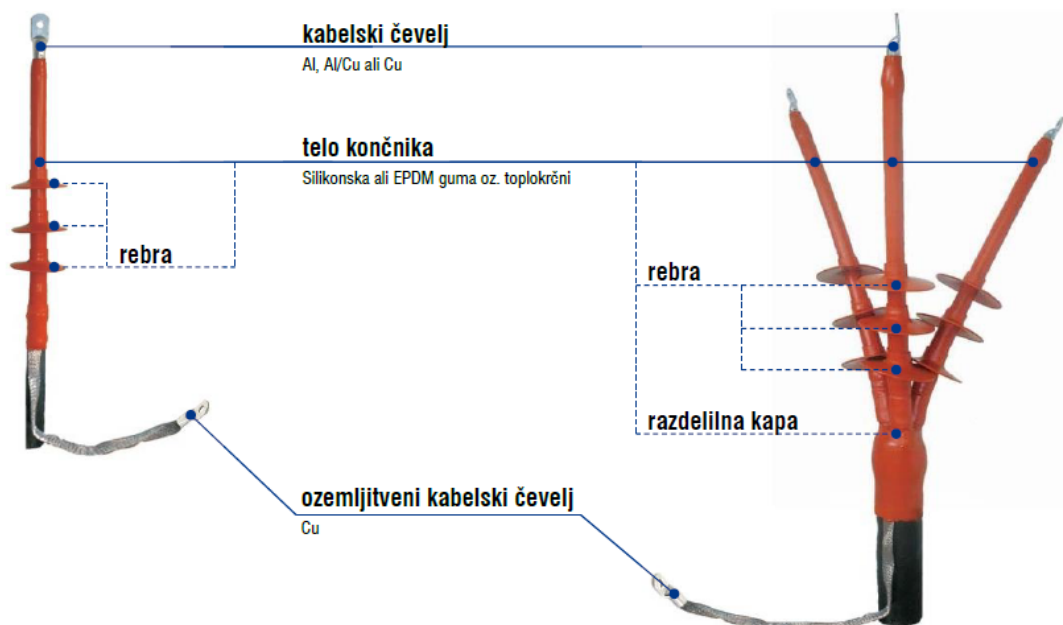


Slika 7: Parametri za oblikovanje zunanjega SN kabelskega zaključka
(Vir: EIMV Študija 2493, 2022)

Za izpolnjevanje teh zahtev so ključne naslednje lastnosti končnikov:

- Dimenzija jedra:**
 Pravilna dimenzija jedra končnika je pomembna za zagotavljanje zadostne kontaktne površine, kar omogoča dober električni stik. Premajhno jedro bi lahko povzročilo slabo prevodnost, preveliko pa bi lahko otežilo montažo in povečalo tveganje za napake pri montaži.
- Število in geometrija krožnikov:**
 Krožniki, ki obdajajo jedro, morajo biti zasnovani tako, da omogočajo enakomeren pritisk na kabel. Pravilna geometrija in število krožnikov zagotavljata mehanično zaščito kabla in dobro električno prevodnost ter zaščito pred mehanskimi obremenitvami.
- Razdalja med krožniki:**
 Razdalja med krožniki je ključna za zagotavljanje zadostne plazilne razdalje, kar je nujno za preprečevanje električnih prebojev in zagotavljanje varnosti. Če je ta razdalja premajhna, lahko pride do povečanega tveganja za okvare, prevelika razdalja pa lahko oteži montažo.

Vse zgoraj navedene lastnosti zagotavljajo, da končniki za zunanjo vgradnjo učinkovito delujejo tudi v težkih okoljskih pogojih, obenem pa zagotavljajo visoko stopnjo varnosti in zanesljivosti v daljšem časovnem obdobju.



Slika 8: Sestava kabelskih končnikov za zunanjo montažo
(Vir: GIZ TS-4, 2014)

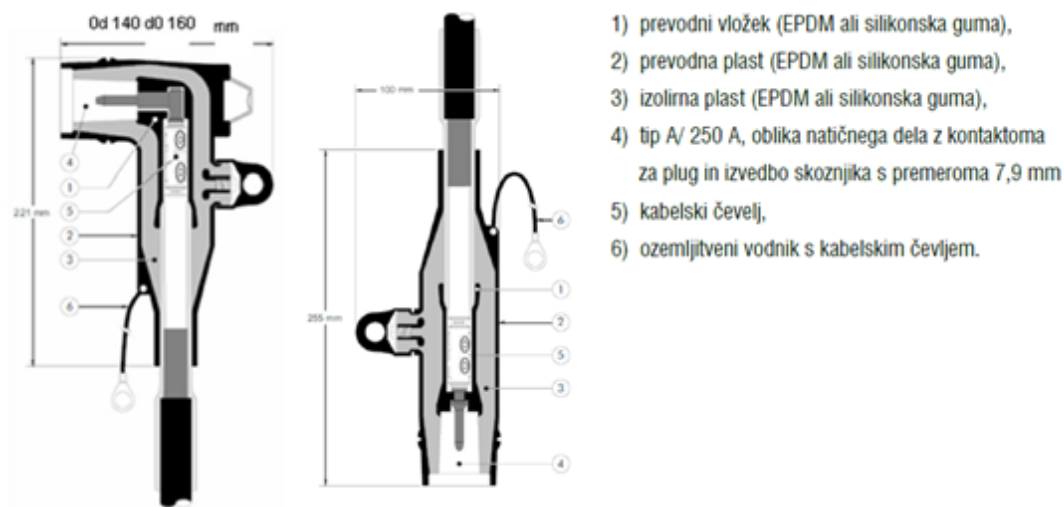
Kabelski konektorji:

Ločljivi kotni konektor (KTK) in ravni konektor (KRK) do 250 A z zaslonom

Končniki za zunanjo vgradnjo se pogosto uporabljajo za priklop distribucijskih transformatorjev z enožilnimi kabli prereza 70 mm². V tem primeru se kabli priključijo na kompaktne stikalne bloke, ki vključujejo konusni skoznjik tipa A - 250 A. Ti skoznjiki so zasnovani tako, da zagotavljajo trden in zanesljiv stik med kabli in transformatorjem.

Za ta namen se uporabljajo končniki, ki ustrezajo standardu SIST EN 50180:2010. Ta standard določa zahteve za zasnovo, izdelavo in uporabo kabelskih končnikov in priključkov za distribucijske sisteme, vključno z zahtevami za električne, mehanske in okoljske lastnosti. Standard zagotavlja, da končniki izpolnjujejo visoke varnostne zahteve in omogočajo dolgoročno zanesljivo delovanje v različnih vremenskih in delovnih pogojih.

Skladnost z omenjenim standardom zagotavlja, da so vsi končniki zasnovani za uporabo v zahtevnih okoljskih pogojih, pri čemer so posebej upoštevane lastnosti, kot so odpornost na električne preskoke, UV sevanje, vlaga ter drugi zunanji vplivi.



*Slika 9: Sestava kablskega konektorja do 250 A kotna in ravna izvedba
(Vir: GIZ TS-4, 2014)*

Konektorji, namenjeni priklopu distribucijskih kablov, so zasnovani iz materialov, ki zagotavljajo visoko električno prevodnost, odpornost na okoljske vplive in dolgo življenjsko dobo. V osnovi so sestavljeni iz treh plasti, ki omogočajo mehansko zaščito in visoko stopnjo električne varnosti. Konektor je običajno izdelan iz silikonske ali EPDM gume, ki zagotavljata fleksibilnost in odpornost na ekstremne okoljske razmere.

Plasti so naslednje:

- **Zunanja prevodna plast:**

Ta plast je kompaktna in ni zgolj premaz. Njen namen je omogočiti električno prevodnost in zagotavljati zaščito pred zunanjimi vplivi, hkrati pa mora omogočiti dotikanje zaslona ter zagotavljati varnost za osebe pri delovanju naprave.

- **Izolacijska plast:**

Ta plast zagotavlja ustrezno zaščito pred električnimi preboji in preprečuje stik med prevodnimi plastmi, s čimer se zmanjša tveganje za nastanek kratkostičnih okvar.

- **Notranja prevodna plast:**

Ta plast je namenjena zagotavljanju visokokakovostne električne povezave znotraj konektorja, pri čemer omogoča učinkovit prenos napetosti skozi celoten sistem.

Kovinski del konektorja, ki predstavlja kapacitivno testno točko, je vgrajen v izolacijsko plast in omogoča kontrolo napetosti. Ta del konektorja je zasnovan tako, da omogoča predoblikovano integrirano kontrolo električnega polja, kar omogoča pravočasno zaznavanje morebitnih napak v sistemu.

Za zagotavljanje visoke varnosti je zunanja prevodna plast konektorja zasnovana tako, da omogoča dotikanje zaslona brez tveganja za električni udar. Poleg tega mora biti ta plast dovolj kompaktna, da zagotavlja dolgoročno zaščito pred mehanskimi poškodbami in drugim okoljskim vplivom.

Ekranizirani konektorji morajo zagotavljati popolno tesnjenje in vzpostaviti zanesljivo električno povezavo med kablom in električno stikalno napravo. Ta povezava je dosežena s pomočjo natičnega kontakta, premera 7,9 mm ter skoznjikov tipa A, zasnovanih za tok do 250 A. Konektor mora biti združljiv z enožilnimi kabli prereza 70 mm², kar omogoča široko uporabo v distribucijskih sistemih, kjer so potrebni visoki tokovi.

Ločljivi kotni konektor (KTK) do 630 A z zaslonom

Konektorji za priklop enožilnih kablov so ključna sestavina za zanesljivo povezavo v distribucijskih sistemih, zlasti v kombinaciji s kompaktni stikalnimi bloki, ki vključujejo konusni skoznjik tipa C (630 A), skladno z zahtevami standarda SIST EN 50181:2010. Ta standard določa tehnične zahteve in postopke za zasnovo in uporabo konektorjev ter zagotavlja visoke varnostne standarde pri vgradnji in delovanju.

Konektorji za tovrstne aplikacije so zasnovani iz silikonske ali EPDM gume, ki omogočata dolgotrajno delovanje tudi v zahtevnih vremenskih in mehanskih pogojih.

Zasnova konektorja vključuje tri osnovne plasti:

- **Zunanja debelostenska prevodna plast:**
Ta plast je odgovorna za zagotavljanje električne prevodnosti in zaščite pred zunanjimi vplivi, kot so mehanske poškodbe in vremenske razmere. Pomembno je, da zunanja plast ni le premaz, temveč kompaktna prevodna plast, ki zagotavlja ustrezno električno zaščito in trajnost.
- **Izolacijska plast:**
Ta plast zagotavlja zaščito pred električnimi preboji, preprečuje stik med prevodnimi plastmi in omogoča varno delovanje sistema.
- **Notranja prevodna plast:**
Notranja plast je odgovorna za zagotavljanje stabilne električne povezave znotraj konektorja, kar omogoča zanesljiv prenos napetosti.

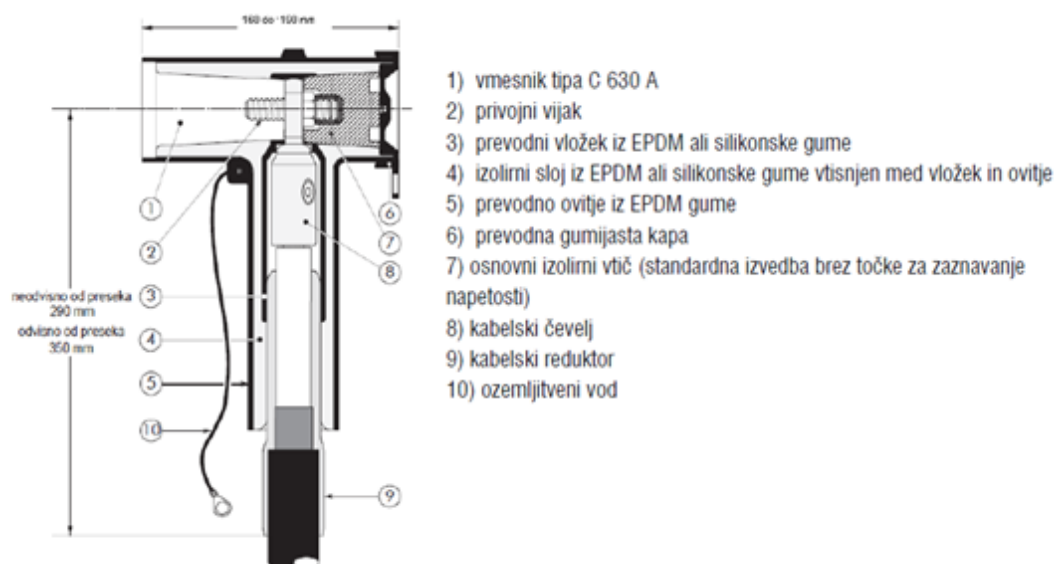
Za doseg visoke ravni varnosti in zanesljivosti delovanja konektorja je zahtevana predoblikovana integrirana kontrola električnega polja. Ta funkcionalnost omogoča spremljanje napetosti v realnem času in preprečuje nastanek nevarnih električnih prebojev.

Zunanja prevodna plast konektorja mora biti kompaktna in mora omogočati, da je konektor varen na dotik. To zagotavlja dodatno zaščito za osebe, ki upravlja električne naprave. Konektorji, ki vključujejo zaslon (ekranizirani konektorji), morajo zagotavljati popolno tesnjenje in dobro električno povezavo med kablom in električno stikalno napravo, ki se izvede s pomočjo skoznjikov tipa C, ki so zasnovani za prenos toka do 630 A.

Za električni kontakt se uporablja priključni vijak M16, ki omogoča enostavno in zanesljivo montažo kabla na konektor. Konektorji morajo omogočati preizkus kabla, tudi kadar sta T-konektor in kabel že priključena na napravo.

Poleg tega je določena omejitev skupne dolžine (globine kompleta) kombinacije konektorja in prenapetostnega odvodnika, ki ne sme presegati 300 mm, kar omogoča kompaktnost in lažje nameščanje v omejenem prostoru.

Konektorji morajo pokrivati naslednje prereze kablov, in sicer 70 mm², 150 mm² in 240 mm², zasnovani so tudi za zunanje premere kablov od 30 mm do 44 mm, kar omogoča širok spekter uporabe v različnih distribucijskih sistemih, kjer so potrebni visoki tokovi.



Slika 10: Sestava kablanskega konektorja do 630 A
(Vir: GIZ TS-4, 2014)

3 GRADNJA IN OBRATOVANJE SN KABLOVODOV

Izkušnje v svetu in pri nas kažejo, da je za doseganje izboljšanja obratovalne zanesljivosti, zmanjševanja stroškov vzdrževanja in povečanje zadovoljstva odjemalcev ključnega pomena delež podzemnega omrežja v razmerju do nadzemnih vodov, kar se odraža v boljših kazalnikih SAIDI, SAIFI in v manjših izgubah ter izboljšanem standardu kakovosti dobave.

Prednostno se novi SN vodi gradijo podzemno, v kabelski izvedbi. Vzroke za odstopanja od te usmeritve je treba argumentirati iz tehnično-izvedbenega in ekonomsko-finančnega vidika. Optimalni tehnično-ekonomski učinek dosežemo z neposrednim polaganjem kablov v zemljo brez elektro kabelske kanalizacije (EKK).

V nadaljevanju so podane usmeritve za izbiro tipa polaganja energetskih kablov glede na pomen oziroma zahteve po komunalni opremljenosti in težavnostnih situacijah terena (TIPIZACIJA SODO T-2, 2020).

3.1 Izbira podzemnega ali nadzemnega voda

Odločitev za način izvedbe voda je odvisna od naslednjih faktorjev:

- **Kategorija zemljišča:** Osnovno pravilo, ki je odločilno pri odločitvi za podzemni ali nadzemni vod, je kategorija zemljišča, ki vpliva tudi na ceno izvedbe SN voda, če je kategorija zemljišča trase voda do vključno IV. kategorije, izberemo podzemno izvedbo voda, če pa je kategorija zemljišča trase voda višja od IV. kategorije, je potrebna tehnično-ekonomska presoja izvedbe voda.
- **Lastništvo zemljišča:** Pomembna je možnost ureditve zemljiškoknjižnih zadev – pri izbiri trase težimo k čim manjšemu številu lastnikov in se izogibamo »kritičnim« lastnikom itd.
- **Okoljevarstvene in arheološke okoliščine:** Upoštevanje razumnih in zakonskih zahtev in omejitev. Izogibati se je treba zaščitenim območjem.
- **Ekonomsko-tehnični faktor:** V idejni zasnovi je obvezna primerjava raznih variant, ki zajemajo stroške izgradnje in vzdrževanja nadzemnih ali podzemnih vodov skozi celotno predvideno življenjsko dobo.
- **Zahteve lokalne skupnosti:** Koriščenje sinergijskih učinkov pri skupni gradnji z ostalo komunalno infrastrukturo (TIPIZACIJA SODO T-2, 2020).

3.2 Tehnični kriteriji načrtovanja podzemnega omrežja

SN omrežje se praviloma gradi v obliki zank po kriteriju zanesljivosti n-1. SN kabelsko omrežje se načrtuje tako, da v normalnem stanju ni obremenjeno več kot 75 % termične meje, v primeru stanja rezervnega napajanja pa obremenitev SN kablov ne sme preseči termične meje. Dopustni padec napetosti v SN omrežju v normalnem obratovanju ne sme presegati 7,5 %. Dopustni padec napetosti v SN omrežju v rezervnem obratovalnem stanju ne sme presegati doseženega padca napetosti v normalnem obratovalnem stanju za več kot 5 %, torej skupno ne za več kot 12,5 % (TIPIZACIJA SODO T-2, 2020).

3.3 Izbira tipa kabla

Kable za gradnjo SN omrežja izbiramo po naslednjih kriterijih:

Glede na število žil:

Enožilni kabli se polagajo v trikotni obliki (trikot) v vseh terenskih pogojih in za napajanje vseh vrst distribucijskih elektroenergetskih objektov.

Trižilni kabli se uporabljajo prednostno pred enožilnimi v naslednjih primerih, in sicer kadar čas izklopa zemeljskega stika dotičnega SN omrežja ni daljši kot 4 sekunde, za prosto polaganje v zemljo med naselji na podeželju, kjer ni EKK, pri omejenem prostoru zaradi večjega števila ostalih komunalnih vodov, za trajno polaganje v vodo.

Izbira materiala vodnika:

Uporabljajo se kabli z aluminijastim (Al) vodnikom, prereza 70 mm², 150 mm² in 240 mm², medtem ko je bakreni (Cu) vodnik primeren zlasti za večje obtežbe (industrijski odjem, napajalni vodi) in kjer razmerje cene Cu in Al kabla ni večje od faktorja 2. V primeru preseganja tega razmerja se uporabi Al kabel prereza 400 mm².

Izbira polaganja glede na položaj žil in vpliv na prenosno zmogljivost:

Pri kablji, ki so namenjeni prenosu večjih moči (večji preseki), se v izogib težavam z induciranimi tokovi v zaslonih enožilnih kablov in zaradi manjše potrebe po prostoru, prednostno odločimo za polaganje enožilnih kablov v trikot ali izberemo trižilni kabel.

Horizontalno polaganje je dopustno samo v izrednih primerih, ko imamo zahteve po povečani prenosni moči, vendar moramo takrat uporabiti zaščito pred induciranimi tokovi v zaslonih kablov (prepletanje in ozemljitev kovinskih zaslonov).

V primeru polaganja v cevi se SN enožilni kabli položijo v eno cev min Ø160 mm. Pri tem je treba upoštevati zmanjšanje mejne termične zmogljivosti zaradi polaganja v cevi za faktor najmanj 0,8 (TIPIZACIJA SODO T-2, 2020).

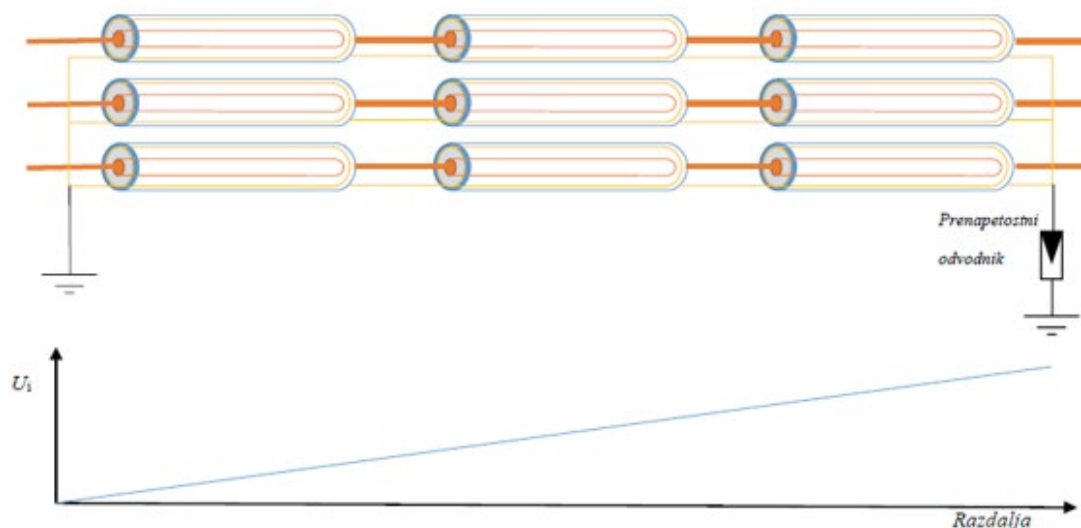
3.4 Ozemljitev kovinskih zaslonov pri enožilnih kablih

Način ozemljitve kovinskih zaslonov se izbere v odvisnosti od dolžine kablovoda in velikosti prenosne moči. Pri dolžinah do 1000 m je možna enostranska ozemljitev zaslona, medtem ko se pri večjih dolžinah priporočajo drugi načini ozemljitve kovinskega zaslona, med katerimi se prednost daje metodi navzkrižnega prepleta. Način ozemljitve kovinskih zaslonov pri normalnem obratovanju občutno vpliva na tokovno obremenitev kablovoda, pri okvarah (defektih) pa na velikost induciranih napetosti in kratkostičnih tokov (EIMV Študija 2493, 2022).

3.4.1 Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov

Izvedba enostranske ozemljitve kovinskih zaslonov je najpreprostejša. Pri tej izvedbi inducirana napetost v kovinskih zaslonih ne more pognati inducirane toka, zato se v njih zančni tokovi ne pojavijo, prav tako v njih ni dodatnih toplotnih izgub.

Pri enostranski ozemljitvi kovinskih zaslonov se pri dolgih in obremenjenih kablovodih nivo inducirane napetosti lahko dvigne do zelo visokih vrednosti (do nekaj 10 kV), ki nevarno ogrožajo izolacijo, saj zunanji PE plašč kabla navadno ni konstruiran niti dimenzioniran za tako visoke vrednosti napetosti. Te je mogoče znižati z vgradnjo prenapetostnih odvodnikov za zaščito zunanjega plašča (SVL) na neozemljeni strani. Ti morajo biti dimenzionirani tako, da so pri normalnih obratovalnih razmerah neaktivni in da vrednost inducirane napetosti ne preseže vrednosti, navedenih v navodilih proizvajalca kablov oziroma vrednosti zdržne napetosti plašča. Kablovod je smiselno ozemljiti neposredno na strani z nižjo specifično upornostjo.

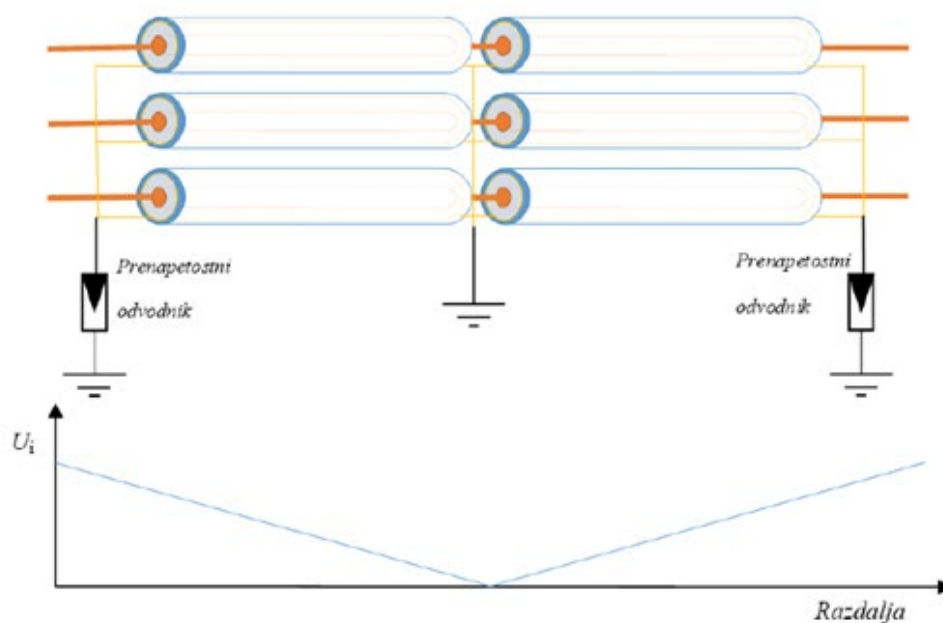


Slika 11: Enostransko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih
(Vir: EIMV Študija 2493, 2022)

Enostranska ozemljitev kovinskih zaslonov se uporablja pri kablovodih, dolžin do 1 km, pri čemer je na neozemljeni strani kablovoda obvezna uporaba odvodnikov pri kablovodih, katerih dolžina presega 500 m. V nemških distribucijskih omrežjih običajne vrednosti izgub v kovinskih zaslonih v povprečju dosegajo od 2 % do 10 % celotnih izgub kablovoda (EIMV Študija 2493, 2022).

3.4.2 Sredinska ozemljitev kovinskih zaslonov

Sredinska ozemljitev kovinskih zaslonov se uporablja pri kablovodih, dolžin do 2 km in je povezana z uporabo enega spojnega mesta.



Slika 12: Sredinsko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih
(Vir: EIMV Študija 2493, 2022)

Pri sredinski ozemljitvi kovinskih zaslonov se v njih na obeh straneh kablovoda inducira napetost, vendar je njena vrednost za polovico manjša, kot bi bila v primeru enostransko ozemljenih kovinskih zaslonov. Na obeh straneh kablovoda se vgradijo prenapetostni odvodniki za zaščito zunanje plašča (SVL). Tudi pri tej izvedbi v kovinskih zaslonih ni pretoka zančnih tokov, zato so izgube majhne (EIMV Študija 2493, 2022).

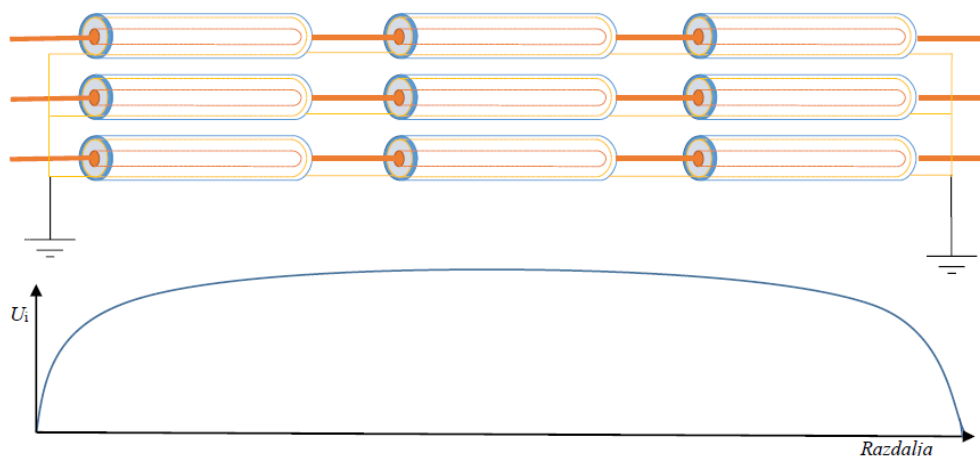
3.4.3 Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov

Pri obojestranski ozemljitvi kovinskih zaslonov so ti na začetku in koncu kablovoda sklenjeni in togo ozemljeni. Posledično se s tem v kovinskih zaslonih preko sosednjih kovinskih zaslonov in zemlje sklene tokokrog.

Velikost induciranih tokov v kovinskih zaslonih je odvisna od toka v vodniku, preseka kovinskih zaslonov in formacije polaganja. Zaradi obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonov je velikost inducirane napetosti na obeh koncih kablovoda enaka nič.

Z varnostnega stališča je to boljša izvedba v primerjavi z enostransko ali sredinsko ozemljeno izvedbo. Tudi v primeru zemeljskega stika se potencial okolice zaradi nizkega redukcijskega faktorja (r) zanemarljivo dvigne, kar s stališča napetosti dotika in koraka predstavlja veliko prednost.

Način obojestranske ozemljitve kovinskih zaslonov in napetostni profil inducirane napetosti v njih prikazuje Slika 13. Predmetni način ozemljitve kovinskih zaslonov se uporablja pri kablovodih dolžin nad 500 m.



*Slika 13: Obojestransko ozemljeni kovinski zasloni in inducirana napetost v njih
(Vir: EIMV Študija 2493, 2022)*

Uporaba prepleta kovinskih zaslonov je pogojena z vrednostjo izgub v njih, in sicer v primeru, da izgube v kovinskih zaslonih presežejo 30 % nazivne moči kablovoda (podatek velja za nemška distribucijska omrežja). Kablovodi z obojestransko ozemljenimi kovinskimi zasloni imajo zaradi dodatne toplotne obremenitve, ki jo producirajo inducirani tokovi v kovinskih zaslonih, manjšo prenosno kapaciteto.

Zmanjšanje je odvisno predvsem od faktorjev, ki vplivajo na velikost induciranih tokov v kovinskih zaslonih. Vrednosti inducirane napetosti v kovinskih zaslonih pri

enostranski ozemljitvi in vrednosti zančnih tokov po njih v primeru njihove obojestranske ozemljitve so prikazane na dveh tipičnih primerih načina polaganja, in sicer pri trikotni in ravninski formaciji z enostransko in obojestransko ozemljitvijo kovinskih zaslonov.

Zmanjšanje prenosne zmogljivosti oziroma tokovne obremenitve kablovoda v primeru obojestranske ozemljitve kovinskih zaslonov je največje pri ravninski formaciji polaganja. Razlog je predvsem v dejstvu, da je pri kablovodu z enostransko ozemljenimi kovinskimi zasloni, položen v ravninski formaciji, odvajanje toplote boljše v primerjavi s trikotno izvedbo.

Pri obojestransko ozemljenih kovinskih zaslonih je situacija obratna. Zaradi višjih medsebojnih reaktanc (X_m), ki so prisotne pri ravninski formaciji kablovoda, je tudi inducirani tok v kovinskih zaslonih višji kot v trikotni izvedbi. Višji inducirani tokovi v kovinskih zaslonih povzročajo višje termične izgube in s tem znižujejo prenosno zmogljivost kablovoda. V tem primeru je prenosna zmogljivost kablovoda, položenega v ravninski formaciji, kljub boljšemu termičnemu odvajanju približno 15 % slabša kot v primerjavi s trikotno položeno izvedbo.

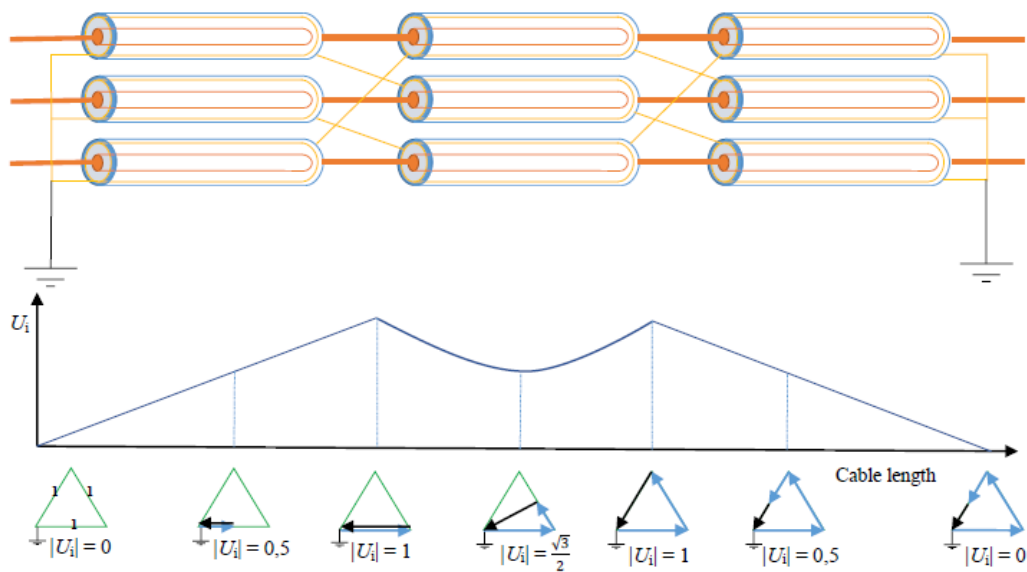
Obojestranska ozemljitev kovinskih zaslonov je primerna za kablovode z razmeroma nizkimi prenosnimi močmi oziroma nizkimi tokovnimi obremenitvami in majhnimi preseki kovinskih zaslonov. Pri tem je primernejša trikotna formacija polaganja kablovoda. Ne glede na nižje prenosne kapacitete kablovoda in višje termične izgube pa je takšna izvedba kablovod s stališča varnosti najugodnejša (EIMV Študija 2493, 2022).

3.4.4 Ozemljitev kovinskih zaslonov z navzkrižnim prepletanjem

Uporaba enostranske in obojestranske ozemljitve je primerna za kablovode krajših dolžin. Navzkrižno prepletanje kovinskih zaslonov je kombinacija obeh zgoraj omenjenih načinov, ki se odlikuje z nizkimi izgubami in visoki prenosni moči.

Navzkrižno prepletanje kovinskih zaslonov se izvede tako, da se kablovod razdeli na tri (ali večkratnik števila tri) enako dolge odseke (sekcije). Kovinski zasloni se na obeh koncih kablovoda toga ozemljijo, pri prehodu med posameznih odseki (sekcijami) pa se izvede navzkrižen preplet kovinskih zaslonov. Pri tem je treba paziti, da se posamezni kovinski zaslon skozi celotno dolžino kablovoda izmenjuje med tremi različnimi fazami, s čimer se zagotovita vektorsko seštevanje in s tem izničenje sumarne inducirane napetosti na kovinskih zaslonih.

Odlikuje se predvsem po visoki prenosni moči in majhnih izgubah v kovinskih zaslonih, ki se pojavijo zgolj zaradi nesimetrije (razlike v dolžini in konfiguraciji) med posameznimi odseki.



Slika 14: Prikaz prepletanja kovinskih zaslonov-ekranov (angl. Cross-bonding)
(Vir: EIMV Študija 2493, 2022)

Pri navzkrižnem prepletanju kovinskih zaslonov se obravnavani kablovod razdeli na tri (ali večkratnik števila tri) enako dolge odseke, kovinske zaslone na obeh koncih kablovoda se neposredno ozemlji, pri spojkah, ki povezujejo posamezne odseke, pa se izvede navzkrižni preplet kovinskih zaslonov in ozemljitev preko prenapetostnih odvodnikov. S tem se sumarne inducirane napetosti na kovinskih zaslonih med seboj izničijo, zato po njih ne tečejo zančni tokovi, s čemer se preprečijo toplotne izgube.

Navzkrižno povezovanje kovinskih zaslonov se ne izvede zaradi prevelikih investicijskih stroškov ali v primeru krajše dolžine kableske trase. To pomeni, da dolžina kableske trase ne presega dolžine kabla, ki jo je mogoče izdelati in dobaviti na enem kablskem bobnu in zaradi tega odpade potreba po kabljskih spojkah. V takem primeru ustrezno rešitev predstavlja polaganje kablov v trikot in ozemljitev zaslonov na obeh straneh kablovoda brez njihovega navzkrižnega povezovanja, ki pri kabljih nazivne napetosti $U_0/U = 64/110$ kV s prerezi do 240 mm^2 pomeni za okrog 10 % manjšo obremenitev, pri srednjih prerezi (800 mm^2) pa že za okrog 20 % manjšo obremenitev.

V realnosti so zgoraj navedene predpostavke težko popolnoma dosegljive (enak X_m v vseh odsekih, popolnoma enake dolžine odsekov), tako da navadno preostane del inducirane napetosti, ki pa je bistveno manjša kot v primeru enostranske ozemljitve kovinskih zaslonov. Navzkrižni preplet kovinskih zaslonov je smiselni v primeru, ko zančni tok v kovinskem zaslonu preseže 30 % vrednosti toka v vodniku (EIMV Študija 2493, 2022).

4 SN PRIKLJUČEK ZA TP0768 TOPLARNA ŠIŠKA II

Transformatorska postaja, ki je predmet obravnave, se nahaja v objektu, na naslovu Verovškova ulica 62, 1000 Ljubljana in je v lasti podjetja Energetika Ljubljana, d. o. o. Omenjeno podjetje se je odločilo za povečavo priključne moči na 1 x 3500 kW. Transformatorska postaja je bila do rekonstrukcije vključena v 10 kV omrežje, napajano v zanki, in sicer iz RTP Šiška izvod K50 in RTP Bežigrad izvod K12. Zaradi povečave priključne moči je bilo treba opremo na transformatorski postaji zamenjati, ker se je vključila v novo 20 kV omrežje, napajano v zanki iz RTP Litostroj izvod J13 in J24. Predviden je bil tudi uvlek dveh novih kablov tipa NA2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm² na trasi dolžine cca. 1200 m med RTP Litostroj in TP Toplarna Šiška II. Za izdelavo PZI projektne dokumentacije in za izvedbo zamenjave kablovodov je bilo izbrano podjetje Elektro Ljubljana, d. d.

4.1 Izgradnja SN kablovoda

V PZI načrtu je obdelana tehnična rešitev za vključitev TP0768 Toplarna Šiška II., v 20 kV SN omrežje (RTP17 Litostroj J13) ter izzankanje transformatorske postaje iz 10 kV SN omrežja.

V sklopu del so na trasi EKK od RTP17 Litostroj do TP0678 Toplarna Šiška II. predvidena naslednja elektro montažna dela:

- prekinitev obstoječega kabla tipa N2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm², ki povezuje RTP10 Šiška K50 s transformatorsko postajo TP0768 Toplarna Šiška II, v kabelskem jašku z oznako KJ01727,
- prekinitev obstoječega kabla tipa N2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm², ki povezuje RTP14 Bežigrad K12 s transformatorsko postajo TP0768 Toplarna Šiška II, v kabelskem jašku z oznako KJ01727,
- izdelava kabelske spojke med obstoječima kabloma tipa N2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm², v kabelskem jašku z oznako KJ01727 in posledična neposredna vzpostavitev SN kabelske povezave RTP10 Šiška–RTP14 Bežigrad,
- uvlek dveh novih kablov tipa NA2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm² v kabelsko kanalizacijo na trasi med RTP17 Litostroj in TP0768 Toplarna Šiška II, v dolžini cca. 1200 m,
- izvedba SN kabelskih spojk uvlečenega kabla v kabelskih jaških,
- izvlek obstoječih SN kabelskih vodov na trasi od transformatorske postaje TP0678 Toplarna Šiška II. do kabelskega jaška z oznako KJ01727 in odvoz v skladišče.

V sklopu del v TP0678 Toplarna Šiška II. so predvidena naslednja elektromontažna dela:

- odklop obstoječih SN kablov tipa N2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm² iz vodnih celic v transformatorski postaji,
- izdelava SN kabelskih zaključkov za novo uvlečene kable tipa NA2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm² ter priklop v vodnih celicah transformatorske postaje (6x),
- ustrezna označitev novih kablov z napisnimi tablicami,
- zamenjava napisov na vodnih celicah SN stikalnega bloka.

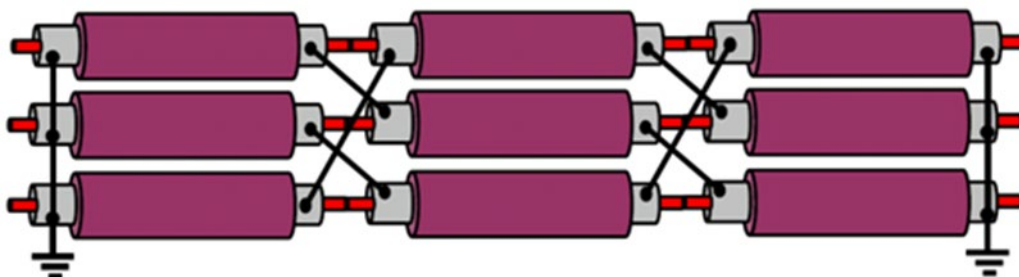
V sklopu del v RTP17 Litostroj so predvidena naslednja elektromontažna dela:

- izdelava SN kabelskih zaključkov za novo uvlečene kable tipa NA2XS(FL)2Y 3 x 1 x 240 mm² ter priklop v vodnih celicah J13, J24 (6x),
- zamenjava tokovnih merilnih transformatorjev v vodni celici J24, tako da se vgradijo TIT INA2-24, 2x300/1/1 A,
- izvedba ustreznih označitev na SN kablji, kabelskih nosilcih in SN vodnih celicah.

Investitor je podal podatek, da bo objekt Toplarnе Šiška lahko obratoval v dveh režimih, in sicer v porabniškem režimu (3,5 MW) in v proizvodnem režimu (9,4 MVA; $\cos \varphi = 0,8$). Glede na to, da se v primeru, ko bo objekt obratoval v proizvodnem režimu, pričakuje tokovna obremenitev nad 200 A, je treba skladno s tehnično smernico TS17; 09-362; jan 2018 izvesti prepletanje zaslonov SN dovodnih kablov. Skladno s prej navedeno tehnično smernico se izvede zaščita pred prevelikimi induciranimi tokovi v kovinskem zaslonu kablov takrat, ko je predvidena obremenitev nad:

- 150 A pri nesimetričnem polaganju (linija),
- 200 A pri simetričnem polaganju (trikot).

Pri kablilih je treba izvesti zaščito pred induciranimi tokovi v zaslonih kablov s prepletanjem zaslonov posameznih kablov. Traso je treba razdeliti na tri enake odseke, predvideti ustrezni prostor in izvesti prepletanje, kot je razvidno s Slike 15.



Slika 15: Pravilna izvedba prepleta zaslonov kabla
(Vir: GIZ TS-1, 2013)

Prepletanje ekranov se izvede v kabelskih jaških s posebnimi spojkami. Priporočeno je, da se spojke, ki jih uporabimo za prepletanje, namestijo na kabelske stojke.

4.2 Obratovanje kablovoda pred prepletanjem zaslonov

Vključitev TP0678 Toplarna Šiška II. v novo zanko 20 kV omrežja je bila predvidena za konec leta 2022, ko se je zaključila rekonstrukcija transformatorske postaje in se je celotna oprema v postaji zamenjala. Zaradi dolgotrajne dobave posebnih SN spojk, ki omogočajo izvedbo prepletanja zaslonov, se do omenjenega roka ni izvedlo prepletanje zaslonov, ampak sta se kablovoda spojila s klasičnimi SN spojkami brez prepletanja zaslonov. V naslednji tabeli so podane vrednosti toka, na podlagi opravljenih meritev na kablovodu med obratovanjem, kjer je razvidno tudi, kolikšen tok teče po zaslonih kablovoda med RTP17 Litostroj J13 – TP0678 Toplarna Šiška II.

RTP17 Litostroj J13									
TOK - ŽILA (If)				TOK - EKRAN (Ie)					Ie/If povp.
If L1	If L2	If L3	If povp.	Ie L1	Ie L2	Ie L3	Ie povp.	Ie N	
(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(%)
203	204	203	203,3	29,3	29,0	27,5	28,6	1,3	14,1

Tabela 1: Tokovna obremenitev kablovoda pred prepletom zaslonov
(Vir: Elektro Ljubljana, 2022)

4.3 Obratovanje kablovoda s prepletenimi zasloni

Leta 2023, ko so bile dobavljene posebne SN spojke, ki omogočajo izvedbo prepletanja zaslonov na kablovodu, se je izvedla zamenjava klasičnih SN spojk. Na kablovodu med RTP17 Litostroj J13–TP0678 Toplarna Šiška II se je izvedlo prepletanje zaslonov na prvi in drugi enakovredni tretjini celotnega odseka. V naslednji tabeli je razvidno, za koliko se je zmanjšal tok, ki teče po zaslonih kablovoda.

RTP17 Litostroj J13									
TOK – ŽILA (If)				TOK – EKRAN (Ie)					Ie/If povp.
If L1	If L2	If L3	If povp.	Ie L1	Ie L2	Ie L3	Ie povp.	Ie N	
(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(%)
207	207	207	207	3,4	1,5	3,5	2,8	0,8	1,4

Tabela 2: Tokovna obremenitev kablovoda s prepletenimi zasloni na enakih tretjinah
(Vir: Elektro Ljubljana, 2023)

Na drugem kablovodu med RTP17 Litostroj J24–TP0678 Toplarna Šiška II pa zaradi specifične trase kablovoda ni bila možna izvedba prepletanja ekranov na enakih tretjinah kablovoda, zato lahko v Tabeli 3 vidimo, da zmanjšanje toka, ki teče po zaslonih, ni tako učinkovito kot pri kablovodu, kjer je prepletanje zaslonov izvedeno na enakih tretjinah trase.

RTP17 Litostroj J24									
TOK – ŽILA (If)				TOK – EKRAN (Ie)					Ie/If povp.
If L1	If L2	If L3	If povp.	Ie L1	Ie L2	Ie L3	Ie povp.	Ie N	
(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(%)
187	187	187	187	8,5	9,5	7,5	8,5	1,7	4,5

Tabela 3: Tokovna obremenitev kablovoda s prepletenimi zasloni na neenakih tretjinah

(Vir: Elektro Ljubljana, 2023)

Če primerjamo tokovne vrednosti po zaslonih v Tabeli 2 in Tabeli 3, vidimo, da je izvedba prepletov zaslonov na kablovodu iz RTP17 Litostroj J13 cca trikrat učinkovitejša kot izvedba prepletov zaslonov na kablovodu iz RTP17 Litostroj J24.

4.4 Izračun moči izgub v zaslonih in primerjava med izvedbami

Tok, ki teče po zaslonih kablovodov, predstavlja termične izgube, zato lahko s pomočjo enačbe izračunamo moč, ki predstavlja izgube v kablovodu in negativno vpliva na prenosno zmogljivost kablovoda in njegovo življenjsko dobo.

Enačba za izračun moči:

$$P = I^2 * R$$

Upornost ekrana kabla NA2XS(FL)2Y 1 x 240 mm² znaša cca. 0,75 Ω/km.

V našem primeru je dolžina kablovodov 1,19 km, kar pomeni, da je upornost zaslonov na trasi 0,89 Ω.

Kablovod	L1 (W)	L2 (W)	L3 (W)	SKUPAJ (W)
RTP17 Litostroj J13 Preplet ni izveden	764	748	673	2185
RTP17 Litostroj J24 Preplet je izveden na neenakih tretjinah	64	80	50	194
RTP17 Litostroj j13 Preplet je izveden na enakih tretjinah	10	2	10	22

Tabela 4: Moč izgub v ekranih kablovodov
(Vir: Elektro Ljubljana, 2023)

V Tabeli 4 so izračunane moči izgub, ki jih predstavlja tok, ki teče po zaslonih, iz podanih rezultatov pa lahko med seboj primerjamo tri različne situacije in vidimo, katera od izvedb je najbolj učinkovita pri zmanjševanju induciranih tokov v zaslonih in posledično zmanjševanju toplotnih izgub.

5 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo proučili srednje napetostna (SN) kabelska omrežja, s posebnim poudarkom na pomenu ustreznega načina ozemljitve kovinskih zaslonov, ki so ključni za zanesljivost in učinkovitost delovanja kablovodov. Z neprestanim povečevanjem potreb po električni energiji in kompleksnostjo elektroenergetskih omrežij je postalo jasno, da se je treba osredotočiti na optimizacijo obratovalnih pogojev kablovodov.

Praktični del naloge je potrdil hipotezo, da način ozemljitve zaslonov vpliva na induksijske tokove, termične izgube in s tem na splošno zanesljivost omrežja. Z analizo dveh kablovodov med RTP17 Litostroj in TP0678 Toplarna Šiška II smo ugotovili, da je preplet zaslonov na enakih tretjinah znatno zmanjšal inducirane tokove v zaslonih kablov in posledično toplotne izgube. Rezultati so pokazali, da so se toplotne izgube pri kablovodu s prepletom zaslonov na neenakih tretjinah trase zmanjšale za približno 90 odstotkov. Pri kablovodu, kjer pa se je prepletanje zaslonov izvedlo na skoraj enakih tretjinah odseka, pa so se izgube zmanjšale za skoraj 99 odstotkov.

Zaradi specifične trase kablovoda v primeru med RTP17 Litostroj J24 in TP0678 Toplarna Šiška II, kjer ni bilo mogoče izvesti prepletanja na enakih tretjinah, so bili rezultati manj ugodni, kar nakazuje na nujnost skrbnega načrtovanja in izvedbe kablovodov v skladu s smernicami in standardi. Dosedanje raziskave in meritve jasno potrjujejo, da je pravilna izbira načina ozemljitve in prepletanja zaslonov ključna za optimizacijo delovanja elektroenergetskega omrežja, kar vpliva na zanesljivost in trajnost elektroenergetskih sistemov.

Na podlagi izvedenih analiz in ugotovitev zaključujemo, da je treba v bodoče še naprej razvijati in optimizirati prakse v gradnji in obratovanju SN kablovodov. Priporočljivo je, da elektro distribucijska podjetja upoštevajo priporočila o prepletanju zaslonov in ozemljitvi, saj lahko s tem zmanjšajo izgube in povečajo učinkovitost elektroenergetskih omrežij, kar je ključno za zagotavljanje zanesljive oskrbe z električno energijo v sodobnem svetu.

6 LITERATURA IN VIRI

EIMV. (2022). *Smernice in navodila za izbiro, polaganje in prevzem elektroenergetskih kablov nazivne napetosti 1kV do 110kV (Novelirana izdaja). Študija št. 2493.*

Electrotechnik. (2024). *Sheath Bonding Design Guide for High Voltage Cables*. Pridobljeno 8.7.2024 z naslova <https://elek.com/articles/sheath-bonding-design-guide-for-hv-cables/?srsId=AfmBOorMDRXqSIWajlkfVpIEz5OcWQPpG4C08xVI7TYZHKLIBvQGBR>

Elektro Ljubljana d.d. (2024). Interno gradivo podjetja: *Poročilo o opravljenih meritvah RTP Litostroj*. Ljubljana: Elektro Ljubljana

Elektro Ljubljana d.d. (2024). Interno gradivo podjetja: *Projekt za izvedbo ELR2 2014-22*. Ljubljana: Elektro Ljubljana

Elektro Ljubljana d.d. (2024). *Omrežje*. Pridobljeno 14.12. 2024 z naslova <https://www.elektro-ljubljana.si/omrezje>

GIZ, Gospodarsko interesno združenje distribucije električne energije TS-4. (2014). *Pribor za kable 12/20/24 kV*. Pridobljeno 15.5.2024 z naslova <https://www.giz-dee.si/Portals/0/Tipizacija/GIZ-TS-4-Pribor-za-kable-12-20-24%20kV.pdf>

Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev podzemnih elektroenergetskih vodov izmenične nazivne napetosti nad 1 kV do 400 kV (PRAV14138). (2021). Uradni list RS, št. 42/21, 20/22 in 38/24 – EZ-2
<https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAV14138>

Razpet, A. (2007). *Elektroenergetski sistemi*: učbenik za program Elektrotehnik in Elektronik. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

SODO T-2. (2020). *Načrtovanje in gradnja 20 kV kablovodov*. Pridobljeno 9. 4. 2023 z Naslova <https://www.sodo.si/storage/app/uploads/public/5f5/a07/1ab/5f5a071abe268517302344.pdf>

SODO T-3. (2020). *Enožilni energetski kabli 12/20/24 kV*. Pridobljeno 9. 4. 2023 z naslova
<https://www.sodo.si/storage/app/uploads/public/5fb/3aa/8d4/5fb3aa8d4b5c9691990800.pdf>

Zorič, T. (1998). *Električni elementi elektro energetskih sistemov*. Ljubljana: Elektro Slovenija, ICES.